SORGOS GRANÍFEROS GENOTÍPICAMENTE PARDOS: NUEVOS CONCEPTOS EN TOXICOLOGÍA Y RESPUESTA DE LAS AVES

Marta E. Jaramillo[1]
Médico Veterinario, Doctor en Ciencias Agrícolas
Micotoxicología – Nutrición – Investigación
Asesor Independiente

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de los sistemas de explotación avícola con características de producción intensiva ha sido sustentado por la instauración de un circuito que lleva consigo la producción de alimentos balanceados a gran escala. A su vez, los alimentos balanceados han sido estructurados sobre la base de la utilización de harina de granos de maíz como principal componente energético de la ración con ventajas muy particulares sobre otros cereales tal como el hecho de no poseer dentro de sus constituyentes compuestos antinutricionales. Sin embargo, a partir de la década de los 70 en muchos países otros cereales han sido incluidos dentro de la formulación de dietas comerciales para aves y cerdos. En Sur América y particularmente en Venezuela, después del maíz el sorgo granífero es el otro cereal usado por la industria de alimentos balanceados. La mayoría de estos sorgos contienen taninos condensados (TC) dentro de sus constituyentes (Jaramillo y Peña, 1992a, 1993a, 1994a, 1995a, 1996a; Jaramillo y Wyatt, 2000a, 2001a, 2002a, 2003a, 2004a) los cuales han sido vinculados con un efecto adverso sobre la digestión y metabolismo de los nutrientes en no-rumiantes a través de mecanismos de acción específicos (Tamir y Alumot, 1969; Armstrong *et al*., 1973; Armstrong *et al*., 1974; Butler, 1982; Butler *et al*., 1984; Mehansho *et al.*, 1987a,b; Jaramillo *et al*., 1993; Jaramillo, 1994; Jaramillo *et al*., 1994; Jaramillo *et al.*,1995). A partir de los años 80 y hasta el presente, la investigación en materia de taninos mantiene en primer plano el estudio de interesantes áreas en donde pareciera encontrarse algunas respuestas a las muchas incógnitas planteadas. Dentro de estas áreas destacan: (1) la participación de proteínas endógenas como vía natural contrarrestante de la acción tanínica (Mehansho *et al*., 1985; Mehansho *et al*., 1987a,b; Hofmann, 1989), soportada por estudios histopatológicos (Sell *et al.*,1985; Jaramillo, 1992), (2) el grado de reactividad biológica de la molécula de proantocianidina (taninos condensados) lo cual marca su grado de polimerización y de allí su capacidad para provocar sus efectos adversos (Butler, 1982; Hahn *et al*. 1984) y (3) la suplementación de dietas con agentes ligantes a taninos (Butler *et al*., 1984; Jaramillo y Peña, 1992b, 1993b, 1994b, 1995b y 1996b) como medida minimizadora de los efectos adversos de estos compuestos.

[1]Maracay, Estado Aragua, 2101.Venezuela. Telefax: 58-243-232-6007. marelen_jaramillo@yahoo.com

En el presente reporte se destacan conceptos relevantes vinculados a la toxicología de los sorgos genotípicamente pardos resaltándose aspectos relacionados con sus toxicidades intrínseca y extrínseca y a las manifestaciones de respuesta en aves.

II. TOXICOLOGÍA DE SORGOS GRANÍFEROS GENOTÍPICAMENTE PARDOS

El sorgo granífero es una monocotiledónea perteneciente a la familia de las Gramíneas, sub-familia Panicoidea. Por su característica particular de presentar taninos se agrupa en la tribu específica Andropogenae, única con estas características dentro de las monocotiledóneas (Sykes, 1970). La designación de "sorgos genotípicamente pardos" está dada por la presencia de una capa de células bastante definida denominada testa (Rooney y Miller, 1981; Rumbos, 1986) la cual se hace presente y es altamente pigmentada en la etapa inicial de formación del grano. Posteriormente, cuando el endospermo se expande por haber alcanzado el grano su estado de madurez, la testa se transforma en una capa de células continuas. Se ha determinado como característica estructural de gran significancia que los sorgos genotípicamente pardos, los cuales presentan una testa bastante desarrollada y pigmentada en alto grado, son poseedores de elevados contenidos de polifenoles totales y de TC al compararlos con aquellos que presentan poco ó ningún desarrollo de esta capa (Doherty *et al*., 1987; Ciccola, 1989). Este hecho hace pensar que es en dicha capa donde se ubican las células productoras de estos compuestos y que por lo tanto aquellos cultivares que no presentan testa (sorgos genotípicamente blancos) no contienen TC siendo su valor nutricional alrededor del 96-98% en relación al maíz (Sullivan, 1987). La presencia de testa es una característica controlada por los genes complementarios B_1 y B_2 que en los sorgos pardos son dominantes y en los granos maduros sin testa se presentan en forma recesiva (Rooney y Sullins, 1977; Hahn *et al*., 1984). La ocurrencia adicional del gen S (difusor) determina una mayor pigmentación tanto del pericarpio como de la testa.

2.1 Toxicidad Intrínseca: Compuestos Polifenólicos

Los hallazgos de investigación durante las últimas tres décadas han permitido apuntar la presencia de compuestos fenólicos en todos los cultivares de sorgo y la influencia de éstos sobre características específicas del grano tales como color, sabor, apariencia y calidad nutricional. Desde el punto de vista químico, los compuestos polifenólicos pueden ser clasificados en tres grupos: ácidos fenólicos, flavonoides y taninos. Los ácidos fenólicos se encuentran en todos los cultivares de sorgo y en la gran mayoría los compuestos flavonoides; mientras que los taninos y particularmente los de naturaleza condensada están presentes solo en los sorgos genotípicamente pardos, poseedores de testa pigmentada, resistentes al ataque de pájaros y a la degradación enzimática (Hahn *et al*., 1984). Este tipo de sorgo, se encuentra mayormente en las regiones tropicales donde llegan alcanzar altos rendimientos con la

particularidad de poder desarrollarse en presencia de adversidades del medio ambiente donde difícilmente pudieran producirse otros cultivos. Sobre la toxicidad de los TC presentes en los sorgos genotípicamente pardos se ahondará en el presente trabajo.

(a) Taninos

Los taninos se definen como un complejo de polímeros fenólicos que constituyen algunos de los productos naturales más numerosos y ampliamente distribuidos en muchos vegetales incluyendo árboles, frutas y pastos. Su presencia en los cereales es rara y en el caso del sorgo solamente se encuentran en cultivares genotípicamente pardos (Mehansho *et al*., 1987a). Las investigaciones de Hahn *et al*. (1984) permitieron distinguir dos grandes grupos:

(a.1) Taninos Hidrolizables: su principal representante es el ácido tánico, el cual se desdobla en sus componentes característicos: un azúcar y un ácido fenólico (ácido gálico o el ácido elágico) cuando es sometido a un tratamiento con soluciones ácidas, alcalinas o con enzimas hidrolíticas como la tanasa.

(a.2) Taninos Condensados: son polímeros fenólicos de alto peso molecular (500 a 3000 daltons), solubles en agua, que resultan de la condensación de unidades de flavan-3-ols ó catequina y a los cuales se les refiere como proantocianidinas (Salunkhe *et al*., 1982). Los TC tienen la capacidad de precipitar alcaloides, gelatinas y otras proteínas formando complejos estables tanino-proteína los cuales van a conducir a la inactivación de la proteína con posterior precipitación de la misma (Aw y Swanson, 1985). Así mismo, se les ha impartido capacidad para unirse a carbohidratos y ciertos iones metálicos como el hierro afectando la disponibilidad y posterior utilización de los mismos (Duarte, 1985). Este tipo de taninos ha sido asociado científicamente con el deterioro del valor nutricional del grano de sorgo y de la respuesta productiva en aves (Hahn *et al*., 1984; Jaramillo, 1992).

La habilidad de los TC para formar complejos estables con las proteínas, ha sido atribuido a interacciones hidrofóbicas que se establecen entre el núcleo aromático de los taninos y los grupos alifáticos y aromáticos de los aminoácidos, así como también a puentes de hidrógeno entre el grupo OH-fenólico de la molécula de taninos y el oxígeno del grupo cetoimida del enlace peptídico de las proteínas (Hagerman y Butler, 1981).

Goldstein y Swain (1963) estudiaron en varios frutos los cambios en el contenido de taninos, concluyendo que en el grano maduro disminuye la propiedad astringente como consecuencia de un incremento en la polimerización de los taninos con reducción de la solubilidad y capacidad para unirse a proteínas, aseveración que es compartida por Haslam (1977) en el estudio de la bioquímica de los taninos en el grano de sorgo. En este tópico, Butler (1982) señala que los granos de sorgos inmaduros altos en taninos contienen unidades de catequina capaces de polimerizarse para formar TC. El autor señala que la disminución en

el buen sabor, conferido por un mayor grado de astringencia, es una característica que se hace máxima en granos inmaduros asociada con la prevalencia de unidades de catequina de bajo peso molecular. Así, la astringencia al sabor con la consiguiente disminución de la aceptación y el grado de resistencia al ataque de pájaros que presentan los granos de sorgo altos en taninos en la fase inmadura, es consecuencia de la formación de complejos entre los oligómeros y las proteínas de la saliva y otras glicoproteínas de la boca (Hahn *et al*., 1984). Esta evidencia explicaría la razón por la cual se presentan daños por ataque de pájaros en granos de sorgos altos en taninos maduros y secos ya que en esta etapa de desarrollo del grano, los oligómeros de catequina se han organizado estructuralmenete en polímeros de proantocianidinas en los cuales la solubilidad y capacidad para reaccionar y formar complejos con las proteínas se encuentra reducida.

2.2 Toxicidad Extrínseca: Metabolitos de Micobiota

La presencia de mohos como contaminantes naturales de insumos vegetales y muy particularmente de los sorgos graníferos, tiene especial importancia ya que además de la toxicidad intrínseca del grano, generada por la presencia de TC, se le incorpora un nuevo componente tóxico de naturaleza extrínseca representado por la contaminación natural por micotoxinas cuando dichos mohos tienen la capacidad genética para producir uno ó más de estos compuestos químicos. Las micotoxinas una vez generadas en los granos de sorgo, pueden ser ingeridas a través del consumo de alimentos donde este ingrediente contaminado, por una ó más micotoxinas, esté presente. La contaminación en los humanos surge a través de dos procesos directos: (a) contaminación debida a la ingestión de la ó las micotoxinas presentes en los sorgos, tal es el caso de países subdesarrollados como la India donde el consumo de sorgos en su mayoría con ningún ó muy poco contenido de taninos y procesados en diversas formas constituye una de las prácticas alimenticias más comunes y (b) contaminación debida a la ingestión de metabolitos de micotoxinas presentes en los alimentos tal es el caso de la micotoxina M_1 presente en leche la cual es un metabolito de aflatoxina B_1. Así mismo, en huevos y tejido muscular de aves otros metabolitos de aflatoxina han sido encontrados constituyendo una fuente más de contaminación para que se generen eventos de toxicidad con cuadros clínicos que se manifiestan mediante una respuesta sintomática de curso agudo ó asintomática tendente a la cronicidad (Wyatt, 1997). En los animales zootécnicos y muy particularmente en las aves, se desconocen los efectos que pudieran generarse por el consumo de sorgos genotípiamente pardos altos en TC y contaminados con micotoxinas ya que los esfuerzos de investigación, en este tipo de sorgos, se han centrado básicamente en el estudio de los efectos antinutricionales de los taninos.

Las investigaciones de los años 70 y 80 en materia de contaminación por micotoxinas en “sorgos genotípicamente pardos” dejan notar resultados y planteamientos donde se resalta el efecto bloqueador de los compuestos polifenólicos presentes en el sorgo frente la

colonización del grano por mohos toxigénicos (Harris y Burns, 1973; Hahn *et al*., 1983). En Venezuela, se destacan los hallazgos de estudios realizados por Mazzani (1988); Gómez y Mazzani (1991); Martínez (1981-2003); Jaramillo y Wyatt (2000a, 2001a, 2002a, 2003a, 2004a) y Jaramillo (2006-2008) en sorgos procedentes de campo y de almacenamiento y cuyos resultados han mostrado una amplia micobiota perteneciente a distintos géneros con alta incidencia de infestación interna en granos procedentes de campo. Este hecho hace pensar que el problema de contaminación por mohos se agrava aún más cuando se adiciona otra carga de micobiota a nivel de silos de almacenamiento. Así, Mazzani (1988) reporta contaminación interna en muestras de sorgos tomadas de silos horizontales y verticales haciendo referencia a la presencia de *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger* y *Aspergillus terreus* con una incidencia de 34%, 26%, y 19% respectivamente. Por otra parte, el autor reporta que *Fusarium* spp. fué el género que presentó la más alta incidencia (86%). Por su parte, las investigaciones de Jaramillo y Wyatt (2000a, 2001a, 2002a, 2003a, 2004a) evidenciaron una alta contaminación interna por mohos en sorgos graníferos resaltando que dentro de los géneros aislados *Aspergillus* y *Fusarium* presentaron una alta incidencia.

III. TOXICOLOGÍA DEL TRINOMIO CAUSA – EFECTO – RESPUESTA EN AVES

La toxicología del trinomio CAUSA – EFECTO – RESPUESTA en aves como consecuencia del consumo de alimentos balanceados que incluyen dentro de la fórmula sorgo con un contenido de TC superior al 1%, constituye una novedosa área de estudio en la que se concentran hipótesis a investigar a fines de entender con mayor grado de profundidad cada uno de los miembros de este trinomio. El trinomio CAUSA – EFECTO – RESPUESTA en una manera integral puede definirse como la acción de un agente causal sobre los sistemas biológicos que da lugar a un efecto que se expresa a través de una respuesta ó manifestaciones visibles y/ó medibles (Jaramillo, 2005). Actualmente, se conoce que en los sorgos genotípicamente pardos, el componente CAUSA está representado por la presencia intrínseca de TC y por la presencia extrínseca de metabolitos producidos por una micobiota que contamina al grano interna y externamente en campo a la cual se le adiciona otra carga de micobiota externa en el almacenamiento. El componente EFECTO está representado por la generación de efectos ocasionados por el componente CAUSA en órganos y tejidos de los distintos sistemas biológicos y el componente RESPUESTA está vinculado a las manifestaciones exhibidas por las aves a consecuencia del componente EFECTO pudiendo las cuales ser medidas cuantitativamente, ej. reducción del peso vivo, reducción del consumo de alimento, reducción de la temperatura corporal, presencia de lesiones en mucosas, etc. (Jaramillo, 2005).

3.1 Taninos Condensados

✓ Toxicidad Metabólica

La absorción directa de los TC parece no ser posible. Quizás por las barreras anatómicas encontradas y más específicamente por el gran tamaño de los polímeros de taninos los cuales no son degradados a sus productos finales por las enzimas del tracto gastrointestinal. Sin embargo, algunas evidencias de toxicidad metabólica han sido relacionadas con una posible acción de los TC y/o de otros compuestos químicos presentes en el grano de sorgo. Al respecto, los estudios de Sell y Rogler (1983) ponen en evidencia una posible toxicidad metabólica de los TC al encontrar un incremento de la actividad de la enzima UDP-glucuroniltransferasa en aves que consumieron sorgo alto en taninos en relación a las alimentadas con sorgo bajo en taninos. Se conoce que esta enzima interviene en los procesos de desintoxicación de compuestos fenólicos y sobre esta base, un incremento en su actividad podría implicar la absorción de los TC a través de la pared intestinal lo cual es reforzado por los señalamientos de Martin-Tanguy *et al*. (1976) quienes refieren que los taninos parecieran reducir la utilización metabólica de los aminoácidos. El aceptar esta hipótesis permite inferir que las manifestaciones sistémicas se producirían a consecuencia de la absorción de fracciones de TC y/o de compuestos de bajo peso molecular relacionados con los taninos, tales como oligómeros de flavonoides.

En esta área, los estudios de Jaramillo (1992), pusieron en evidencia alteraciones histológicas é histoquímicas de las glándulas de la mucosa de la porción terminal del esófago, proventrículo y duodeno en pollos de engorde que recibieron dietas con sorgos altos en taninos. Estos hallazgos indicarían la presencia de un agente injuriante que podría estar relacionado con la acción de estos compuestos ó con la de oligómeros de flavonoides. En este estudio un punto de gran significancia lo constituyó el proceso de degeneración vacuolar observado en el sistema glandular del esófago el cual pudo ser un efecto a consecuencia de una posible fase primaria de hiperactividad donde se incrementaría la producción de mucoproteínas como respuesta inmediata de barrera química natural para contrarrestar la acción de los TC. Sobre esta base, se explica el mayor impacto negativo de los sorgos poseedores de taninos sobre la ganancia de peso en las primeras semanas de vida de las aves. Así, se piensa que en esta etapa la secreción de mucoproteínas no constituye un mecanismo activo requiriéndose de un cierto tiempo para que se produzcan las transformaciones estructurales que conducirían a la hipertrofia de las glándulas con la cual se iniciaría el proceso de hipersecreción de componentes endógenos para bloquear la acción de los taninos. Si este es el caso, el ave aumentaría sus requerimientos proteicos que al no ser compensados a través de la dieta redundaría en un mayor deterioro del crecimiento. Tal como lo señala el planteamiento de Butler (1989) en relación al posible mecanismo de defensa natural, sería

factible pensar que los efectos antinutricionales de los taninos no sean reflejo de la capacidad tóxica total de los taninos reactivos presentes en el grano; sino de aquellos que no fueron neutralizados por las secreciones ó barreras de defensa.

3.2 Metabolitos de Micobiota

Las investigaciones de Jaramillo y Wyatt (2000ab, 2001ab, 2002ab, 2003ab, 2004ab) conducidas como pioneras en el estudio del trinomio de toxigenicidad en sorgos graníferos, cuyos elementos están representados por: contenido de taninos condensados (CTC) – contaminación interna por micobiota (CIM) - potencial toxigénico de la micobiota (PTM); dejaron abierta una interesante área de investigación en esta materia. En sus distintos estudios, los autores discuten importantes hallazgos que en la actualidad permiten entender la toxigenicidad de los sorgos poseedores de TC bajo un nuevo concepto de sistema integral Taninos Condensados - Metabolitos de Micobiota donde se destaca la dinámica de desarrollo del mismo. Este sistema de toxigenicidad se presenta de manera natural en condiciones de campo dada la presencia per se de los taninos en el grano y su contaminación interna por micobiota.

La mayoría de las investigaciones en esta área han sido enfocadas sobre la base de caracterizar la micobiota presente y/ó detectar niveles de micotoxinas sin cuantificar las concentraciones de TC en los granos. Las experiencias de investigación de Harris y Burns (1973) abarcaron dos aspectos de este trinomio: el contenido de taninos vs. el índice de enmohecimiento de los granos durante la etapa previa a la cosecha sin caracterizarse la micobiota ni evaluarse su potencial toxigénico. Otros estudios reportados en la literatura internacional, conducidos en esta área, se centran en la cuantificación de algunas micotoxinas sin hacer referencia al CTC. Así, Shotwell *et al*. (1969) reportan la presencia de niveles de aflatoxinas comprendidos entre 2 y 19 ng/g en 6 muestras de un total de 533 muestras de sorgo analizadas sin evidencia de toxigenicidad al verificar el potencial toxigénico mediante la prueba biológica de alimentación de patos bebé. Otros ejemplos lo constituyen los hallazgos de Schroeder y Boller (1973) quienes detectaron en sorgos de Estados Unidos niveles de aflatoxinas de 20 ng/g. Contrariamente, Cannole y Hill (1970) y Alpert *et al*. (1971) reportaron concentraciones de aflatoxinas de 8.000 y 1.000 ng/g en sorgos procedentes de Australia y Uganda en cada caso respectivamente. En latinoamérica, las reseñas de literatura sobre esta materia son muy escasas. Meléndez (1991) en un estudio realizado con la finalidad de correlacionar las concentraciones de taninos con niveles de aflatoxinas en 47 muestras de sorgo procedentes de industrias procesadoras de alimento concentrado de Venezuela, reporta una incidencia de contaminación de 65,96%; 14,89% y 6,38% para las aflatoxina B_1, B_2 y G_1 respectivamente, con niveles comprendidos entre 0,375 y 2,5 ng/g. El autor refiere que el contenido de taninos de las muestras de sorgo analizadas fluctuó en un rango de valores entre

0,70 y 2,40 mg de catequina/100 mg de muestra sin haberse encontrado una correlación significativa (r = - 0,287) entre estos dos factores.

En el estudio de este trinomio de toxigenicidad, Jaramillo y Wyatt (2000ab, 2001ab, 2002ab, 2003ab, 2004ab) utilizaron sorgos graníferos producidos en Venezuela con dos fuentes de procedencia: cultivares de campo y almacenamiento. Los resultados evidenciaron los siguientes puntos: (1) El CTC equivalentes catequina fluctuó entre 0,09% y 2,55% en cultivares de campo y 0,29% y 1,00% en sorgos de almacenamiento. (2) Alta CIM destacándose que en los granos procedentes de cultivares la contaminación interna fluctuó entre 55% y 93% mientras que aquellos procedentes de almacenamiento mostraron un nivel de contaminación entre 8,48% y 84,82%. Cabe resaltar que dentro de los géneros de mohos aislados en ambos casos los predominantes fueron: *Fusarium* spp., *Phoma* spp. y *Aspergillus* spp. con una incidencia de 42%; 33% y 23% respectivamente para la modalidad cultivar de campo. En el caso de la micobiota aislada de silos de almacenamiento los mohos predominantes fueron: *Phoma* spp., *Aspergillus* spp., *Fusarium* spp. y *Penicillium* spp. Estos resultados dejan notar de manera relevante la contaminación de sorgos graníferos poseedores de TC con mohos pertenecientes a los géneros *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium* dentro de los cuales se han encontrado cepas altamente toxigénicas para las aves. (3) El PTM mostró importantes evidencias de toxicidad de distintas especies de géneros de mohos conocidos y otros menos conocidos en materia de micotoxicología. Seguidamente se exponen resultados sobre este punto.

- ✓ **Potencial Toxigénico de la Micobiota**

Las evaluaciones sobre PTM han sido realizadas mediante la utilización de distintos métodos basados en la aplicación de procedimientos químicos y biológicos. La escogencia de uno de éstos va a depender del objetivo central que se desea alcanzar. Así, los métodos biológicos son de invalorable ayuda cuando se trata de investigar el potencial toxigénico de cepas de hongos y en el estudio de los efectos de las micotoxinas en los organismos vivos (Candlish, 1991; Wyatt, 1997), mientras que los procedimientos químicos juegan un rol relevante cuando se conocen cuál o cuáles son las micotoxinas involucradas por la presencia de un moho en particular (FAO, 1991). Para fines de este manuscrito, se abordará los métodos ó ensayos biológicos conocidos como bioensayos. Candlish (1991) agrupa los bioensayos de acuerdo a los sistemas biológicos en los cuales son llevados a cabo y los efectos producidos en los mismos. Así, los sistemas biológicos empleados más frecuentemente están representados por: animales acuáticos, animales terrestres, microorganismos (bacterias, hongos y algas), plantas, células y cultivos de tejidos y órganos. Dentro de las muchas especies animales usadas en la detección de micotoxinas solamente aquellas que pueden ser mantenidas en condiciones de laboratorio por razones de espacio y costo son las que han sido comúnmente usadas.

Los embriones de pollos constituyen uno de los sistemas biológicos más utilizados en la detección de metabolitos de micobiota donde se incluyen las micotoxinas conocidas y desconocidas por la ciencia así como también en la evaluación de efectos teratogénicos ocasionados por dichos compuestos. Este tipo de ensayo se lleva a cabo mediante la inoculación del extracto, conteniendo el metabolito del moho, en la cámara de aire de los huevos embrionados. En su desarrollo deben garantizarse una serie de fundamentos y factores los cuales han sido expuestos muy detalladamente por la AOAC (1984) como método oficial para la detección de aflatoxina y otros metabolitos de micobiota siendo su principal inconveniente el tiempo requerido en la obtención de resultados (21 días). En relación a la evaluación de los efectos teratogénicos, éstos son medidos por la presencia de alteraciones morfológicas en los embriones que se manifiestan generalmente en cabeza, pico, cuello, alas, abdomen y patas (Vaselá *et al*., 1983; Iwama *et al*., 1991).

El estudio de la embriotoxicidad de metabolitos de micobiota contaminante natural de sorgos con distintos CTC, ha sido un área abordada por primera vez en el ámbito científico por Jaramillo y Wyatt (2000b, 2001b, 2002b, 2003b, 2004b). Los resultados de estos estudios dejaron notar interesantes hallazgos que se orientan hacia el manejo de nuevos conceptos en el conocimiento de la toxicología de los sorgos genotípicamente pardos. Así, los resultados fueron consistentes de evidencias de toxigenicidad para las cepas de *Aspergillus flavus*, *Fusarium avenaceum*, *Fusarium semitectum*, *Eurotium amstelodami*, *Eurotium sp. – Aspergillus glaucus* Group y *Aspergillus niger* destacándose que los géneros *Aspergillus* spp., *Eurotium* spp., *Fusarium* spp., y *Phoma* spp. exhibieron la mayor letalidad al compararse entre géneros.

Por otra parte, los resultados sobre efectos teratogénicos dejaron notar la presencia de malformaciones en los embriones vinculadas a los géneros *Aspergillus* spp., *Eurotium* spp., *Fusarium* spp. y *Phoma* spp. Las principales malformaciones se correspondieron con: abdomen abierto y exposición de las vísceras intestinales y vitelo (*Phoma*, *Fusarium*, *Aspergillus y Eurotium*), cuello excesivamente largo (*Phoma*, *Fusarium*, *Aspergillus* y *Eurotium*), pico cruzado (*Aspergillus*, *Phoma* y *Fusarium*), macrocefalia (*Phoma*, *Eurotium*, *Aspergillus* y *Fusarium*) y exposición de masa encefálica (*Fusarium* y *Phoma*) (Jaramillo y Wyatt, 2000b, 2001b, 2002b, 2003b, 2004b).

IV. CONCLUSIÓN

En el estudio de la toxicidad de los “sorgos genotípicamente pardos” un nuevo concepto de enfoque que involucra el trinomio: CTC – CIM – PTM, permite realizar una evaluación integral más real representativa de la toxicidad per se de los granos y de los eventos de contaminación que se suceden tanto a nivel de campo como de almacenamiento. En las aves, los efectos producidos por algunos de los compuestos tóxicos presentes en el

grano: Taninos Condensados – Metabolitos de Micobiota, generan una respuesta adversa que compromete el funcionalismo de distintos órganos y sistemas siendo las aves jóvenes las más afectadas. Ciertamente, el empleo de este tipo de sorgos, particularmente en los países tropicales, ha sido una necesidad más que una alternativa, vislumbrándose como la fuente cereal de carbohidratos más inmediata para la industria de alimentos balanceados. El conocer y entender su toxicidad nos conducirá a un uso más eficiente y racional en la nutrición y alimentación de las aves.

V. BIBLIOGRAFÍA

Alpert, M. E., Hutt, M. S. R., Wogan, G. N. y Davidson, C. 1971. Association between aflatoxin content of food and hepatoma frequency in Uganda. *Cancer*, 28:409-413.

Armstrong, W.D., Featherston, W.R. y Rogler, J.C. 1973. Influence of methionine and other dietary additions of the performance of chicks fed bird resistant sorghum grain diets. *Poultry Science*, 52:1592-1599.

Armstrong, W.D., Rogler, J.C. y Featherston, W.R. 1974. Effects of bird resistant sorghum grain and various commercial tannins on chick performance. *Poultry Science*, 53:2137-2142.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC), 1984. Toxicity of aflatoxin B_1. Chicken embryo bioassay. Official Methods of Analysis of the AOAC. Chapter 26, Natural Poisons, 14th Edition, Arlington, VA. Pp. 489-490.

Aw, T. L. y Swanson, B. G. 1985. Influence of tannin on *Phaseolus vulgaris* protein digestibility and quality. *Journal of Food Science*, 50:67-71.

Butler, L. G., 1982. Polyphenols and their effects on sorghum quality. *in*: Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality. Patancheru, Ap. India. ICRISAT. P. 294-311.

Butler, L. G. 1989. Effects of condensed tannin on animal nutrition. En: The Chemistry and Significance of Condensed Tannins. Hemingway, R. W. y Karchaay, J. J. (Eds.) Plenum Press, New York. pp. 391-402.

Butler, I. G., Riedl, D. J., Lebryk, D. G. y Blytt, H. J. 1984. Interaction of proteins with sorghum tannin: Mechanism, specificity, and significance. *Journal of the American Oil Chemists´ Society*, 61:916-920.

Candlish, A. A. G., 1991. The determination of mycotoxins in animal feeds by biological methods. Pages 223-246 *in*: Mycotoxins and Animal Foods. J. E. Smith and R. S. Henderson (Eds.), CRC Press, Inc. Boca Raton Florida.

Cannole, M. D. y Hill, M. W. H. 1970. *Aspergillus flavus* colonization sorghum grains as a possible cause of aflatoxicosis in pigs. *Australian Veterinary Journal*, 46:503-505.

Ciccola, P. G. 1989. Microestructura de la testa y contenido de taninos (proantocianidinas) en algunos cultivares de sorgos producidos en el país. Trabajo de Grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía. Maracay, 120 p.

Doherty, C., Waniska, R., Rooney, L., Earp, C. y Poe, J. 1987. Free phenolic compounds and tannins in sorghum caryopsis and glumes during development. *Cereal Chemistry*, 64: 42-46.

Duarte, A. 1985. Características químicas que afectan el rendimiento y la calidad en la molienda de algunos cultivares de sorgo. Trabajo de Grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Maracay. 107 p.

Goldstein, J. L. y Swain, T. 1963. Changes in tannins in ripening fruits. *Phytochemistry*, 2:371-383.

Gómez, J. Y Mazzani, C. 1991. Efectividad del propionato de amonio en el control de hongos en granos de sorgo almacenado. *Fitopatología Venezolana*. 4:54-55. (Resumen).

Hagerman, A. E. y Butler, L. G. 1981. The specificity of proanthocyanidin protein interactions. Journal of Biological Chemistry, *J. Biol. Chem*. 256:4494-4497

Hahn, D. H., Faubion, J. M. y Rooney, L. W. 1983. Sorghum phenolic acids, their high performance liquid chromatography separation and their relation to fungal resistance. *Cereal Chemistry*, 60:255-259.

Hahn, D. l., Rooney, O. L. W. y Earp, C. F. 1984. Tannins and phenols of sorghum. *Cereal Food World* 29:776-779.

Harris, H. B. y Burns, R. E. 1973. Relationship between tannin content of sorghum grain and preharvest seed molding. *Agronomy Journal*, 65:957-959.

Haslam, E. 1977. Review: Symmetry and promiscuity in procyanidin biochemistry. *Phytochemistry*, 16:1625-1640.

Hofmann, R. R. 1989. Evolutionary steps of ecophysiological adaptation and diversification of rumiants: A comparative view of their digestive system. *Oecologia* 78:443-457.

Iwama, M., Sakamoto, Y., Honda, A., y Mori, Y. 1991. Limb deformity induced in chick embryo by hydroxyurea. *J. Pharm. Dynam*. 6:836-843.

Jaramillo, M. 1992. Estudio de cultivares de sorgo gamífero (*Sorghum bicolor* (L) Moench) altos en taninos condensados producidos en Venezuela. Trabajo de Grado (*Magister Scientiarum*). Facultades de Agronomía y de Ciencias Veterinarias. Universidad Central de Venezuela. Maracay. 200 p.

Jaramillo, M. 1994. Sorgos graníferos altos en taninos. Características químicas y digestibilidad de nutrientes en aves. II Encuentro Regional de Nutrición y Alimentación

de Monogástricos. Instituto de Ciencia Animal (Cuba) y Universidad Central de Venezuela. La Habana-Cuba. Pp. 32-51.

Jaramillo, M. 2005. Taninos condensados, micobiota y su potencial toxigénico en sorgos graníferos (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) producidos en Venezuela y efectos individuales y combinados de aflatoxina y diacetoxyscirpenol (DAS) en pollos de engorde. Trabajo de Grado (Doctorado en Ciencias Agrícolas). Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay. Escuela de Ciencias Ambiental y Agrícola, Departamento de Ciencias Avícolas, Universidad de Georgia, Athens, GA., Estados Unidos. 30602. 264 p.

Jaramillo, M. 2005-2008. Caracterización química y micotoxicológica de sorgos graníferos cultivados en Venezuela y procedentes de campo y de almacenamiento. Informes Técnicos. Industria de Alimentos Balanceados. Venezuela. (Mimeografiado).

Jaramillo, M. y Peña, M. 1992a, 1993a, 1994a, 1995a y 1996a. Caracterización química, nutricional y biológica de híbridos de sorgos graníferos venezolanos. Informes Técnicos. FONAIAP, CONICIT, Industrias del sector avícola. Venezuela. (Mimeografiados).

Jaramillo, M. y Peña, M. 1992b, 1993b, 1994b, 1995b y 1996b. Agentes ligantes a Taninos. Evaluación de diferentes compuestos químicos. Informes Técnicos. Industrias del sector avícola. Venezuela. (Mimeografiados).

Jaramillo, M., Peña, M., Angulo, I, Leon, A. y Obispo, N. 1993. Valor nutricional de cultivares de sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) altos en taninos producidos en Venezuela. I. Composición química. *Zootecnia Tropical*, XI (2):129-150.

Jaramillo, M., León, A., Angulo, I y Peña, M. 1994. Valor nutricional de cultivares de sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L) Moench) altos en taninos producidos en Venezuela. II. Energía metabolizable. *Zootecnia Tropical*, XII. (1):23-53.

Jaramillo, M., León, A. y Peña, M. 1995. Valor nutricional de cultivares de sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L) Moench) altos en taninos producidos en Venezuela. III. Digestibilidad del nitrógeno. *Zootecnia Tropical*, XIII (2):163-182.

Jaramillo, M. y Wyatt, R. 2000a, 2001a, 2002a, 2003a, 2004a. Tannin content and mycobiota characterization in sorghum grains grown in Venezuela. College of Agricultural and Enviromental Sciences, Department of Poultry Science, The University of Gerogia, USA. (Report).

Jaramillo, M. y Wyatt, R. 2000b, 2001b, 2002b, 2003b, 2004b. The embriotoxicity evaluation of sorghum grain extracts. College of Agricultural and Enviromental Sciences, Department of Poultry Science, The University of Gerogia, USA. (Report).

Jaramillo, M. y Wyatt, R. 2000c, 2001c, 2002c, 2003c, 2004c. Individual and combined effects of aflatoxin and diacetoxyscirpenol (DAS) in broiler chickens. College of

Agricultural and Enviromental Sciences, Department of Poultry Science, The University of Gerogia, USA. (Report).

Jaramillo, M. 2006-2008. Caracterización química y de micobiota en sorgos graníferos producidos en Venezuela y procedentes de cultivares de campo y de almacenamiento. Informes Técnicos. Industria de alimentos balanceados, Venezuela. (Mimeografiados).

Martin-Tanguy, J., Vermorel, M, Lenoble, M. y Martin, C. 1976. Les tannins des graines de sorgo. Importance dans l' utilisation digestive de l' azote chez le rat en croissance. *Annales de Biologie Animale. Biochimie. Biophysique* 16:879-890.

Martínez, A. 1981-2003. Diagnóstico e incidencia de microbiotica fúngica y niveles de aflatoxinas y fumonisinas en oleaginosas y cereales en Venezuela. Instituto de Ciencias y Tecnología de Alimentos, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela, (Mimeografiado).

Mazzani, C. B. 1988. Hongos asociados a granos de sorgo almacenados en Venezuela y su control con propionato de amonio en el laboratorio. *Fitopatología Venezolana*, 1:54-57.

Mehansho, H., Clements, S., Sheares, B. T., Smith, y Carlson, D. M. 1985. Induction of proline-rich glycoprotein synthesis in mouse salivary glands by isoproterenol and by tannins. *Journal of Biological Chemistry*, 260:4418-4423.

Mehansho, H., Ann, D. K., Butler, I. G., Rogler, J. y Carlson, D. M. 1987a. Induction of proline rich proteins in hamster salivary glands by isoproterenol treatment and an unusual growth inhibition by tannins. *Journal of Biological Chemistry*, 262:12344-12350.

Mehansho, H., Butler, I. G. y Carlson, D. M. 1987b. Dietary tannins and salivary proline-rich proteins: Interactions, induction and defense mechanisms. *Annual Review of Nutrition*, 7:423-440.

Meléndez, B. 1991. Niveles de aflatoxinas en sorgo (*Sorghum bicolor* (L) Moench) y su relación con el contenido de taninos. Trabajo de Grado (*Magister Scientiarum*), Universidad Central de Venezuela. 44p.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) 1991. Manuales para el control de calidad de los alimentos. 10. Capacitación en análisis de micotoxinas. Roma, Italia. 144 p.

Rooney, L. W. y Miller, F. R. 1981. Variations in the structure and kernel characteristics of sorghum. *in*: Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality, India. Icrisat, Patancheru A. P. pp. 143-160.

Rooney, L. W. y Sullins, R. D. 1977. The structure of sorghum and its relation to processing and nutritional value. *in*: Proceedings of a Symposium on Sorghum and Millets for Human Food. Trop. Prod. London. pp. 91-109.

Rumbos, A. S. 1986. Algunas características físicas del sorgo que afectan su calidad y rendimiento. Trabajo de Grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía, Maracay. 115 p.

Salunkhe, D. K., Jadhar, S. J., Kadan, S. S. y Chavan, J. K. 1982. Chemical, biochemical and biological significance of polyphenols in cereals and legumes. *Journal of Food Sciences and Nutrition*, 17:277-305.

Schroeder, H. W. y Boller, R. A. 1973. Aflatoxin production of species of the Aspergillus flavus group isolated from field crops. *Applied Microbiology*, 25:885-889.

Sell, D. R. y Rogler, J. C. 1983. Effects of sorghum grain tannins and dietary protein on the activity of liver UDP-glucuronyltransferasa. *Proceedings of The Society for Experimental Biology and Medicine*, 174:93-101.

Sell, D. R., Reed, W. M., Chrisman, C. l. y Rogler, J. C. 1985. Mucin excretion and morphology of the intestinal tract as influenced by sorghum tannins. *Nutrition Report International*, 31:1369-1374.

Shotwell, O., Hesseltine, C., Burmeister, H., Kwolek, W., Shannon, G. y Hall, H. 1969. Survey of cereal grain and soybeans for the presence of aflatoxin: I. Wheat, Sorghum grain, and Oats. *Cereal Chemistry*, 46:446.454.

Sullivan, T. W. 1987. Evaluation of sorghum varieties in poultry rations. *Feed Facts*, April. Vol. 4 (2).

Sykes, M. A. 1970. Grain Sorghum in Poultry Nutrition. *U. S. Feed Grain Council*. London. 33 p.

Tamir, M. y Alumot, E. 1969. Inhibition of digestive enzymes by condensed tannins from green and ripe carobs. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 20:199-202.

Vaselá, D., Vesely, D. y Jelínek, R. 1983. Toxic effects of ochratoxin A and citrinin, alone or in combination, on chicken embryos. *Applied and Environmental Microbiology*, 45:91-93.

Wyatt, R. D., 1991. Poultry. Pages 553-605 *in:* Mycotoxins and Animal Foods. J. E. Smith and R. S. Henderson (Eds.), CRC Press, Inc. Boca Raton Florida.

Wyatt, 1997. Basic Mycotoxicology. PS 433/633. College of Agricultural and Enviromental Sciences, Department of Poultry Science. The University of Georgia, Athens, GA. 30602. USA.