

LA PRODUCCIÓN DE POLLOS BROILERS Y EL MEDIO AMBIENTE: EL PUNTO DE VISTA DEL SECTOR AVÍCOLA EN EEUU

Roselina Angel, Ph.D. Associate Professor
Department of Animal and Avian Sciences
University of Maryland, College Park
rangel@umd.edu

1.- INTRODUCCIÓN

En los años recientes, la relación entre producción animal y medio ambiente ha sido un aspecto de interés para los agentes reguladores y por tanto para el sector productivo. Este creciente énfasis sobre la regulación ha dado lugar a cambios en los sistemas de alimentación y en el manejo de los animales, que continuarán produciéndose incluso de manera creciente en el futuro. Aunque las tecnologías que se han ido desarrollando han proporcionado herramientas a los productores para alcanzar, al menos en parte, los nuevos estándares sin incrementar excesivamente los costes de producción, nuevas regulaciones inminentes relacionadas con las emisiones de gases pueden, con toda probabilidad, desafiar de nuevo la habilidad de los productores para mantener su productividad y viabilidad económica. Este trabajo se ha enfocado hacia estas nuevas regulaciones y al examen de las herramientas disponibles o que se están desarrollando para poder satisfacerlas.

La industria aviar ha dado grandes pasos en los últimos 50 años para satisfacer las demandas de la industria alimentaria de incrementar el suministro de huevos y carne seguros y a precios accesibles. La presión para reducir los costes y aumentar los suministros ha dado lugar a unidades de producción más eficientes, de mayor tamaño y con un mayor grado de integración productiva, junto a importantes mejoras en el potencial genético de los pollos y en el manejo de los animales y de la alimentación. Esta situación ha generado en algunas áreas problemas ambientales y las consiguientes regulaciones legislativas.

Es importante tener en cuenta que las mejoras en genética, manejo y formulación de piensos de los últimos 50 años han permitido incrementos en la productividad acompañados de grandes descensos en las cantidades de nutrientes requeridos y excretados por kg de broiler producido. Trabajos citados por Havenstein et al. (1994 y 2004) muestran que no sólo los broilers son más pesados a edades más tempranas (591 vs. 2.903 g a 42 días de edad para machos alimentados, respectivamente, con dietas representativas en esos años) sino también que son más eficaces en utilizar los nutrientes de las dietas suministradas, lo que conduce a una menor cantidad de nutrientes excretada por kg de broiler producido a peso de mercado. Los cálculos de cantidades excretadas, basados en esas publicaciones, muestran que las mejoras son debidas principalmente a mejoras del potencial genético y, en menor medida, a cambios en la formulación de las dietas. La excreción de nitrógeno (N) y fósforo (P) en líneas genéticas de broilers de 1957, 1991 y 2001, que recibieron las dietas representativas a cada año, fueron aproximadamente de 40, 14, y 10 g de N, y de 10, 4, y 2,4 g de P excretados por kg de broiler producido, respectivamente. En tanto por ciento, los descensos en la excreción de N y P entre las líneas genéticas de 1957 y 1991 han sido del 65 y 60% para el N y P, respectivamente. Entre 1991 y 2001 el descenso en la excreción de N y P por kg de broiler producido fue del 34 y 40%, respectivamente, lo que demuestra que las mejoras en genética y alimentación parecen haberse acelerado en los últimos 15 años. Estas mejoras en la productividad de los broilers han sido, en gran parte, debidas a la capacidad de la industria avícola para simultáneamente incrementar la productividad, mantener los costes de producción bajos, y reducir el impacto ambiental asociado con granjas con un mayor número de animales. Sin embargo, a pesar de estas enormes mejoras, los problemas medioambientales asociados con la concentración de la producción continúa siendo una prioridad en nuestros días.

2.- ASPECTOS LEGISLATIVOS

2.1.- Calidad del agua

La protección de la calidad del agua en EEUU se realiza a través de la *Clean Water Act*. En 2002 el Acta fue revisada, principalmente como consecuencia de su escasa aplicación y cumplimiento, y por avances en la incorporación de los impactos de las grandes unidades de suministro de piensos (AFOs). Quizá el impacto más significativo de la revisión fue un cambio a nivel nacional hacia la aplicación del estiércol al terreno sobre la base del nivel de abonado en P de tierras con un elevado riesgo de contaminación del agua con P. El Índice P es una herramienta que establece el riesgo en base a las características de la zona, las propiedades de las fuentes de P y las prácticas de manejo del P y que determina la pérdida relativa potencial de P del suelo. Este Índice fue desarrollado en respuesta a estas preocupaciones y actualmente es ampliamente utilizado en los EEUU

para medir el riesgo de la polución por P de las aguas subterráneas y superficiales. Su uso ha tenido más impacto en las regiones del Este que en otras regiones. Además, ha llevado a dirigir más atención hacia los flujos de P del conjunto de las granjas con el objetivo de minimizar la disparidad entre los acres necesarios para utilizar el estiércol en base al abonado en N y los necesarios para usar el abono en base a su contenido en P.

Para la mayor parte de los EEUU, la revisión de 2002 de la *Clean Water Act* ha supuesto pocos cambios en las prácticas habituales. Los cebaderos solicitan la obtención de permisos NPDES (National Pollutant Discharge Elimination System). El Índice P está siendo utilizado para establecer el riesgo potencial para la calidad del agua, pero debido a la pendiente del terreno y/o a la distancia a las corrientes de agua, muchas áreas, incluso aquéllas con un alto nivel de P en el suelo, pueden seguir aplicando estiércol en base a su contenido en N. Aunque la regulación de calidad del agua de 1970 y sus revisiones recientes tienen poca influencia sobre los sistemas de producción animal en los EEUU, la llegada de regulaciones de calidad del aire para las AFOs, muy poco adaptadas a este respecto, puede cambiar drásticamente la producción ganadera y avícola en los EEUU.

2.2.- Calidad del aire

Durante la última década ha habido un interés creciente sobre cómo las AFOs afectan a la calidad del aire principalmente en relación con problemas de olores desagradables. Recientemente, la Environmental Protection Agency (EPA) ha iniciado acciones con respecto a calidad del aire y AFOs. Aunque la información científica es limitada, el continuo aumento en el número de personas afectadas por asma, con independencia de su relación con la producción animal, y la percepción de que algo que huele mal 'no puede ser bueno para ti' activará probablemente este tema en el futuro. Los productores deben tener en cuenta que además de los aspectos de seguridad de los trabajadores, supervisados por la OSHA, la preocupación sobre la salud de otras personas no tardará en llamar la atención de las agencias reguladoras y de grupos de opinión.

En las enmiendas a la *Clean Air Act* de 1990, la EPA estableció unos estándares Nacionales de Calidad del Aire (NAAQS) para contaminantes que son aplicables a todas las industrias. Los estándares primarios fueron establecidos para proteger la salud pública, mientras que los secundarios se establecieron para proteger el bienestar público (por ej. disminuir el impacto visual y el daño a cultivos, animales y edificios). Las partículas de materia sólida (PM) se introdujeron en los estándares, definiéndose PM₁₀ como las partículas con un diámetro aerodinámico de 10 micras o menos. Estas partículas, consideradas gruesas, proceden fundamentalmente de procesos de combustión y se incluyen principalmente en los estándares secundarios por tener impacto visual. En 1997, la *Clean Air Act* fue enmendada y se propuso un nuevo criterio (PM_{2.5}) para considerar el impacto de las partículas finas sobre los problemas respiratorios (asma y bronquitis). La

exposición acumulativa a polvo respirable es una de las causas más importantes de un empeoramiento progresivo de la función pulmonar.

Se ha prestado mucha atención a las emisiones de amoníaco (NH_3) de las AFOs. Además de resultar irritante para el sistema respiratorio, las emisiones de NH_3 están relacionadas con las partículas sólidas. En la atmósfera, el NH_3 reacciona con SO_x o NO_x , y forma sulfato amónico o nitrato amónico, los cuales son partículas finas $\text{PM}_{2.5}$ y contribuyen al 50% de las emisiones totales medidas en los EEUU. La EPA estima que más de un 70% de las emisiones nacionales de NH_3 proceden de actividades ganaderas. Se están dando pasos para controlar estas emisiones. En 1997, en respuesta a la falta de éxito para alcanzar los estándares de PM_{10} y de ozono, el Distrito de la costa sur de California estableció para el 2006 objetivos de disminución de un 30% para compuestos de carbono orgánico volátil (VOC) a partir de residuos ganaderos y de un 50% para el NH_3 en granjas lecheras. El Distrito reconoció que para alcanzar esos objetivos resultaba necesario relocalizar una parte de la industria lechera en otras regiones.

El sulfuro de hidrógeno es irritante y asfixiante, pudiendo resultar fatal a altas concentraciones y ha sido asociado con muertes (animales y humanas) en el interior de granjas, en su mayoría debidas a la agitación del estiércol en un ambiente pobremente ventilado. Tanto en Minnesota como en Iowa existen estándares estatales para sulfuro de hidrógeno en granjas basados en condiciones de exposición que afecten a la salud humana. Es posible que otros Estados desarrollen estándares similares.

Tanto el NH_3 como el sulfuro de hidrógeno son considerados en las regulaciones federales como parte de la *Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act* (CERCLA) y la *Emergency Planning and Community Right-to-Know Act* (EPCRA) como compuestos reportables si las emisiones desde una determinada fuente exceden 45,45 kg/d tanto para NH_3 como para sulfuro de hidrógeno. Las emisiones de NH_3 han recibido más atención porque exceden de largo a las de sulfuro de hidrógeno (en 40-50 veces) en el caso de las AFOs. Violaciones recientes de la CERCLA y EPCRA por parte de las AFOs condujeron a la EPA a establecer un acuerdo de consenso que permitió a la industria de la producción animal financiar y dirigir un control experimental de las emisiones basales de ambos gases por parte de las AFOs.

Más recientemente, los compuestos orgánicos volátiles (VOCs) han sido declarados como problemáticos en algunas zonas, concretamente en California, por contribuir a los malos olores y ser precursores de ozono, y por haberse establecido límites de exposición recomendados. La Agency for Toxic Substances Disease Registry (ATSDR), una Agencia federal no legislativa, ha recomendado, en base a ensayos dosis-respuesta, unos límites de exposición que son función de la concentración y la permanencia en el ambiente de muchos VOCs, así como de sulfuro de hidrógeno y amoníaco. El San Joaquin Valley Air

Pollution Control District de California ha establecido recientemente un valor de producción de VOC para la industria lechera que será utilizado para establecer el grado de conformidad con el estándar VOC regional.

La química de los olores es compleja y todavía poco comprendida. Cientos de componentes en diferentes proporciones interaccionan para formar el olor percibido. La percepción del olor es muy subjetiva dependiendo del individuo, lo que dificulta el establecimiento de estándares de molestias. Sin embargo, el olor siempre se ha considerado algo molesto y hay un interés considerable en medir su efecto sobre la salud humana. Algunos Estados han contemplado este aspecto a través de consejos locales de salud. Otros han implantado una suerte de 'olor estándar', entre ellos North Dakota y Colorado. Missouri exige planes de control de olores y ha propuesto, pero aún no ha aprobado, un 'olor estándar': como consecuencia de la naturaleza compleja del olor, los trabajos más recientes se han enfocado hacia características más tangibles y medibles del olor y de algunos gases específicos.

3.- ASPECTOS EMERGENTES

Datos todavía limitados y por confirmar sugieren que las granjas producen emisiones de antibióticos. Uno de estos trabajos indica que las granjas de porcino emiten, en forma activa, un 30% de la tilosina suministrada. Aunque los datos deben confirmarse, y a pesar de amplios esfuerzos para reducir el uso sub-terapéutico de los antibióticos en la industria ganadera, las implicaciones para la salud humana pueden conducir en el futuro a nuevas regulaciones sobre este tema.

La actividad humana contribuye a un 6% de las emisiones de gases de tipo invernadero, mientras que la actividad ganadera supone un 17% del total de emisiones tanto naturales como de las originadas por la actividad humana. Además de las emisiones directas (principalmente de rumiantes), el metano se produce por la descomposición anaerobia del estiércol durante su almacenamiento. La actividad ganadera también genera otros gases de efecto invernadero, como por ejemplo el óxido nitroso procedente de la descomposición de la materia orgánica. Aunque los EEUU no han firmado el tratado de Kyoto, existe un considerable interés en reducir las emisiones de gases invernadero. Recientemente se ha renovado la discusión en los medios de información sobre la abstención de los EEUU de firmar este tratado, pero en este momento no está claro el impacto que ello pueda tener en la producción animal en el futuro.

Los efectos de los compuestos que alteran la función endocrina (EDCs) sobre las poblaciones de peces y aves han sido ampliamente estudiados. La regulación del uso de pesticidas que tuvo lugar en los años 1970s y 1980s se dirigió a reducir la prevalencia de

estos compuestos en el ambiente. Ahora existe un interés renovado en este tema y es probable que la contribución de los EDCs al ambiente por parte de la ganadería sea controlada por la EPA para establecer los límites de excreción a aplicar en el futuro. Para obtener estos estándares será necesaria la evaluación de programas de cría y de sincronización de estros, particularmente en las granjas de ganado lechero. Además, los alimentos pueden también contener EDCs, lo que afecta a cualquier granja de animales, incluyendo las de aves.

Quizá uno de los mayores desafíos que actualmente enfrentan a legisladores, científicos, líderes de la industria y productores sea establecer el enfoque que permita comprender mejor los impactos, interacciones y costes reales de las herramientas que se están desarrollando. En este contexto viabilidad implica sostenibilidad.

Cuando desarrollamos o implementamos nuevas tecnologías tendemos a buscar respuestas o soluciones a cuestiones específicas sin considerar frecuentemente aspectos colaterales, a menos que estos aspectos formen parte de nuestra ecuación coste/beneficio. Por ejemplo, cuando intentamos reducir las emisiones de gases de una unidad de producción de pollos tendemos a diseñar estrategias dependiendo de nuestra área de especialización a través de cambios en la nutrición, el manejo de los animales y del estiércol, cambios en el diseño de los alojamientos y en el control de su ambiente, etc., sin que en general se examine si estas medidas se solapan o interaccionan. Puede ocurrir que una ligera disminución en la densidad de animales mejore, o no altere, la productividad de una granja de pollos, permitiendo en cambio reducir la humedad del estiércol y su contenido en nutrientes y, por tanto, las emisiones de gases. La disminución de la densidad de animales reduciría también los costes de inputs (animales, pienso). Los datos que nos permiten tomar decisiones adecuadas incluyen conocer las correlaciones entre densidad animal, productividad, emisiones/excreción de nutrientes y costes. Sin embargo, esta información frecuentemente no existe.

4.- CAMBIOS DE LA DIETA

4.1.- Fósforo

Los piensos de broilers están compuestos principalmente de ingredientes de origen vegetal que contienen la mayor parte (50-80%) en forma de ácido fítico, un compuesto poco digestible para los animales monogástricos. En la mayoría de los casos, los piensos de broilers incluyen fuentes inorgánicas de P (principalmente fosfatos de Ca) para cubrir las necesidades de P del animal. El resultado es que los piensos tienen un contenido en P muy superior al que requiere el animal. Sin embargo, el P del ácido fítico es potencialmente disponible para animales monogástricos, lo que permitiría reducir

considerablemente las necesidades de suplementación con P inorgánico y el contenido en P total de los piensos.

4.2.- Fósforo fítico

El ácido fítico (inositolhexafosfórico, $[C_6H_6(OPO(OH)_2)_6]$), un fosfato orgánico, es un alcohol fosforilado cíclico que en semillas maduras contiene seis grupos fosfato. La forma aniónica del ácido fítico (fitatos) está presente en todas las plantas, especialmente en las semillas. Las raíces contienen pequeñas cantidades y las partes vegetativas, como las hojas, sólo cantidades traza. La localización de los fitatos en las semillas depende del tipo de planta. Así por ejemplo, un 90% de los fitatos del maíz se encuentra en el germen, mientras que en el trigo y el arroz la mayor parte se encuentran en las capas de aleurona y en el salvado. En la mayoría de las semillas oleaginosas y en los granos de leguminosas, gran parte de los fitatos están asociados con proteína y se concentran en estructuras subcelulares denominadas globoides que se distribuyen a lo largo del endospermo. Sin embargo, en las habas de soja no parece haber una localización específica para los fitatos. Su concentración en determinadas zonas de la semilla permite, al menos en el caso del grano de maíz, eliminar la mayor parte de los fitatos cuando el grano se separa del germen. En semillas maduras, los fitatos están presentes en forma de sal compleja de calcio, magnesio y potasio y en algunos casos se encuentran unidos a proteínas y carbohidratos.

El contenido en P fítico de los granos es variable. Los factores que influyen en esta variabilidad son todavía desconocidos. Pero se sabe que el suelo y factores ambientales afecta a este contenido. El contenido en P del suelo y la productividad en relación con este contenido influirán en la cantidad de P fítico y total en el grano maduro. Por tanto, puesto que el maíz se cosecha en regímenes diferentes, es importante incluir un margen de seguridad en los sistemas de formulación de la mayoría de fábricas de pienso para broilers.

Los fitatos son altamente reactivos y forman fácilmente complejos con calcio, hierro, magnesio, zinc, carbohidratos y proteínas. Estos complejos son sustancialmente menos solubles en el tracto digestivo que el ácido fítico aislado. Es menos probable que la enzima fitasa actúe en un complejo precipitado. Por esta razón, los fitatos a menudo son considerados un factor antinutritivo por su habilidad para unirse a otros nutrientes haciéndolos parcial o completamente indigestibles.

4.3.- Fitasas

La acción hidroeléctrica de la enzima fitasa sobre el P fítico se conoce desde hace tiempo. Sin embargo las fitasas fúngicas y bacterianas sólo se comercializan a gran escala desde los años noventa. Una unidad de fitasa se define como la cantidad de enzima necesaria para liberar un μmol de ortofosfato a partir de ácido fítico por minuto a un pH de

5,5 y a 37 °C. Puesto que las características de las enzimas difieren entre las distintas fitasas, una unidad de actividad en las condiciones arriba indicadas no se traduce necesariamente en la misma cantidad de P liberado dentro del animal. Este último punto es clave, porque afecta a la eficacia de las fitasas comerciales. Lo que debería realmente considerarse es la cantidad de P liberada en el sistema digestivo del broiler al nivel de inclusión recomendado por el fabricante, para el caso de los ingredientes y de la concentración de nutrientes utilizados. Todo ello se traducirá finalmente en el coste de fitasa necesaria por unidad de P disponible para el animal.

La comprensión de algunas de las interacciones químicas que la molécula de fitato es capaz de establecer con otros constituyentes de la dieta puede ayudar a explicar las diferencias de eficacia de las fitasas entre diferentes tipos de aves, de manadas, y de estado fisiológico de los animales. También es importante conocer por qué cuando una enzima, capaz de hidrolizar P a partir de ácido fítico, tiene una eficacia limitada cuando actúa en la mucosa intestinal de los broilers.

A los niveles de pH que se encuentran en el aparato digestivo de los pollos (de 2,5 a 7) el fitato tiene una fuerte carga negativa y es capaz de unirse a cationes tales como calcio, zinc, cobre, hierro, manganeso, cobalto y magnesio, entre otros, formando complejos muy estables. La disponibilidad de cualquier nutriente dentro de estos complejos se reduce considerablemente. Esto significa que no sólo el P es poco disponible para los pollos sino también el resto de estos cationes. A los niveles más altos de pH que se encuentran en el intestino delgado, donde la fitasa endógena se encuentra localizada y donde ocurre la mayor parte de la digestión y la absorción, estos complejos tienden a precipitar; la eficacia de cualquier enzima sobre complejos precipitados es, en el mejor de los casos, baja. Esto significa que el rango de actividad de pH de la fitasa, en relación con la fisiología del broiler, debería ser un factor importante a considerar en la elección de una fitasa comercial.

4.4.- Reducción del contenido en P del estiércol a través de modificaciones de la dieta

Los piensos de pollos broilers pueden ser modificados de diferentes formas para reducir sustancialmente la concentración de P en las deyecciones. Los broilers pueden ser alimentados de acuerdo con sus necesidades ajustando los aportes y reduciendo los correspondientes a fuentes inorgánicas de P mediante el uso de enzimas.

En condiciones experimentales, reducciones del contenido en P del pienso de un 21% se han traducido en una disminución de la excreción de P de un 39%. Encuestas realizadas en granjas situadas en Delmarva antes y dos años después del uso de fitasas muestran que, en condiciones comerciales, el P de las excretas se redujo un 30% cuando el P del pienso disminuyó en un 10%. Una formulación más precisa de los aportes de P unida

al uso de fitasas permite potencialmente reducir, con respecto a los niveles de 2002, un 40% el P del pienso y un 70% el de las excretas. La estrategia más prometedora de manejo de la alimentación es el uso de concentraciones moderadamente altas de P disponible en el pienso pre-starter y starter, combinado con la no-adición de P inorgánico en piensos de acabado y retirada. Datos experimentales muestran que son posibles reducciones adicionales en el contenido en P de las excretas en condiciones de campo, pero es importante tener en cuenta que una disminución excesiva del aporte de P tiene efectos potencialmente deletéreos sobre la productividad animal.

Recientemente se han planteado algunas preguntas acerca del uso de las fitasas en piensos de broilers. Algunos datos experimentales y de campo sugieren que el uso de fitasas aumenta la concentración de P soluble en agua de las excretas, lo que a su vez incrementa el potencial para una mayor lixiviación del P cuando se aplica al terreno. Una revisión de los aportes de P realizados en estos estudios deja claro que las reducciones hechas en la cantidad de P suministrado cuando se añadió la fitasa no fueron suficientemente grandes, lo que resultó en concentraciones de P disponible en la dieta superiores a las necesidades de los broilers. El P disponible ingerido en exceso de las necesidades se excretó en forma soluble, lo que dio lugar al incremento observado en la excreción de P soluble. Una serie de estudios ha demostrado que cuando los piensos son modificados correctamente para incluir el efecto de la fitasa, tanto la cantidad total de P como la soluble de las excretas se reducen (Angel et al., 2005). De todo esto se deduce la posibilidad de un mal uso del P cuando las reducciones de su concentración total en la dieta no son suficientemente grandes. En condiciones comerciales, en las que deben incluirse márgenes de seguridad al formular los piensos, el exceso inevitable de P disponible debe minimizarse en lo posible.

Otra herramienta prometedora es el desarrollo de granos de bajo contenido en fitatos. Estos granos tienden a contener la misma cantidad de P total que los no-modificados, pero sólo un tercio de su nivel de P fítico. Desafortunadamente, los granos modificados tienen por el momento rendimientos más bajos, en muchos casos relacionados con una pobre tasa de germinación.

La fuente más utilizada de P inorgánico en los EEUU es el fosfato defluorinado (DFP). Sin embargo, de las tres fuentes disponibles comercialmente es la de menor disponibilidad del P: un 70-80% con respecto a los fosfatos monocalcico y dicálcico. En términos absolutos la disponibilidad del P en el DFP es de sólo un 40-45%. Esta fuente de P es la preferida por la industria porque facilita el tránsito del pienso por la granuladora (probablemente porque las matrices de la granuladora se abrasionan y limpian por el uso del DFP) y reduce por tanto los costes energéticos de la granulación. Además, aunque menos importante, su mayor contenido en P reduce el espacio físico ocupado por las fuentes de P en el pienso. Todavía está por determinarse qué nivel de DFP es necesario

para observar estos efectos positivos en la fabricación del pienso, pero parece que un 0,25% podría ser suficiente. Esto significa que incluso aunque los resultados de investigación indiquen que los piensos de crecimiento, acabado y retirada de broilers no requieren del aporte de P inorgánico cuando se añade fitasa, podría interesar el uso de DFP por sus propiedades físicas, lo que resulta en un incremento de las concentraciones de P en el pienso y en las excretas. En último término, las cuestiones económicas decidirán cómo las herramientas desarrolladas experimentalmente se implementan en la práctica. En el futuro, la regulación legislativa puede alterar los costes de la inclusión del P. Recientemente, el coste del DFP se ha incrementado relativamente más que el de los fosfatos monocálcico y dicálcico, debido a que los costes energéticos para su fabricación están más relacionados con el incremento del coste del petróleo. Es importante que los nutricionistas y reguladores consideren los otros costes/beneficios asociados con cambios en la formulación, y no sólo los puramente relacionados con las necesidades nutritivas del animal.

5.- PROTEÍNA Y AMINOÁCIDOS

Históricamente, la proteína bruta ($N \times 6,25$) se ha usado como una medida del contenido en aminoácidos de los ingredientes o del pienso. Sin embargo la PB no proporciona una buena estimación de la calidad de la proteína, puesto que ésta está relacionada con su contenido en algunos aminoácidos específicos, la relación entre aminoácidos y su disponibilidad para el animal. La excreción de N es principalmente función de la utilización de aminoácidos del alimento y de la hidrólisis subsiguiente de los aminoácidos en exceso.

La tendencia actual para disminuir la excreción de N (en las excretas y en las emisiones al aire) es forzar a la industria a buscar nuevas vías para minimizar el suministro de un exceso de proteína bruta en los piensos, manteniendo niveles adecuados de aminoácidos esenciales y, por tanto, rendimientos óptimos. Para conseguirlo, los nutricionistas deben medir experimentalmente las necesidades en cada fase del crecimiento de estirpes de broilers mejorados genéticamente de forma continua. La investigación debe también dirigirse hacia la utilización de ingredientes con alto contenido en aminoácidos digestibles, haciendo uso de los aminoácidos disponibles comercialmente para equilibrar los piensos con mayor precisión, y hacia un cambio frecuente de piensos (alimentación por fases) que permita cubrir de forma más estrecha las necesidades de las aves a cada edad. Los aminoácidos cristalinos disponibles comercialmente son una forma práctica y efectiva de reducir el exceso de proteína en los piensos. A título de ejemplo, un típico productor que use una fórmula en base a maíz, soja y harina de carne puede elegir para satisfacer las necesidades en aminoácidos entre las siguientes opciones:

- a. Sin añadir ningún aminoácido la proteína del pienso sería del 26%.
- b. Con metionina añadida sería de alrededor del 20%.
- c. Añadiendo lisina, además de metionina, sería de un 19%.
- d. Utilizando además treonina la proteína del pienso se reduciría a un 17.5%.

Utilizando esta aproximación, la proteína del pienso podría reducirse un 33% en términos relativos y 8,5 unidades porcentuales en términos absolutos. Esta reducción del exceso de proteína, que no es utilizada por el animal y por lo tanto excretada, corresponde a una disminución de la excreción de N de un 20-30%. Estos valores son consistentes con el trabajo realizado por Ferguson et al. (1998a, b), en el que los pollos fueron alimentados con piensos con un bajo contenido en proteína, pero suficiente en aminoácidos. Desafortunadamente, se han publicado resultados contradictorios en los que los piensos experimentales no estaban bien equilibrados en aminoácidos, produciendo deficiencias y pérdida de rendimientos productivos. Esto causa confusión en la industria, al asociar niveles bajos de proteína con resultados pobres de productividad.

La industria de piensos viene utilizando DL-metionina y L-lisina en piensos de pollos desde hace más de dos décadas, mientras que el uso de la L-treonina es más reciente y su adopción no es todavía del 100%. Reducciones adicionales del contenido en proteína, hasta un 16% en piensos de crecimiento, son técnicamente posibles si los siguientes aminoácidos limitantes pueden suplementarse de forma económica. Si se considera un pienso típico de broilers basado en maíz, soja y proteína de origen animal, los siguientes aminoácidos limitantes después de metionina, lisina y treonina serían probablemente valina, isoleucina, arginina y triptófano. Si no se usan harinas de carne, la glicina se convierte también en limitante. Aunque algunos de estos aminoácidos se producen comercialmente en la actualidad, su coste impide incluirlos en los piensos de broilers. Un problema importante para estos aminoácidos es que hipotéticamente son co-limitantes, es decir que habría que añadirlos simultáneamente al pienso.

6.- CALIDAD DEL AIRE Y PARTÍCULAS

Diferentes trabajos experimentales indican que las estrategias alimenticias pueden tener un efecto importante sobre las emisiones de gases, particularmente sobre las de amoníaco. Sin embargo, este área de investigación es todavía reciente. Los trabajos realizados hasta ahora se han dirigido fundamentalmente a reducir los excedentes de nutrientes en la dieta. De esta forma, las necesidades de los animales están cubiertas y al mismo tiempo hay una reducción en la cantidad de nutrientes excretada.

La mayor parte de la información obtenida corresponde a disminuir el contenido en proteína con suplementación paralela de los aminoácidos limitantes, de forma que se

reduce el aporte de ingredientes proteicos (soja, harina de carne) que aportan un exceso de aminoácidos no-limitantes. Como resultado, se estima que por cada unidad porcentual en que se reduce el aporte de proteína, las pérdidas estimadas de NH_3 se reducen un 10% en el caso de aves. Tal como se mencionó anteriormente, los piensos actuales de broilers están siendo formulados con L-lisina, DL-metionina y L-treonina. En este caso, debe tenerse en cuenta que cuando los animales están siendo alimentados según sus necesidades, la magnitud del impacto de un cambio en el nivel de proteína de la dieta sobre las emisiones de gases disminuye.

Otras modificaciones de la alimentación propuestas para reducir las emisiones de gases incluyen el uso de ácidos y de otros aditivos. Acidificando el pienso se consigue acidificar las excretas y promover la retención del N, reduciendo su volatilización en forma de amoníaco. Trabajos recientes con ponedoras demuestran que la acidificación del pienso permite reducir un 40% la emisión de amoníaco sin efectos negativos sobre los rendimientos. De forma similar, se han observado reducciones de un 26-53% en porcino alimentado con modificadores del pH, tales como sales de Ca, benzoato cálcico, o una combinación de ácido fosfórico y sulfato cálcico. Estos resultados sugieren que estrategias similares pueden ser efectivas en broilers.

Varios aditivos alimenticios se han propuesto para reducir las emisiones potenciales de NH_3 por unirse a éste o por inhibir la actividad ureásica. Entre ellos se encuentran el extracto de la planta *Yucca schidigera*, pero los resultados no son siempre satisfactorios. Igualmente ocurre con la inclusión en el pienso de clinoptilotita y otras arcillas. Sin embargo, hay un interés creciente por el uso directo de estas arcillas en el estiércol. Otros aditivos actualmente en estudio incluyen productos bacterianos y probióticos, que pueden mejorar la salud intestinal y mejorar la utilización de los nutrientes.

Tal como se mencionó anteriormente, los datos que apoyan una reducción de emisiones de gases a través de cambios en la alimentación son todavía escasos, con la excepción del uso de piensos bajos en proteína. Sin embargo, ésta es un área activa de trabajo en la actualidad, por lo que en dos o tres años se dispondrá de información adicional con respecto a otros gases tales como el sulfuro de hidrógeno, el metano y los compuestos orgánicos volátiles. En futuros planes de investigación deberá considerarse la duración del impacto. Ciertas estrategias nutricionales (acidificación, inhibición de ureasa, alteración del lugar de excreción del N) pueden tener también efectos beneficiosos a largo plazo sobre las emisiones de gases, modificando la forma en que los nutrientes se encuentran en el estiércol. Las estrategias que reducen el input de la masa de nutrientes pueden reducir la productividad, pero las que sólo cambian la forma química de los componentes de las excretas pueden en principio disminuir las emisiones sin empeorar los

rendimientos, atrapando los nutrientes en compuestos que no se volatilizan. Sin embargo, los efectos a largo plazo de estas estrategias todavía son desconocidos.

Una consideración adicional es que aunque las estrategias alimenticias tienen un elevado potencial, la magnitud de su adopción y su implementación seguirá una ley de rendimientos decrecientes. Así por ejemplo, la magnitud de la reducción de la excreción de P con el uso de fitasas depende del contenido en P del pienso, por lo que el ajuste de este contenido a las necesidades del animal disminuirá el efecto positivo de la utilización de enzimas.

Mientras esperamos los resultados de los estudios actualmente en curso sobre modificación de las dietas, no debemos olvidar que las estrategias alimenticias por sí solas probablemente no basten para satisfacer los desafíos pendientes que la producción animal tiene que enfrentar. Una combinación de nutrición e ingeniería será probablemente necesaria. Estrategias para mitigar la post-excreción son necesarias en combinación con estrategias pre-excreción en orden a controlar las emisiones que ocurren durante el almacenamiento, particularmente cuando se emplean métodos de manipulación alimenticia que cambian la forma química del nutriente pero no su concentración en las excretas.

7.- MICRO-MINERALES Y METALES PESADOS

Varios microminerales se incluyen en los piensos de aves para satisfacer las necesidades nutritivas: hierro, manganeso, magnesio, yodo y selenio. Las concentraciones típicas que aparecen en las excretas son, por tanto, pequeñas y plantean escasos problemas en relación con el ambiente. Otros minerales tales como el hierro y el zinc se incluyen por sus efectos bacteriostáticos, bactericidas y antifúngicos a concentraciones no superiores a las que necesitan las aves. Un metal pesado que a menudo se incluye en piensos de aves es el arsénico, que forma parte de moléculas orgánicas como la roxarsona o el ácido arsanílico. Estas formas orgánicas del arsénico se usan como antimicrobianos (promotores del crecimiento), y como coccidiostáticos. Las concentraciones medias de arsénico, cobre y zinc en excretas de aves medidas por Gupta y Charles (1999) fueron 37, 390 y 377 ppm, respectivamente. El riesgo ambiental de estos metales pesados depende principalmente del potencial de los suelos para absorberlos y de las pérdidas potenciales por lixiviación o erosión.

7.1.- Arsénico

El consumo medio de roxarsona por pollos broilers, cuando se utiliza a las dosis máximas reguladas por el USDA (45 g/Tm de pienso), asumiendo pollos de 2,55 kg, una conversión de 1,7 a 42 días de edad, y 5 días de periodo de retirada, sería de 170 mg/ave

que equivalen a 48 mg de arsénico por ave. Para prevenir el desarrollo de resistencias, los coccidiostatos se rotan a lo largo del año, lo que limita por tanto el uso y la eventual excreción de arsénico. La roxarsona es predominantemente excretada tal cual. Sin embargo cuando alcanza el suelo se convierte rápidamente en arsenato (As^{5+}) por los microorganismos del suelo. Dependiendo del nivel de humedad del suelo, cuando el As^{5+} se encuentra en un medio pobre en oxígeno, los microorganismos pueden fácilmente convertirlo a arsenito (As^{3+}) o mutarlo a dimetilarsenato.

El arsénico de las excretas de aves es fácilmente movilizado y rápidamente absorbido por la mayoría de los suelos, por lo que las pérdidas por lixiviación parecen ser lo suficientemente bajas para prevenir la contaminación del agua subterránea. La solubilidad del arsénico después de su aplicación al terreno es de sólo un 20% después de la primera lluvia (Rutherford et al., 2003) y las formas solubles parecen ser absorbidas en forma de nanopartículas en lugar de ser retenidas en el acuífero (Schreiber, 2005). Cuando se almacena en los suelos, el arsénico está ampliamente asociado con materia orgánica o con óxidos metálicos e hidróxidos. La aplicación del estiércol de broilers que contiene arsénico a cultivos de maíz y de soja promueve la formación de As^{5+} en lugar de la forma soluble As^{3+} , mucho más móvil. Sin embargo, en condiciones de fuertes lluvias, las pérdidas de suelo o de estiércol de aves aplicado en el terreno pueden transportar arsénico a las aguas superficiales. Por otra parte, es importante tener en cuenta que el arsénico no es totalmente recuperado en suelos abonados con estiércol de aves por sufrir transformaciones de oxidación y reducción y por la posibilidad de volatilización en forma de metanoarseniatos.

7.2.- Cobre y zinc

Las concentraciones de Cu y Zn necesarias para el animal son moderadamente bajas (8 ppm para el Cu y 40 ppm para el Zn; NRC, 1994). Sin embargo, la mayor parte de los piensos de broilers en EEUU incluyen concentraciones profilácticas de Cu (125 a 250 ppm) porque a menudo mejoran la eficacia alimenticia a niveles similares a los que se alcanzan con el uso de anitibióticos como promotores de crecimiento. La forma de actuación de estos minerales se cree que está relacionada con sus efectos citotóxicos sobre la flora intestinal y con su influencia en la respuesta inmune. Sin embargo, los efectos positivos de la suplementación a estos niveles deben ser sopesados teniendo también en cuenta los posibles problemas medioambientales derivados de su uso, incluyendo una reducción de la eficacia de las fitasas y de la retención de P.

Los problemas ambientales ligados al uso de estiércol procedente de aves alimentadas con piensos ricos en Cu incluyen la salud del suelo, de las plantas y de los granos producidos. Estos efectos están regulados por varios factores. Varias propiedades de los suelos afectan a la fitotoxicidad por Cu. Así, el pH y el contenido en materia orgánica determinan la forma química en que se encuentra el Cu en el suelo (Alva et al.,

2000). Así por ejemplo, un incremento en la cantidad de Cu aplicada al suelo aumenta la parte soluble y las formas intercambiables y absorbibles de Cu en suelos con pH bajo. Sin embargo, en suelos con pH elevados, la fracción predominante del contenido en Cu total se encuentra en forma precipitada. La movilidad del Cu en los suelos es bastante baja y el Cu está fuertemente ligado a la materia orgánica, de forma que las plantas no lo extraen del terreno y tiende a acumularse en las capas de suelo más superficiales. En una variedad de suelos con pH en un intervalo entre 4,6 y 6,4, la mayor parte del Cu extraído por cultivos de maíz y trigo son las formas orgánicas e intercambiables (Sims, 1986). Las formas solubles del Cu que son intercambiables son las más fitotóxicas, pero puesto que las raíces de las plantas acumulan concentraciones de cobre significativamente mayores en suelos con pH altos que a pH bajos (Alva et al., 2000), el pH del suelo juega un papel fundamental en el nivel de fitotoxicidad por cobre.

En un estudio realizado por Anderson et al. (1991) se controlaron los efectos de una aplicación de estiércol de porcino rico en cobre a lo largo de un período de 11 años. Este estudio comparó tres tipos de suelos muy diferentes: uno arenoso, otro arcilloso y otro sedimentario. El nivel de aplicación (325 kg de Cu por hectárea) excedía las recomendaciones de USDA. El estiércol rico en cobre contenía como media 1.316 ppm de cobre y se producía a través de un pienso que contenía como media 251 ppm de cobre. La aplicación del estiércol rico en cobre a lo largo del período de 11 años no tuvo un efecto negativo sobre las concentraciones de cobre en las hojas ni en el grano de maíz ni sobre los rendimientos de la cosecha.

La concentración media de zinc en piensos comerciales de aves de 120 ppm resulta en concentraciones de zinc en el estiércol de 377 ppm. Estas concentraciones son mucho más bajas que las de cobre. Por esta razón, la fitotoxicidad por Cu es generalmente de mayor importancia cuando el estiércol de aves se aplica a largo plazo. Resultados obtenidos por Gupta y Charles (1999) en Delmarva después de un abonado continuado con estiércol de aves a lo largo de 15-20 años mostró que el contenido en zinc de los suelos donde se aplicaba el estiércol era muy similar al de terrenos de bosques situados en las proximidades de los ensayos. Sin embargo, la acumulación de zinc en el suelo es altamente dependiente del tipo de suelo. La acumulación de cobre y de zinc puede ser un problema en cultivos sensibles tales como el trébol rojo, para el que las concentraciones fitotóxicas pueden alcanzarse cuando el estiércol de aves se aplica al terreno durante 16 años (Van der Watt et al., 1994).

8.- ALTERADORES DE LA FUNCIÓN ENDOCRINA

Los alteradores de la función endocrina (EDCs, pesticidas, herbicidas, fitoestrógenos y otros compuestos químicos) son compuestos sintéticos o naturales que se

sospecha que pueden tener efectos adversos en los animales. Esto es consecuencia principalmente de que forman enlaces con receptores hormonales, alterando la función endocrina y los rendimientos reproductivos en aves. El control de la presencia concentración y distribución de estos compuestos en el ambiente y en los alimentos se está convirtiendo en un aspecto importante, porque estos efectos pueden ocurrir a niveles relativamente bajos. Los estudios sobre este tema y la regulación legislativa de estos compuestos están todavía en desarrollo.

En el caso de las aves domésticas los objetivos no son sólo identificar cuáles de los EDCs se encuentran como residuos en los alimentos, sino también establecer qué niveles de exposición pueden potencialmente afectar a la función reproductora y a otros sistemas fisiológicos. Aparentemente el embrión en desarrollo es el más sensible a la exposición a los EDCs a través de la deposición maternal de estos agentes químicos en el huevo. Esto ocurre porque muchos EDCs son liposolubles, por lo que se incorporan fácilmente a la yema. Un elemento crítico para definir el impacto es establecer índices seguros de exposición y determinar si son suficientes para afectar a corto o a largo plazo al crecimiento del pollo.

Una actividad importante actualmente en desarrollo es el establecimiento de test con especies-modelo como forma de establecer el impacto potencial de los EDCs. El modelo más probable para aves son los galliformes, particularmente la codorniz japonesa que madura rápidamente y es similar a otras especies de aves domésticas. Además, se espera que esta información pueda extrapolarse a poblaciones salvajes de aves y que de estos resultados pueda establecerse el riesgo potencial en estas especies. Por otra parte, el número potencial de EDCs es elevado, de forma que para la selección de agentes químicos representativos es necesario establecer categorías.

En la producción de pollos broiler, los EDCs pueden entrar y abandonar el ciclo productivo. Los EDCs pueden llegar al pollo a partir de diferentes fuentes, principalmente el estiércol o como contaminantes en los granos incluidos en el pienso. Las leguminosas (entre ellas la soja) pueden contener EDCs, específicamente unos fitoestrógenos denominados isoflavonas. La harina de soja contiene como media 90, 910, 71, y 600 ppm de las isoflavonas genisteína, genistina, daidzeína, y daidzina respectivamente (Konno et al., 2002). Estos compuestos, especialmente la genisteína y la daidzeína tienen una actividad estrogénica bien conocida. Los fitoestrógenos se han relacionado con infertilidad en animales, pero existen cada vez más evidencias de que también pueden tener efectos beneficiosos. La población humana del Lejano Oriente consume grandes cantidades de soja sin aparentes efectos deletéreos. Se ha demostrado que las isoflavonas genisteína y daidzeína que se encuentran en la soja influyen en el metabolismo de las hormonas sexuales, así como sobre la síntesis de proteína y las actividades de factores de crecimiento

que potencian efectos anticarcinogénicos. De hecho, se piensa que pueden actuar como agentes quimiopreventivos.

Los pollos broiler pueden producir EDCs en forma de hormonas esteroideas que son excretadas en el estiércol. Los esteroides de mayor importancia son la estrona y el 17 β -estradiol ya que a menudo se encuentran en el ambiente a concentraciones superiores a las que empiezan a causar efectos. Trabajos experimentales han mostrado que las excretas de broilers contienen estrógenos (17 β -estradiol), estrona y testosterona en concentraciones medibles y que estos EDCs persisten en el estiércol (Nichols et al., 1997; Shore and Shemesh, 2003; Fisher et al., 2005). La degradación de los esteroides en el estiércol de broilers durante su almacenamiento parece ser muy baja. Sin embargo, una vez que los esteroides han alcanzado las vías de agua, su degradación es rápida (vida media entre 0,2 y 8,2 d). Los trabajos que han estudiado el impacto de estos esteroides naturales en peces sugieren que, en terrenos preservados de la escorrentía donde se aplica estiércol de broiler, los niveles de esteroides son suficientemente altos para causar alteraciones endocrinas. Sin embargo, en terrenos donde la escorrentía no fue prevenida, los niveles de hormonas esteroideas no fueron lo bastante elevados para tener efectos negativos.

Las prácticas agronómicas pueden afectar las pérdidas de EDCs hacia el agua subterránea o superficial de la misma forma que otros contaminantes del estiércol o del suelo que sean solubles en agua. La labranza convencional en suelos estercolados reduce de manera importante las pérdidas de hormonas esteroideas en agua, respecto al no laboreo. El uso de agentes ligantes como el alumbre (sulfato de aluminio y potasio) puede igualmente reducirlo. Se han realizado algunos trabajos para medir el impacto de la edad, el sexo y el estado reproductivo sobre la secreción de esteroides en aves (Shore y Shemesh, 2003). Sin embargo, la influencia de la edad y la velocidad de crecimiento sobre la secreción de esteroides a lo largo de la vida productiva del broiler o del pollo de asador (desde su nacimiento hasta los 63 días de edad) no se conoce bien todavía.

Aunque no afecta directamente a las aves domésticas, la exposición a los contaminantes de las aves salvajes es también un aspecto relevante. Además, esta exposición ocurre generalmente a niveles sub-letales, lo que hace más complicada la detección de los efectos de los EDCs, especialmente cuando se intentan separar otras interacciones con el ambiente que rodea al animal.

9.- MANEJO DEL ALIMENTO

El desarrollo de técnicas de manejo que mejoren el crecimiento y/o la eficacia alimenticia es un objetivo antiguo de la industria de producción de aves. Cualquier técnica que mejore la eficacia de conversión del pienso en carne resulta en un mejor uso de los nutrientes y, por tanto, reduce la cantidad excretada en el estiércol. Algunas de las

herramientas disponibles (programas de iluminación, naves sin ventanas, iluminación intermitente, sistemas de interrupción de la iluminación (*light spiking*), y la alimentación por fases, entre otros, se usan de forma generalizada, pero se aplican de forma variable. Los programas de luz, por ejemplo, modifican el comportamiento alimenticio y son una herramienta para alterar las cantidades ingeridas y las pautas de consumo. Pueden o bien incrementar o bien ralentizar el crecimiento, pero generalmente resultan en mejoras en la conversión del pienso. El uso de métodos de iluminación intermitente y de *light spiking*, cada vez más utilizados, aumenta el consumo y la ganancia de peso y mejoran ligeramente la eficacia. El sistema de naves sin ventanas, implementado ampliamente en los últimos años, resulta en mejoras en la conversión como consecuencia de una menor actividad de los animales en propósitos no-productivos.

Otra área de manejo alimenticio que necesita la obtención de información adicional es la alimentación por fases. Mientras que esta herramienta ha sido utilizada durante muchos años por algunos segmentos de la industria avícola, el concepto sólo se ha implementado parcialmente. El concepto se basa en el hecho de que las necesidades del animal cambian constantemente, al igual que su edad. Idealmente, el contenido en nutrientes de los piensos debería cambiar diariamente para satisfacer las necesidades específicas de cada estado de crecimiento. Sin embargo, los broilers todavía son engordados con programas de alimentación de tres fases. En Europa, donde las regulaciones medioambientales son más rigurosas, la alimentación por fases ha sido llevada al extremo de cambiar las proporciones del pienso cada día. Esto supone disponer de dos piensos (de alta y baja densidad) mezcladas en una proporción distinta diariamente. De esta forma, el contenido en nutrientes de la dieta se reduce ligeramente cada día para cubrir de forma más precisa las necesidades del animal. Esto minimiza el exceso de nutrientes y su excreción, además de incrementar la ganancia de peso. En contraste, en un programa de alimentación de tres fases los animales son alimentados con un exceso de nutrientes al inicio de cada fase mientras que al final de las mismas la dieta no proporciona todos los nutrientes necesarios para maximizar el crecimiento. Estos periodos de exceso y escasez se minimizan con el sistema de mezcla y, por tanto, su eficacia es mucho mayor. Este sistema no ha sido todavía implementado en los EEUU. La industria americana de broilers emplea entre tres y cinco fases. Hay una inversión inicial necesaria en equipos que de momento no se cubre con incentivos económicos o legislativos.

Los factores físicos del alimento también influyen en su eficacia de utilización. En los EEUU es típico el uso de pienso granulado para broilers, pero la calidad del gránulo (dureza, durabilidad y porcentaje de finos) todavía es controvertida. Existen problemas con la durabilidad del gránulo y el porcentaje de finos, particularmente cuando se añaden enzimas (como las fitasas) después de la granulación. Esto implica que la enzima queda localizada principalmente en la capa externa del gránulo. Cualquier pérdida de finos por abrasión de esta capa externa resulta en una pérdida elevada de la enzima aplicada. En la

mayoría de los cebaderos comerciales de broilers de EEUU, donde la longitud de los comederos oscila entre 250 y 500 pies, los finos tienden a desprenderse al principio de la línea de alimentación. Por tanto, la mayor parte de la enzima se consume por las aves que ingieren el pienso al principio de la línea. Esto es especialmente importante en las fases de acabado y retirada, cuando el movimiento de las aves dentro de la granja está limitado.

10.- MANEJO (ANIMALES Y ALOJAMIENTOS)

10.1.- Manejo y aplicación del estiércol

El estiércol incluye una combinación de materiales de la cama, materia fecal, plumas y alimento no consumido. La densidad en nutrientes de los materiales de cama más comunes (serrín de pino, viruta y cascarilla de arroz) es bajo, de forma que influye poco en su composición. El estiércol de pollos ha sido utilizado durante décadas como enmienda del suelo para mejorar las cosechas. En este sentido supone muchos beneficios y algunos problemas en el caso de cultivos de raíces o pastos. En general, el estiércol de pollos es una muy buena fuente de N, P y K, los nutrientes más importantes para los cultivos. También, aporta algunos otros nutrientes para los vegetales, tales como Ca, Mg, S, B, Cu, Mn y Zn, así como materia orgánica. El valor de las enmiendas con estiércol ha sido reconocido y las recomendaciones para su uso han sido bien establecidas por muchas universidades de EEUU. Investigaciones realizadas en el pasado han mostrado también que el estiércol debe manejarse correctamente para prevenir impactos ambientales en el aire, suelo y calidad del agua. Los desafíos ambientales más significativos relacionados con su uso son: (1) la contaminación por nitratos del agua superficial, (2) la polución de las aguas superficiales con N y P, (3) las pérdidas de N, especialmente de NH_3 , a la atmósfera durante la producción, almacenamiento, y manejo y aplicación al terreno del estiércol y (4) la prevención de la retención en el suelo de elementos traza, como el As, Cu y Zn, que sabemos que afectan a la salud humana y del ecosistema. Implementados de forma adecuada, los planes de manejo de los nutrientes permiten conseguir todas las ventajas agronómicas de la aplicación del estiércol previniendo al mismo tiempo consecuencias ambientales negativas.

10.2.- Manejo del estiércol dentro de la granja y durante el almacenamiento

Hay numerosos factores que afectan al contenido en nutrientes del estiércol. La frecuencia de la limpieza y el manejo de la cama (profundidad inicial, reemplazamiento para mantener la profundidad adecuada) tienen una gran influencia sobre la composición del estiércol. La velocidad relativa de acumulación de nutrientes en el estiércol es más alta en la primera banda, porque la cama limpia tiene un contenido muy bajo de nutrientes. La acumulación relativa sigue siendo alta durante las 4 o 5 primeras bandas pero la velocidad

relativa de acumulación es cuadrática, de forma que se acaba alcanzando un valor más o menos estable. Esto no significa que la concentración en nutrientes no aumente después de la 4ª/5ª banda, sino que a partir de aquí el estiércol está constituido principalmente (alrededor de un 95%) por excretas secas. Además, aunque la proporción relativa de nutrientes permanezca estable, la cantidad absoluta seguirá aumentando a una velocidad similar, a igualdad de condiciones productivas.

La densidad en nutrientes está también determinada por otros factores tales como el peso de sacrificio de los animales, la composición del alimento, la eficacia alimenticia y el diseño del alojamiento. Debido al déficit actual de material para cama, en muchas zonas se está reutilizando el estiércol durante largos periodos de tiempo. La densidad en nutrientes aumenta con esta práctica, resultando más económico el transporte del estiércol y quizás más valioso para usos alternativos. Sin embargo, plantea la necesidad de un mayor control de enfermedades, polvo, NH_3 y olores. El uso de materiales alternativos para cama debe ser estudiado para mejorar la composición en nutrientes del estiércol y para reducir emisiones de gases. Una aproximación alternativa es el desarrollo de sistemas de producción sin cama mediante cintas de extracción del estiércol (Patterson y Adrizal, 2005).

El pH del estiércol tiene más influencia sobre la volatilización del NH_3 que la humedad, de forma que la acidificación del estiércol ($\text{pH} < 7$) es una forma efectiva de controlar la liberación de NH_3 . Diferentes productos (bisulfato sódico, sulfato de aluminio, arcilla acidificada) para acidificar el estiércol se usan de forma generalizada por la industria de producción de broilers para reducir estas emisiones y controlar el desarrollo de patógenos. Sus efectos son inmediatos pero en general su persistencia es escasa. Algunos de estos compuestos basados en aluminio, hierro y calcio tienen la ventaja adicional de combinarse con el P soluble del estiércol. Hay revisiones recientes (Ullman et al., 2004 y Patterson y Adrizal, 2005) sobre productos que se combinan, alteran la composición de la flora microbiana o las actividades enzimáticas.

Además de la humedad y la acidez del estiércol, la velocidad del aire en los sistemas de ventilación y la temperatura se encuentran entre los factores más importantes para controlar la liberación de NH_3 . Sin embargo, las relaciones entre temperatura, velocidad del aire y flujo de liberación de NH_3 son complejas. El coeficiente de transferencia de NH_3 debe ser determinado experimentalmente para cada sistema, ya que depende de las características de las excretas y de muchos otros factores, lo que explica la elevada variabilidad de los valores obtenidos (Ni, 1999). Sin embargo, siempre es cierto que cuando la temperatura ambiente o la velocidad del aire aumentan, el coeficiente de transferencia de NH_3 se incrementa. Además, a mayor temperatura se produce un aumento de la velocidad a la que la urea y otros compuestos orgánicos nitrogenados se convierten en NH_3 . Finalmente, cuando la temperatura del aire aumenta, es necesario incrementar la velocidad de ventilación para mantener el ambiente en la zona de confort de las aves.

Cuando la velocidad del aire aumenta, la concentración NH_3 gaseoso de la corriente de aire disminuye, lo que incrementa de nuevo el coeficiente de liberación de NH_3 . Por otra parte, temperaturas elevadas y altas velocidades de ventilación tienden a desecar el estiércol, lo que reduce la producción de NH_3 y su liberación, pero puede aumentar la formación de polvo.

10.3.- Humedad del estiércol

La volatilización de NH_3 aumenta cuando aumenta la humedad del estiércol. Un estiércol más seco también reduce problemas sanitarios y de calidad de producto asociados a camas húmedas y al olor. Factores de manejo que minimizan las condiciones de humedad del estiércol incluyen un lugar adecuado de drenaje, el uso de materiales para cama de calidad, la instalación y mantenimiento de una adecuada profundidad de la cama, el manejo de los bebederos (altura de la línea, higiene y presión), el diseño adecuado de los sistemas de refrigeración y ventilación y el mantenimiento de una densidad animal uniforme a lo largo de la granja. Una humedad del estiércol del 25% es generalmente considerada como óptima, valores excesivamente bajos pueden exacerbar la producción de polvo y causar problemas respiratorios a los animales y a los trabajadores.

Un almacenamiento, manejo y aplicación del estiércol adecuados son también importantes para minimizar la volatilización de NH_3 y aumentar la fijación al estiércol del P soluble que puede afectar a la calidad del agua. Un estudio reciente realizado por McGrath et al. (2005) ha mostrado que el almacenamiento húmedo del estiércol incrementaba al doble su contenido en P soluble en agua, independientemente de si se había o no usado fitasa. En estas condiciones también se aumenta la concentración de P soluble en agua del suelo y las pérdidas por lixiviación, con respecto a estiércol conservado en condiciones más secas. Por tanto, el almacenamiento del estiércol de la forma más seca posible es otra herramienta de manejo importante.

11.- REFERENCIAS

- ALVA, A.K., HUANG B. y PARAMASIVAM, S. (2000) *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64, 955-962.
- ANDERSON, M.A., MCKENNA, J.R., MARTENS, D.C., DONOHUE, S.J., KORNEGAY, E.T. y LINDEMANN, M.D. (1991) *Communications in Soil Sci. and Plant Analysis*. 22:993-1002.
- ANGEL, C.R., POWERS, W.J., APPLGATE, T.J., TAMIM, N.M. y CHRISTMAN, M.C. (2005) *J. Environ. Qual.* 34, 563-571.
- FERGUSON, N.S., GATES, R.S., TARABA, J.L., CANTOR, A.H., PESCATORE, A.J., FORD M.J. y BURNHAM, D.J. (1998a) *Poult. Sci.* 77, 1481-1487.

- FERGUSON, N.S., GATES, R.S., TARABA, J.L., CANTOR, A.H., PESCATORE, A.J., STRAW, M.L., FORD M.J. y BURNHAM, D.J. (1998b) *Poult. Sci.* 77, 1085-1093.
- FISHER, D.J., YONKOS, L.T., MCGEE B.L. y KANE, A.S. (2003) *Development and application of biomarkers to evaluate endocrine disruption in fish as a result of poultry litter application on the Delarva Peninsula*. U. of MD., Wye Research and Education Center, Report # WREC-03-01.
- FISHER, D.J., STAVAR, K.W., YONKERS, L.T., OTTINGER M.A. y POLLACK, S. (2005) *Grant final report written for the Maryland Center for Agro-Ecology, Inc.* P.O. Box 169, Queenstown, MD, (*agroecology.widgetworks.com*).
- GUPTA, G., y CHARLES, S. (1999) *Poult. Sci.* 78, 1695-1698.
- HAI, D.T. y BLAHA, J. (2000) *Czech J. Ani. Sci.* 45, 429-436.
- HAVENSTEIN, G.B., FERKET, P.R., SCHEIDELER, S.E. y LARSON, B.T. (1994) *Poult. Sci.* 73, 1785-1794.
- HAVENSTEIN, G.B., FERKET, P.R. y QURESHI, M.A. (2003) *Poult. Sci.* 82, 1500-1508.
- KINGERY, W.L., WOOD, C.W., DELANEY, D.P., WILLIAMS, J.C. y MULLINS, G.L. (1994) *J. Environ. Qual.* 23, 139-147.
- KONNO, J., KATO, H., IWATA, T. y INOUE, T. (2002) *J. Agric. Food Chem.* 50, 3883-3885.
- MCGRATH, J.M., SIMS, J.T., MAGUIRE, R.O., SAYLOR, W.W., ANGEL, C.R. y TURNER, B.L. (2005) *J. Environ. Qual.* 34, 1896-1909.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1994. *Nutrient Requirements of Poultry*, 9th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC.
- NI, J.Q. (2007) *J. Agric. Engineer. Res.* 72(1), 1-17.
- PATTERSON, P. y ADRIZAL (2005) *J. Appl. Poult. Res.* 14, 638-650.
- RUTHERFORD, D.W., BEDNAR, A.J., GARBARINO, J.R., NEEDHAM, R., STAVAR, K.W. y WERSHAW, R.L. (2003) *Environ. Sci. Technol.* 37, 1515-1520.
- SCHREIBER, M.E. (2005) *Geologic. Soc. Amer. Abstracts.* 37, 249.
- SHORE, L.S. y SHEMESH, M. (2003) *Pure Appl. Chem.* 75, 1859-1871.
- SIMS, J.T. (1986) *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50, 367-373.
- ULLMAN, J., MUKHTAR, S., LACEY R. y CAREY, J. (2004) *J. Appl. Poult. Res.* 13, 521-531.
- VAN DER WATT, H.V.H., SUMNER, M.E. y CABRERA, M.L. (1994) *J. Environ. Qual.* 23, 43-49.