

FACTORES ANTINUTRICIONALES EN LA ALIMENTACIÓN DE ANIMALES MONOGÁSTRICOS

Roberto Belmar Casso¹ y Rutilio Nava Montero²

¹ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

Universidad Autónoma de Yucatán. FMVZ-UADY

² Centro Regional Universitario Península de Yucatán.

Universidad Autónoma Chapingo. CRUPY-UACH.

INTRODUCCIÓN

Las áreas tropicales son ricas en recursos con potencial nutricional, lo cual puede representar una alternativa ante las grandes introducciones de granos y oleaginosas provenientes de las áreas agrícolas industrializadas de las regiones templadas del mundo, consustancial al actual modelo de producción animal intensiva. Sin embargo, esa aparente alta disponibilidad de alimentos de origen vegetal para consumo humano y de ingredientes para alimento de animales, principalmente leguminosas, con un buen contenido y balance de proteína y energía, no pueden ser utilizados en todo su potencial por el efecto limitante que imponen los denominados factores antinutricionales (FAN). Particularmente en el caso de los animales no rumiantes, por carecer de la acción protectora que brinda la degradación bacteriana, el problema que representa su utilización es mayor aunque no exclusiva.

La acción de los FAN no sólo consiste en interferir con el aprovechamiento de los nutrientes sino que en varios casos promueve pérdidas importantes de proteína endógena y en algunos casos produce daños al organismo del animal que los consume. En la alimentación convencional de animales y desde una perspectiva puramente biológica, se ha señalado que el desperdicio de proteína potencialmente utilizable que produce su uso atenta contra la sustentabilidad de la producción debido a las considerables pérdidas de N y en consecuencia, al negativo impacto ambiental que causan los desechos animales. Sin embargo, debiera considerarse que este fenómeno tiene su origen en la intensidad del modelo de producción al que se les pretende

incorporar y sólo en una menor proporción, en su cualidad natural.

DEFINICIÓN

Los FAN son sustancias naturales no fibrosas generadas por el metabolismo secundario de las plantas, como un mecanismo de defensa ante el ataque de mohos, bacterias, insectos y pájaros, o en algunos casos, productos del metabolismo de las plantas sometidas a condiciones de estrés, que al estar contenidos en ingredientes utilizados en la alimentación de animales ejercen efectos contrarios a su óptima nutrición, reduciendo el consumo e impidiendo la digestión, la absorción y la utilización de nutrientes por el animal. Su naturaleza, mecanismos de acción y potencia de sus efectos son muy variados y tienen una amplia distribución en el reino vegetal (Gontzea y Sutzescu 1968; citados por Huisman *et al.* 1990, Huisman y Tolman 1992, Butler y Bos 1993, D'Mello 1995).

Sin embargo, no debe perderse de vista que la denominación que caracteriza su naturaleza antinutricional es adoptada a partir del enfoque que los ve como recursos alimenticios para herbívoros y no de las funciones que cumplen en los tejidos de los vegetales que los contienen. Por ello, una denominación más acorde a su papel integral es el de compuestos secundarios, los que de acuerdo a Ramos *et al.* (1998), se les puede conceptualizar como *sustancias ecológicamente eficaces*, para diferenciarlas de los compuestos derivados del metabolismo primario en los vegetales, cuya eficacia es fisiológica. En el Cuadro 1 se presenta una sinopsis de los más importantes así como los efectos fisiológicos

Alimentación no convencional para monogástricos en el trópico

Cuadro 1. Efectos mayores de FAN en animales monogástricos de granja

Factores antinutricionales	Efecto mayor <i>in vivo</i>
Proteínas	
Inhibidores de proteasas	Reducción de la actividad de las proteasas, hipertrofia/hiperplasia pancreática, secreción incrementada de enzimas pancreáticas, nódulos acinares, depresión del crecimiento
Lectinas	Daño de la pared intestinal, respuesta inmune, pérdidas incrementadas de proteína endógena, depresión del crecimiento, muerte
Inhibidores de amilasa	Interferencia con digestión de almidones
Proteínas antigénicas	Interferencia con la integridad de la pared intestinal, respuesta inmune
Aminoácidos no proteicos	
Neurolaterígenos: β -cianoalanina, ácido β -N-oxalil- α - β -diaminopropiónico, (BOOA ó β -(N-oxalilamino)alanina), ácido α,γ -diaminobutírico y β -aminopropionitrilo	Neurolatirismo. Neurotóxicos
Análogos de arginina y derivados: Canavanina, indospicina, homoarginina, canalina	Reducción del crecimiento a través de la sustitución aberrante de los intermediarios metabólicos. Aumento en el recambio de proteína. Disminución del consumo. Daño hepático. Efectos teratogénicos.
Aromáticos: mimosina, 3,4-dihidroxifenilalanina y 5-hidroxitriptofano	Desordenes reproductivos, efectos teratogénicos. Daños en órganos
Polifenoles	
Taninos	Formación de complejo proteína-carbohidrato, interferencia con digestibilidad de proteínas y carbohidratos
Glicósidos	
Cianógenos	Falla respiratoria
Vicina/convicina	Anemia hemolítica, interferencia con la fertilidad e incubabilidad de huevos
Saponinas	Hemolisis, efecto sobre la permeabilidad intestinal
Cicasina	Carcinógeno
Oligosacáridos	Flatulencia
Glucosinolatos	Utilización deteriorada del iodo, hígado y tiroides afectados, crecimiento y palatabilidad reducidos
Alcaloides	
Quinolizidina (alcaloides lupinos), Escopolamina e hiosciamina (alcaloides de Datura)	Disturbios neurales, palatabilidad reducida
Otros FAN	
Fitatos	Forma complejos con minerales y proteínas, deprime la absorción de minerales
Gosipol	Anemia debido a la formación de complejos de Fe, peso del huevo reducido
Sinapinos	Olor a pescado en huevo (mancha)

Adaptado de Liener (1989); Huisman y Tolman (1992) y D'Mello (1995).

de su acción al utilizarlos en los alimentos para animales.

INHIBIDORES DE PROTEASA

Son compuestos de naturaleza proteica que inhiben la acción de las enzimas cuya acción digestiva se enfoca hacia las

proteínas de la dieta. Los más conocidos son los que reaccionan con proteasas de serina, como la tripsina y la quimiotripsina. Se identifican diez familias de inhibidores de proteasas en función de la secuencia de aminoácidos que las conforman, siendo tres las más ampliamente distribuidas, a saber,

las familias Bowman-Birk, Kunitz y de la papa-1. Se encuentran en la mayoría de las leguminosas, y en algunas de ellas, por su alto contenido de cistina, llegan a proveer hasta el 40% del contenido de aminoácidos azufrados de la proteína total (Kakade *et al.* 1969, citado por Liener 1989, Gueguen *et al.* 1993).

Se les atribuye un efecto depresor del crecimiento debido a un mecanismo de retroalimentación negativa, que se activa ante la presencia de proteínas de la dieta en el estómago, y la simultánea inactivación de la tripsina, con lo que se provoca la liberación de la colecistoquinina (CCK), una hormona de la mucosa intestinal que estimula a las células acinares del páncreas para liberar más tripsina y otras enzimas como quimotripsina, elastasa y amilasa. Así, además de la subutilización de la proteína dietética, el resultado neto es la pérdida de proteína endógena rica en aminoácidos azufrados y la consecuente depresión del crecimiento (Liener 1989).

Se han reportado cambios morfológicos de tipo hiperplásticos e hipertróficos en el páncreas de ciertas especies (ratas, ratones, pollos y hamsters), lo que no ocurre en otras. También se ha registrado diferentes respuestas ante la acción de inhibidores de proteasas provenientes de diferentes leguminosas (Liener 1989).

Aunque se inactivan ante altas temperaturas, se ha observado cierta resistencia térmica debido a su rígida estructura y su alto contenido de enlaces disulfuro. También han mostrado resistencia a tratamientos con pepsina (Gueguen *et al.* 1993).

Los inhibidores de proteasas se encuentran presentes en la mayoría de las leguminosas pero las de *Glycine max* han recibido gran atención por la utilización generalizada de este ingrediente, así como por su alto contenido. También destacan por su alto contenido los granos de *Phaseolus lunatus*, *Psophocarpus tetranogolobus* y *Canavalia ensiformis*.

LECTINAS

Del latín *legere* (preferir, escoger) el término se aplica a compuestos de

naturaleza proteica característicos por su interacción con células sanguíneas específicas. También llamadas fitohemaglutininas por su capacidad aglutinante, se ligan reversiblemente a complejos carbohidratos y a glicoproteínas presentes en la superficie de células animales, con los cuales muestran alta afinidad, mediante sus receptores específicos expuestos. Aglutinan característicamente a glóbulos rojos y a otras células, sin embargo, el enlace de las lectinas se puede presentar sin aglutinación, siendo esta una sola de las manifestaciones de la interacción lectina-receptor (Gueguen *et al.* 1993).

La mayoría de las lectinas resisten el rompimiento enzimático digestivo. Al ligarse a receptores de la superficie del tracto digestivo provocan un deterioro en el transporte de nutrientes a través de la pared intestinal; afectan a las células endocrinas y con ello a la producción hormonal intestinal; causan hipertrofia e hiperplasia intestinales; incrementan el metabolismo de poliaminos y la síntesis de proteína de la mucosa; inhiben a las hidrolasas del borde de cepillo; inducen cambios en el sistema local inmune y afectan la ecología bacteriana del intestino, incluido el intestino delgado, al incrementar la adhesión y el crecimiento selectivo de ciertas cepas (Liener 1989, Pusztai 1989, Gueguen *et al.* 1993).

Por los efectos locales descritos se generan otros de nivel sistémico tales como el desarrollo de anticuerpos circulantes antilectinas de la clase IgG; atrofia del Timo con potencial efecto de la inmunidad celular; hipertrofia del hígado y del páncreas; atrofia muscular; modulación del sistema endocrino; aumento en el catabolismo de la proteína, grasa y carbohidratos del cuerpo; inhibición del crecimiento y aún la muerte (Pusztai 1989).

Existen reportes de que la Concanavalina A, una potente lectina, tiene efectos depresores del consumo. Algunas lectinas son termolábiles y también se ha demostrado su solubilidad en medios alcalinos (Ologhobo, Apata y Oyejide 1993, D'Mello 1995). Entre las leguminosas destacan por su alto contenido de lectinas

Psophocarpus tertanologobus, *Canavalia ensiformis*, *Phaseolus lunatus* y *Vigna unguiculata*.

TANINOS

De la palabra inglesa tanning (curtido), el término tanino fue originalmente usado para describir la sustancia de los extractos vegetales usados para curtir cueros animales. Se definen como compuestos naturales polifenólicos, hidrosolubles, que forman complejos con proteínas, carbohidratos y otros polímeros del alimento. Son capaces de precipitar alcaloides, gelatinas y otras proteínas en soluciones acuosas (Huisman y Tolman 1992, Jansman 1993).

Por su estructura y reactividad hacia los agentes hidrolíticos se clasifican en dos grupos: taninos hidrolizables y taninos condensados. Los primeros o galotaninos son fácilmente hidrolizables por ácidos o por enzimas. Por otro lado, los taninos condensados (proantocianidinas) son polímeros flavonoides, no son susceptibles a hidrólisis pero pueden ser degradados oxidativamente en ácidos fuertes para producir antocianidinas. Existen reportes sobre su degradación en los procesos de fermentación anaeróbica (Butler y Bos 1993, Kumar y D'Mello 1995).

Los taninos tienen efectos nutricionales dañinos, resultando en deterioro de la conversión en animales monogástricos. Puede inhibir las enzimas digestivas. Forman complejos con las membranas mucosas, lo cual resulta en el aumento de pérdidas endógenas y en daños a las mismas. En conjunto, decrece la digestibilidad de los nutrientes nitrogenados y en menor medida la de la energía. Por otro lado, se reporta que los taninos hidrolizables podrían causar efectos tóxicos a nivel sistémico. Particularmente importantes son sus efectos en el hígado (Huisman y Tolman 1992, Jansman 1993, Butler y Bos 1993).

Jansman (1993) señala la escasez de trabajos en cerdos respecto a ratas y pollos. Por su parte Marquardt (1989) refiere la hipótesis de que la naturaleza más elemental del tracto digestivo de pollos podría volverlos más sensitivos al efecto de los taninos con

respecto a los cerdos. En contraste, Huisman y Tolman (1992) refieren experimentos en los que se registra mayor sensibilidad de lechones que los pollos hacia los taninos. A esta última conclusión se suman los resultados presentados por Jansman, Huisman y van der Poel (1989). De los ingredientes utilizados en la alimentación animal destacan el *Sorghum vulgare*, *S. bicolor*, *Vicia faba*, *Phaseolus vulgaris*, *Pisum sativum* y *Hardeum vulgare*.

GLICÓSIDOS CIANÓGENOS

Los glucósidos cianogénicos se encuentran ampliamente distribuidos en semillas leguminosas, aunque distan mucho de ser el principal factor antinutricional, excepto en dos especies (*Phaseolus lunatus* y *Vicia faba*). En ingredientes de otras familias destacan por su contenido las especies *Cnidocolus chayamansa* y *Mahinot esculenta*. Al hidrolizarse, los cianógenos producen H-cianido (un potente veneno), glucosa y otros productos, en función del tipo de cianógeno. Las semillas que contienen cianógenos son potencialmente dañinas al animal que las consume, por la rápida hidrólisis de las β -glucosidasas microbianas o de la planta. Los cianidos exhiben marcada afinidad hacia enzimas críticas, como el citocromo oxidasa, inhibiendo la respiración celular, lo que produce convulsiones y la muerte. En dosis subletales, los cianidos son metabolizados a tiocianato el que es excretado en la orina. En este caso, el consumo de cianógenos provoca un incremento en el requerimiento del animal hacia los aminoácidos azufrados (D'Mello 1995). La utilización de estos ingredientes en la alimentación animal es posible mediante tratamientos térmicos suaves debido a que son muy lábiles ante el calor.

VICINA Y CONVICINA

Los glicósidos vicina y convicina están fuertemente implicados en favismo, una anemia hemolítica en humanos y en un desempeño deficiente de gallinas ponedoras (Saini 1993). Existen reportes sobre la disminución simultánea del peso del huevo y el aumento de unidades Haugh por la presencia de estos factores; incrementan la

fragilidad de la yema y el número de manchas de sangre; disminuyen la fertilidad y la incubabilidad del huevo; elevan la concentración de lípidos plasmáticos y lípidos peróxidos e incrementan el grado de hemólisis de eritrocitos (Marquardt 1989).

La vicina y convicina son hidrolizados por la flora intestinal hacia divicina e isouramil, radicales libres altamente reactivos. Estos causan peroxidación de lípidos, alteran el metabolismo de grasas y el mitocondrial y posiblemente causan diabetes. Sin embargo, vicina y convicina también poseen propiedades benéficas tales como la prevención de arritmia cardíaca, y bajo ciertas condiciones, son capaces de inhibir el crecimiento del parásito de la malaria. Algunos de sus efectos adversos pueden ser neutralizados aumentando la concentración de agentes secuestrantes de radicales libres como las vitaminas A, C y E y a través del uso de agentes quelantes como el EDTA o la desferrioxamina (Marquardt 1989). Entre las especies con mayor contenido se encuentran *Vicia faba*, *Canavalia gladiata*, *Lens culinaris* y *Pisum sativum*.

OLIGOSACÁRIDOS

Las leguminosas contienen al oligosacárido galactosil-sucrosa en grandes cantidades. También conocidos como α -galactósidos de sucrosa son miembros de la familia oligosacárida de la rafinosa (rafinosa, estaquiosa, verbascosa y ajugosa). Se estructuran mediante la unión de unidades α -galactosa al residuo glucosa de la sucrosa, mediante enlaces α -1-4 (Saini 1989).

El consumo de ingredientes con estos factores provoca flatulencia, por la acción de la microflora anaeróbica sobre los oligosacáridos. Debido a la falta de la enzima α -galactosidasa en los animales monogástricos (cerdos, aves, humanos), estos azúcares trascienden indigeridos hacia el intestino grueso, donde son degradados por la acción de las bacterias α -galactosidasas. Los productos del ataque son rápidamente convertidos a bióxido de carbono, hidrógeno y metano, resultando en flatulencia, diarrea, náusea, retortijones e incomodidad en los animales (Saini 1989).

Para la eliminación de estos factores se han utilizado tratamientos acuosos, extracción en alcohol, cocido, germinación, fermentación y tratamientos enzimáticos. Por sus contenidos destacan los generos *Lupinus* y *Phaseolus*, así como las especies *Vigna unguiculata*, *Pisum sativum*, *Lens culinaris*, *Glycine max* y *Arachis hypogaea* (Saini, 1989).

GOMAS GALACTOMANANAS

En algunas leguminosas son importantes constituyentes de la fracción oligosacárida. Destaca el guarán, un heteropolisacárido proveniente de *Cyamopsis tetranoloba*, debido a sus aplicaciones industriales y clínicas. Su acción nociva se manifiesta mediante la reducción de la digestión y absorción de los nutrientes, particularmente del almidón.

En cerdos se cree que pudiera inhibir la interacción enzima-sustrato al cubrir de goma los gránulos de almidón. Al iniciar la digestión del almidón se incrementa la viscosidad de la digesta, causada por la solubilización de la goma, impidiendo la absorción de los productos finales de la digestión. Sin embargo existe evidencia de la absorción de galactomananos de medio y bajo peso molecular lo que pudiera causar efectos inmunológicos. Se reportan altas concentraciones de galactomananos en la *Leucaena leucocephala*. Existen reportes sobre la efectividad de tratamientos enzimáticos para este tipo de FAN (D'Mello 1995).

SAPONINAS

Son un grupo diverso de componentes conteniendo un residuo aglicona ligado a uno o más azúcares o residuos oligosacáridos. Poco se sabe acerca de su preciso modo de acción en la depresión del crecimiento de los animales y se ha propuesto que es la baja palatabilidad el factor primario. Específicamente, los bajos consumos de alfalfas por cerdos son atribuidos a la presencia de saponinas en dicho ingrediente (D'Mello 1995).

Se diferencian de acuerdo a la naturaleza del residuo aglicona (sapogenina), en saponinas conteniendo aglicona

esteroidal y saponinas conteniendo aglicona triterpénica. Estas últimas son las que se encuentran mayormente en las plantas. En general se ha reportado su existencia en aproximadamente 100 familias vegetales, de las cuales relativamente pocas son utilizadas como alimento o ingrediente alimenticio (Price y Fewick 1987).

Generalmente se caracterizan por su gusto amargo, la formación de espuma en soluciones acuosas, su habilidad para hemolizar glóbulos rojos y su capacidad para ligarse al colesterol, no todas estas características son compartidas por todos los tipos de saponinas (Birk y Peri 1980, Price y Fenwick 1987).

Se reporta que afectan el comportamiento y metabolismo del animal a través de: hemólisis de eritrocitos, reducción de colesterol sanguíneo y hepático, depresión de la tasa de crecimiento, inhibición de la actividad del músculo liso, inhibición enzimática y reducción en la absorción de nutrientes (Cheeke 1971). El abundante lavado en agua es un procedimiento que permite disminuir su efecto, aunque con éste se pierden elementos nutritivos (Kumar y D'Mello 1995).

AMINOÁCIDOS NO-PROTEICOS

De acuerdo con D'Mello (1995), la presencia de aminoácidos no proteicos tóxicos es una característica de las leguminosas, y en algunas especies aparecen más de una. La mayor de las veces estos compuestos presentan analogía estructural con aminoácidos indispensables o con sus derivados neurotransmisores presentes en el sistema nervioso central. Ocasionalmente así, efectos adversos al animal que van desde la reducción en la utilización de alimento y los nutrientes, hasta profundos desordenes neurológicos y aún la muerte.

NEUROLATERÍGENOS

Este grupo comprende a los aminoácidos β -cianoanalina, ácido β -N-oxalil- α -diaminopropiónico, (BOOA ó β -(N-oxalilaminoalanina)), ácido α,γ -diaminobutírico y β -aminopropionitrilo. Los anteriores se encuentran relacionados

estructuralmente entre sí. Son causantes del neurolatirismo en humanos y sus efectos en animales domésticos son neurotóxicos. Se ha reportado que la intensidad del efecto neurotóxico está condicionada por la edad, debido posiblemente a la existencia de una barrera sanguíneo-cerebral en adultos. Varias especies del género *Lathyrus*, así como la *Vicia sativa* son las plantas donde se han reportado concentraciones importantes de estos FAN. (D'Mello 1995).

ANÁLOGOS DE ARGININA

La canavanina, indospicina y homoarginina son análogos estructurales de la arginina, la cual está involucrada en el ciclo de la urea. De ellos, canavanina es el aminoácido más ampliamente distribuido y en mayor concentración. Se han registrado rápidas y severas reducciones del crecimiento y de la eficiencia de utilización del N en pollos, y en cerdos está relacionado con la caída del consumo (D'Mello 1995). Su intervención en el ciclo de la urea, sustituyendo aberrantemente a la arginina, parece ser el origen de los efectos antinutricionales de dichos aminoácidos. El desarrollo aberrante del ciclo de la urea, por un efecto putativo, da origen a un juego completo de análogos estructurales, entre los que destaca la canalina, sustituyendo a la ornitina (Rosenthal 1982).

La indospicina está asociada a efectos teratogénicos y daño hepático, en tanto que la homoarginina reduce el consumo y el crecimiento, y refuerza la toxicidad de la canavanina. Aparentemente existen interacciones complejas entre los análogos de arginina. De esa manera, se pretende que los efectos de la indospicina ocurran a través de las mismas vías que para la canavanina (D'Mello 1995).

De la canalina se sabe que es un potente inhibidor de las enzimas que dependen del fosfato piridoxal (Rahiala 1973, Rosenthal 1981), aunque no se conoce el mecanismo de su toxicidad (Rosenthal y Bell 1979).

Existen reportes sobre la solubilidad de la canavanina como un método para su eliminación (Belmar y Morris 1994a, Belmar y Morris 1994b). D'Mello (1995) propone

que debido a su analogía con la arginina, la adición de este aminoácido teóricamente debiera disminuir los efectos negativos de la canavanina, sin embargo en los hechos no ha ocurrido así. *Canavalia ensiformis*, *Dioclea megacarpa*, *Indigophera spicata* y *Vicia villosa*, son especies que contienen análogos de arginina (D'Mello 1995).

AMINOÁCIDOS AROMÁTICOS

Destaca entre ellos la mimosina, presente en la *Leucaena leucocephala*. En no rumiantes causa desordenes reproductivos, efectos teratogénicos y daño de órganos. Se deposita en órganos y tejidos, y existen reportes de que en pollos gran parte es excretado en las heces, sin lograr precisar si su degradación ocurre en el tracto digestivo o en otros tejidos del animal. Otros aminoácidos de este grupo con efectos tóxicos son la 3,4-dihidroxifenilalanina y 5-hidroxitriptofano (D'Mello 1995).

ALCALOIDES

Químicamente son un grupo diverso que comparten propiedades alcalinas (de ahí su nombre), y contienen Nitrógeno en anillos heterocíclicos. A los herbívoros, les resultan desagradables por su sabor amargo (Cheeke y Kelly 1989). D'Mello (1995) los define como compuestos nitrogenados básicos, los cuales pueden formar sales con ácidos. Se identifican tres grupos: alcaloides verdaderos, pseudoalcaloides y protoalcaloides. Se ha determinado la existencia de doce diferentes alcaloides en las especies *Lupinus spp*, con diferentes grados de toxicidad. En dietas para cerdos, su utilización se indica bajo una tolerancia de hasta un 0,03% de alcaloides; en tanto que en humanos, el National Health and Medical Research Council australiano lo limita a no más de un 0,02% (Liener 1989).

Los alcaloides de lupinos están basados en un anillo bicíclico de quinolizidina, que es la estructura más simple y representativa de este grupo. El alcaloide quinolizidina (tetracíclico) mayormente encontrado es la lupanina. Tienen diversos efectos biológicos, incluyendo limitaciones al consumo, efectos neurológicos y teratogenicidad. Se metabolizan en el hígado, donde interviene el

citocromo P-450. Los efectos metabólicos del alcaloide son primariamente la inhibición neural, produciendo agudos signos de toxicidad como convulsiones y parálisis respiratoria. Se supone que el gusto desagradable es mediado parcialmente a través de efectos neurológicos (Cheeke y Kelly 1989).

Su efecto en las especies domésticas es variado. Así, los cerdos son muy susceptibles a cualquier nivel de inclusión de lupinos, causando una disminución en la tasa de crecimiento, y efectos como el rechazo del alimento y el vómito, aún con material térmicamente procesado. En cambio los pollos de engorda toleran niveles de 20% sin acusar efectos nocivos y los conejos llegan a tolerar inclusiones de 50% (Cheeke y Kelly 1989). Los alcaloides están presentes en varias plantas de interés para la alimentación animal, tales como *Glycine max*, *Lupinus spp*, *Lens culinaris*, *Vicia faba*, *Cicer arietinum* y otros.

ACIDO FÍTICO

Es un ácido fosfórico derivado de mio-inositol con la habilidad de formar quelatos con iones de minerales esenciales tales como Ca, Mg y ciertos elementos traza. Forman complejos solubles resistentes a la acción del tracto intestinal, disminuyendo la disponibilidad de esos elementos minerales en no-rumiantes (D'Mello 1995). Liener (1989) al referirse a los fitatos, sales de ácido fítico, reporta su presencia en semillas leguminosas en un rango del 1 al 5% del peso seco. Ante la presencia de Ca, reducen la biodisponibilidad del Zn, debido a la conformación de complejos Zn-Ca-fitato.

Aunque su mayor efecto es la disminución de la biodisponibilidad de minerales, los fitatos también interactúan con residuos básicos de proteínas, participando en la inhibición de enzimas digestivas como la pepsina, pancreatina y α -amilasa; posiblemente por la quelación de iones Ca de las enzimas (esenciales para la actividad de tripsina y α -amilasa) o por una interacción con los sustratos de las mismas (Liener 1989). En algunas semillas concurre naturalmente en otros tejidos de la misma una enzima que reduce el contenido de los

fitatos, la fitasa, lo cual permite disminuir el efecto nocivo de los mismos con solo propiciar su coincidencia mediante tratamientos físicos (Liener 1989). Se ha reportado la ineficacia de procesos térmicos pero se ha observado la reducción hasta de la mitad de su contenido mediante la germinación (D'Mello 1995).

PROTEÍNAS ANTIGÉNICAS

Polipéptidos con peso molecular de cerca de 50-60 kDa aparentemente derivadas de especies β -conglucinin, y algunos polipéptidos con más pequeños pesos moleculares de 15 a 20 kDa. Han sido identificadas como proteínas con propiedades antigénicas o alergénicas que tienen la capacidad de activar el sistema inmune, lo cual está directamente relacionado a una digestión subóptima de estas proteínas, aumentando los requerimientos de mantenimiento y las pérdidas endógenas (Gueguen *et al.* 1993).

Particularmente en la alimentación de lactantes (becerros y cerdos), las proteínas antigénicas reducen el crecimiento y la digestibilidad y muestran altos títulos de anticuerpos. Después de la sensibilización, los animales permanecen susceptibles a los efectos adversos por largo tiempo, desarrollando profundos disturbios en la estructura y motilidad intestinal (ésta última no se presenta en cerdos), en el tránsito de la digesta, en el manejo del agua y en el transporte intestinal de nutrientes y minerales; lo que conduce a una pobre digestión y diarreas (Lallès *et al.* 1993).

Lallès *et al.* (1993), concluyen sobre la falta de identificación y de entendimiento de los mecanismos de estos FAN, por lo cual se recomienda tener precaución en la utilización de ingredientes que los contienen (*Glycine max*, principalmente) cuando se elaboran sustitutos de leche en sistemas de producción donde el destete se realiza precozmente.

PERSPECTIVAS DE TRABAJO CON LOS FAN

La predominancia de los sistemas intensivos pecuarios en países donde la producción de los ingredientes de la

alimentación convencional es insuficiente y por ello deben importarse en grandes volúmenes, justifica la perspectiva de continuar y ampliar los trabajos científicos y tecnológicos tendientes a la expansión y diversificación de la plataforma de materias primas de alimentos para animales, a fin de sostener los niveles productivos de dichos sistemas y eventualmente, disminuir su dependencia actual. En esta perspectiva, los trabajos con recursos de potencial nutricional disponibles a nivel local están fuertemente enfocados al estudio y tratamiento de los compuestos secundarios debido a sus efectos antinutricionales.

Los problemas relativos al conocimiento de los FAN, que persisten como tales para la incorporación de nuevos ingredientes y su generalización tecnológica son:

- Insuficiencias en el conocimiento de las vías de acción de aquellos sobre los animales de interés;
- dificultad para su detección con métodos asequibles y económicos;
- insuficiencias en los métodos analíticos y falta de estandarización de los mismos y de las unidades para la medición de los FAN; y
- que los actuales métodos de detoxificación frecuentemente resultan insuficientes ante la variabilidad en la presencia y contenido de los FAN en un ingrediente.

Adicionalmente deben considerarse los problemas originados por la naturaleza de los ingredientes y de los procesos de detoxificación. Entre ellos destacan

- que una importante proporción del N de las leguminosas forma parte de dichos FAN, por lo que su remoción resulta contraproducente en el contenido de N;
- que las leguminosas tienen como característica el poseer un amplio complejo de FAN lo cual dificulta su detoxificación a través de procesos simples; y
- que buena parte de los procesos de detoxificación tienen como efecto colateral la disminución del potencial

valor nutritivo de los ingredientes tratados.

Ante lo anterior se han propuesto líneas de trabajo que además de superar esas insuficiencias, se enfoquen a la identificación de niveles umbrales de acción de los FAN en los animales de interés (particularmente en el cerdo como el modelo animal más similar al humano), así como hacia procesos de detoxificación que incluyan el mejoramiento genético, los procesos biotecnológicos y la utilización de enzimas. Sin embargo, es también pertinente sugerir modificaciones al esquema productivo intensivo en el sentido de utilizar sistemas alimentarios más diversos en los que debido a un número mayor de ingredientes en la dieta, el nivel de incorporación sea menor. Evidentemente este camino implica una modificación estructural del sistema convencional.

En el contexto de la facultad se han tratado exitosamente la *Canavalia ensiformis* para la alimentación de aves mediante la combinación de tratamientos térmicos y de solubilización; se han aplicado tratamientos alcalinos para la utilización de *Leucaena leucocephala* y *Stizolubium deeringianum* por cerdos; se trabaja con fermentación pretendiendo detoxificar la *Canavalia ensiformis* para su utilización en dietas para cerdos y en tratamientos térmicos para la utilización de *Stizolubium deeringianum* en la alimentación de aves.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Belmar, R. y T.R. Morris. 1994a. Effects of raw and treated jack beans (*Canavalia ensiformis*) and of canavanine on the short-term feed intake of chicks and pigs. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*. 123:407-414.
- Belmar, R. y T.R. Morris. 1994b. Effects of the inclusion of treated jack beans (*Canavalia ensiformis*) and the amino acid canavanine in chick diets. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*. 123:393-405.
- Birk, Y. y I. Peri. 1980. Saponins. In: *Toxic Constituents of Plant Foodstuffs*. 2nd Ed. Academic Press. pp161-182.
- Butler, L.G. y K.D. Bos. 1993. Analysis and characterization of tannins in faba beans, cereals and other seeds. A literature review. In: *Recent advances of research in antinutritional factors in legume seeds: proceedings of de Second International Workshop on 'Antinutritional Factors (ANFs) in Legume Seeds', Wageningen, The Netherlands, 1-3 December 1993*. Poel, A.F.B. van der, J. Huisman and H.S. Saini (Editors). EAAP Publication no. 70. Wageningen Pers. Netherlands. pp 81-90.
- Cheeke P.R. 1971. Nutritional and physiological implication of saponins. A review. *Canadian Journal of Animal Science*, 51:621-623.
- Cheeke, P.R. y J.D. Kelly. 1989. Metabolism, toxicity and nutritional implications of quinolididine (lupin) alkaloids. In: *Recent advances of research in antinutritional factors in legume seeds. Proceedings of the First International Workshop on 'Antinutritional Factors (ANF) in Legume Seeds', Wageningen, The Netherlands November 23-25, 1988*. Huisman, J., T.F.B. van der Poel and I.E. Liener (Editors). Pudoc Wageningen, Netherlands. pp. 189-210.
- D'Mello, J.P.F. 1995. Anti-nutritional substances in legumes seeds. In: *Tropical Legumes in Animal Nutrition*. D'Mello, J.P.F. and C. Devendra (Eds.). CAB International. U.K. pp 135-165.
- Domínguez, X.A. 1973. *Métodos de Investigación Fitoquímica*. Limusa. México. pp 149-159
- Gueguen, J., M.G. van Oort, L. Quillien y M. Hession. 1993. The composition, biochemical characteristics and analysis of proteinaceous antinutritional factors in legume seeds. A review. In: *Recent advances of research in antinutritional factors in legume seeds: proceedings of de Second International Workshop on 'Antinutritional Factors (ANFs) in Legume Seeds', Wageningen, The Netherlands, 1-3 December 1993*. Poel, A.F.B. van der, J. Huisman and H.S. Saini (Editors). EAAP Publication no. 70. Wageningen Pers, Netherlands. pp 9-30.

- Huisman, J. 1989. Antinutritional factors (ANFs) in the nutrition of monogastric farm animals. In: Nutrition and Digestive Physiology in Monogastric Farm Animals. Reviews Presented at the Symposium on the Occasion of the Retirement of Dr Ir E.J. van Weerden, Wageningen, Netherlands, 26 May 1989. Weerden, E.J. van and J. Huisman (Eds). Pudoc Wageningen. Netherlands. pp 17-36.
- Huisman, J. 1989. Words of welcome. In: *Recent advances of research in antinutritional factors in legume seeds. Proceedings of the Firts International Workshop on 'Antinutritional Factors (ANF) in Legume Seeds', Wageningen, The Netherlands November 23-25, 1988.* Huisman, J., T.F.B. van der Poel and I.E. Liener (Editors). Pudoc Wageningen, Netherlands. pp 4-5.
- Huisman, J. 1993. Words of wellcome. In: *Recentes advances of research in antinutritional factors in legume seeds: proceedings of de Second International Workshop on 'Antinutritional Factors (ANFs) in Legume Seeds', Wageningen, The Netherlands, 1-3 December 1993.* Poel, A.F.B. van der, J. Huisman and H.S. Saini (Editors). EAAP Publication no. 70. Wageningen Pers. Netherlands. pp 5-6
- Huisman, J. y G.H. Tolman. 1992. Antinutritional factors in the plant proteins of diets for non-ruminants. In: *Recent Advances in Animal Nutrition.* Garnsworthy, P.C., H. Haresing and D.J.A. Cole (Eds.). Butterworth Heinemann. U.K. pp 3-31.
- Huisman, J., A.F.B. van der Poel, M.W.A. Verstegen y E.J. van Weerden. 1990. Antinutritional factors (ANF) in pig production. *World Review of Animal Production.* XXV (2): 77-82.
- Jansman, A.J.M. 1993. Tannins in feed feedstuffs for simple-stomached animals. *Nutrition Research Reviews,* 6:209-236.
- Jansman, A.J.M., J. Huisman y A.F.B. van der Poel. 1989. Faba beans with different tannin contents: ileal and faecal digestibility in piglets and growth in chicks. In: *Recent advances of research in antinutritional factors in legume seeds. Proceedings of the Firts International Workshop on 'Antinutritional Factors (ANF) in Legume Seeds', Wageningen, The Netherlands November 23-25, 1988.* Huisman, J., T.F.B. van der Poel and I.E. Liener (Editors). Pudoc Wageningen, Netherlands. pp 176-180.
- Kumar, R. y D'Mello, J.P.F. 1995. Antinutritional factors in forage legumes. In: *Tropical Legumes in Animal Nutrition.* D'Mello, J.P.F. and C. Devendra (Eds.). CAB International. U.K. pp 95-133.
- Lallés, J.P., H. Salmon, Bakker N.P.M. y Tolman, G.H. 1993. Effects of dietary antigens on health, performance and immune system of calves and piglets. In: *Recentes advances of research in antinutritional factors in legume seeds: proceedings of de Second International Workshop on 'Antinutritional Factors (ANFs) in Legume Seeds', Wageningen, The Netherlands, 1-3 December 1993.* Poel, A.F.B. van der, J. Huisman and H.S. Saini (Editors). EAAP Publication no. 70. Wageningen Pers. Netherlands. pp 253-270.
- Liener, I.E. 1989. Antinutritional factors in legume seeds: state of the art. In: *Recent advances of research in antinutritional factors in legume seeds. Proceedings of the Firts International Workshop on 'Antinutritional Factors (ANF) in Legume Seeds', Wageningen, The Netherlands November 23-25, 1988.* Huisman, J., T.F.B. van der Poel and I.E. Liener (Editors). Pudoc Wageningen, Netherlands. pp 6-13.
- Marquardt, R.R. 1989. Dietary effects of tannins, vicine and convicine. In: *Recent advances of research in antinutritional factors in legume seeds. Proceedings of the Firts International Workshop on 'Antinutritional Factors (ANF) in Legume Seeds', Wageningen, The Netherlands November 23-25, 1988.* Huisman, J., T.F.B. van der Poel and I.E. Liener (Editors). Pudoc Wageningen, Netherlands. pp 141-155.

- Ologhobo, A.D., Apata, D.F. y Oyejide, A. 1993. Utilisation of raw jackbean (*Canavalia ensiformis*) and jackbean fractions in diets for broiler chicks. *British Poultry Science*. 34:323-337.
- Papadoyannis, I.N. y Von Baer, D. 1993. Analytical techniques used for alkaloid analysis in legume seeds. In: *Recent advances of research in antinutritional factors in legume seeds: proceedings of de Second International Workshop on 'Antinutritional Factors (ANFs) in Legume Seeds', Wageningen, The Netherlands, 1-3 December 1993*. Poel, A.F.B. van der, J. Huisman and H.S. Saini (Editors). EAAP Publication no. 70. Wageningen Pers. Netherlands. pp 131-145.
- Price, K.R y Fewick, G.R. 1987. The chemistry and biological significance of saponins in foods and feedingstuffs. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 26:27-135
- Pusztai, A. 1989. Biological effects of dietary lectins. In: *Recent advances of research in antinutritional factors in legume seeds. Proceedings of the Firts International Workshop on 'Antinutritional Factors (ANF) in Legume Seeds', Wageningen, The Netherlands November 23-25, 1988*. Huisman, J., T.F.B. van der Poel and I.E. Liener (Editors). Pudoc Wageningen, Netherlands. pp 17-29.
- Rahiala, E. 1973. Canaline. Characterization of enzima piridoxal phosphate complex. *Acta Chemica Scandinavica*, 27:3861-3867
- Ramos, G, P. Frutos, Giradles, F.J. y Mantecón, A.R. 1998. Los compuestos secundarios de las plantas en la nutrición de los herbívoros. *Archivos de zootecnia*, 47(180):601-620.
- Rosenthal, G.A. 1981. A mechanism of L-canaline toxicity. *European Journal of Biochemistry*, 114:301-304.
- Rosenthal, G.A. 1982. L-canavanine metabolisms in Jack bean, *Canavalia ensiformis* (L) DC. (Leguminosae). *Plant Physiology*, 69:1066-1069.
- Rosenthal, G.A. y Bell, E.A. 1979. Naturally occurring toxic non-protein amino acids. In: *Herbivores: Their Interactions With Secondary Plant Metabolites*. Rosenthal, G.A. (Editor). New York, Academic Press. Pp 353-381.
- Saini, H.S. 1989. Legume seed oligosaccharides. In: *Recent advances of research in antinutritional factors in legume seeds. Proceedings of the Firts International Workshop on 'Antinutritional Factors (ANF) in Legume Seeds', Wageningen, The Netherlands November 23-25, 1988*. Huisman, J., T.F.B. van der Poel and I.E. Liener (Editors). Pudoc Wageningen, Netherlands. pp 329-341.
- Saini, H.S. 1993. Distribution of tanins, vicine and convicine activity in legume seeds. In: *Recent advances of research in antinutritional factors in legume seeds: proceedings of de Second International Workshop on 'Antinutritional Factors (ANFs) in Legume Seeds', Wageningen, The Netherlands, 1-3 December 1993*. Poel, A.F.B. van der, J. Huisman and H.S. Saini (Editors). EAAP Publication no. 70. Wageningen Pers. Netherlands. pp 95-100.