

El amoniaco en las explotaciones avícolas: efectos sobre las aves y el ambiente

The ammonia in poultry operations: effects on birds and environment

JUAN MANUEL COHUO-COLLI¹, JOSAFHAT SALINAS-RUIZ¹, ALEIDA SELENE HERNÁNDEZ-CÁZARES¹, JUAN VALENTE HIDALGO-CONTRERAS¹ Y JOEL VELASCO-VELASCO^{1,2}

Recibido: Septiembre 7, 2016

Aceptado: Octubre 21, 2016

Resumen

La mitigación de gases que contaminan el ambiente es uno de los retos de la sociedad actual. Algunas actividades económicas son fuente de emisión de gases contaminantes, como es la avicultura, que presenta la mayor concentración y emisión de NH_3 comparada con otras explotaciones de animales. Este gas repercute en el desarrollo y bienestar de las aves; en altas concentraciones, influye en la proliferación de enfermedades oculares, respiratorias e incluso, contribuye al daño de la almohadilla plantar en pollos. En general, el amoniaco tiene repercusiones contaminantes en aire, suelo y agua; genera malos olores, altera pH y reciclaje de nutrientes del suelo; provoca eutrofización y contaminación de cuerpos de agua, y en situaciones graves, afecta la salud humana. Es importante cuantificar la emisión de amoniaco en granjas avícolas, mediante investigaciones que contribuyan a proponer estrategias que reduzcan las emisiones de este gas y los efectos sobre los ecosistemas naturales.

Palabras clave: amoniaco, contaminación ambiental, pollos.

Abstract

The mitigation of gases that pollute the environment is one of the challenges of today's society. Some economic activities are a source of emission of pollutant gases such as poultry; which has the highest concentration and emission of NH_3 compared to other farms. This gas has repercussions on the development and welfare of birds; In high concentrations influences the proliferation of eye diseases, respiratory, and even contributes in the damage to the plantar pad of the chickens. In general, ammonia has an impact on air, soil and water pollution; generates bad odors, alters the pH and recycling nutrients of the soil, causes eutrophication and contamination of water, and in more serious situations affects human health. For these reasons, it is important to quantify the emission of ammonia in poultry farms through specific investigations, which will contribute to propose strategies that could reduce the ammonia emission and therefore the effects that this gas causes on natural ecosystems.

Keywords: ammonia, environmental pollution, poultry.

Introducción

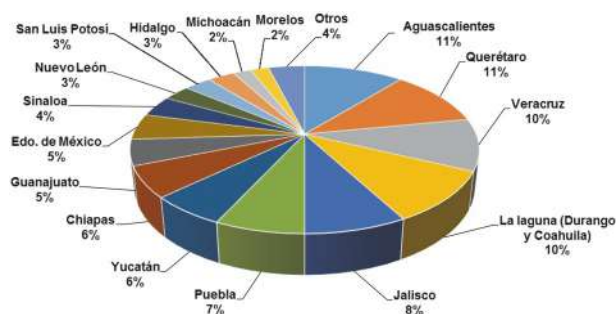
México ocupa el quinto lugar como productor de huevo y carne de pollo, aportando 3.5% del total de la producción mundial. La industria avícola en México es una de las actividades pecuarias más dinámicas y prósperas del país dentro del entorno agroalimentario (Figura 1).

¹ COLEGIO DE POSTGRADUADOS CAMPUS CÓRDOBA. Córdoba, Veracruz, México. Carretera Federal Córdoba-Veracruz km 348, Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes Veracruz, Veracruz, México. C.P. 94946. Teléfono: 52(271) 716-6000.

² Dirección electrónica del autor de correspondencia: joel42ts@colpos.mx.

Seis de cada 10 kg de proteína animal que se oferta en el mercado son alimentos avícolas como carne de pollo y huevo. En 2014, el consumo per cápita de esta carne fue de 24.8 kg, indicando demanda por carnes blancas de bajo contenido graso (UNA, 2014).

Figura 1. Principales estados productores de carne de pollo en México en 2013. Fuente: Modificado de UNA (2014).



El crecimiento en la producción de carne de pollo ha traído un fuerte nivel de tecnificación de las naves que proporcionan un mayor confort y bienestar a las aves, y el número de animales por metro cuadrado es mayor. Bokkers *et al.*, (2011) mencionan que la densidad apropiada es de 16 aves m², mientras que Dawkings *et al.* (2004) comentan que con 23 aves m² no se afecta el desarrollo y comportamiento de los animales. También se han tenido avances en la nutrición y genética para un mejor crecimiento del índice de conversión alimenticia con el fin de obtener mayor peso vivo en periodos cortos (Rostagno *et al.*, 2011). Por otra parte, este inevitable crecimiento de la industria avícola por el aumento en el número de aves de granja, ha provocado el incremento de la emisión de varios gases por la interacción con las condiciones medioambientales, como temperatura, humedad, ventilación, entre otros. Estas condiciones, junto con factores físicos y biológicos como la descomposición bacteriana de excretas y en materiales de cama, originan el amoniaco, que repercute en problemas de contaminación ambiental, dentro y fuera de la nave avícola (Sainsbury, 2000).

En concentraciones mayores de 25 ppm dentro de las naves avícolas, el amoniaco ocasiona enfermedades oculares en aves como la uveítis (Miles *et al.*, 2006); asimismo, se desarrollan enfermedades como la queratoconjuntivitis, problemas respiratorios, daños patológicos e infecciones (Jodas y Hafez, 2001). Estas enfermedades causan pérdidas económicas considerables (Cuadro 1).

Cuadro 1. Cuantificación de pérdidas monetarias a concentraciones de amoniaco superiores a 75 ppm.

| Aves de producción por nave | Ganancias con control adecuado de NH ₃ (\$) | Ganancias sin control adecuado de NH ₃ (\$) | Pérdida monetaria (\$) |
|-----------------------------|--|--|------------------------|
| 10,000 | 884,400.00 | 804,440.00 | 79,560.00 |
| 20,000 | 1 768,000.00 | 1 608,880.00 | 159,120.00 |
| 40,000 | 3 536,000.00 | 3 217,760.00 | 318,240.00 |

Precio promedio aproximado \$34.00 por kilogramo de carne. Peso promedio en pie 2.6 kg por ave (ASERCA, 2014).

Weaver *et al.* (1991) indican que el amoniaco, ligado con niveles de humedad relativa, tiene influencia en el desarrollo de enfermedades en las patas de los pollos, conocidas como pododermatitis, debido a las quemaduras que este gas causa a las aves. En varios estudios realizados en la Unión Europea y EU se han encontrado factores relacionados con la emisión de amoniaco, por ejemplo, la temperatura, humedad de la cama y pH (Miles *et al.*, 2011). De igual forma, han implementado estrategias para mitigar los altos niveles de amoniaco en las granjas desde diferentes puntos de vista, por ejemplo: materiales de cama Garcês *et al.* (2013), complementos adicionados a la dieta de las aves como la *Yucca schidigera* (Sahoo *et al.*, 2015), entre otras. Es importante estimar e implementar estas estrategias para países como México, donde la investigación en el tema apenas está emergiendo, con el fin de estimar la cantidad de NH₃ que se emite en las granjas avícolas, sin dejar de observar los problemas que ocasionan sobre la salud de las aves, los humanos y ambiente.

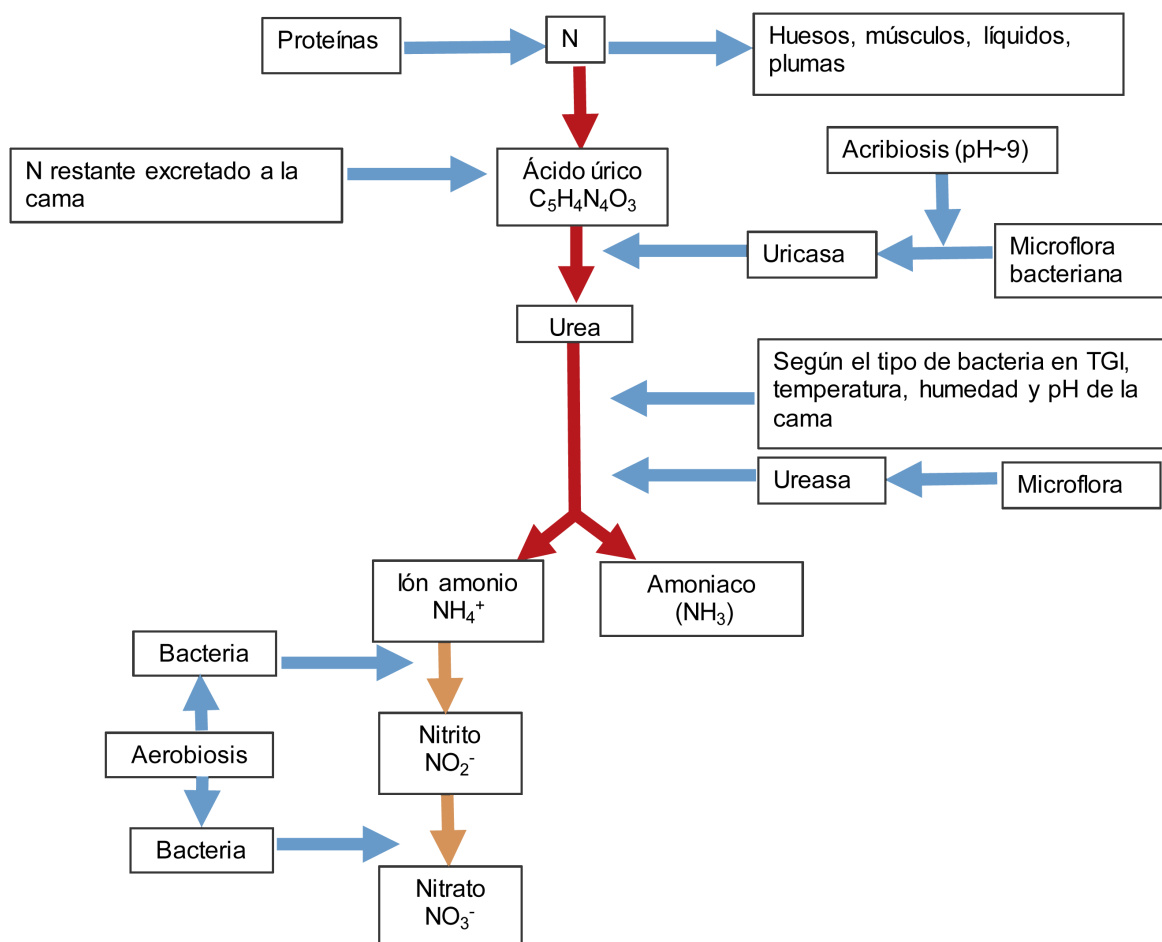
Desarrollo

El amoniaco. El NH_3 es un compuesto químico cuya molécula consiste en un átomo de nitrógeno (N) y tres de hidrógeno (H); es un gas incoloro de olor fuerte; tiene un pH de 13 y puede producirse naturalmente o antropogénicamente. El amoniaco es muy volátil debido a que es más liviano que el aire, además, su forma iónica y neutra permanecen en equilibrio en solución; aun así, a bajas concentraciones generan vapores de olor irritante. La constante disociación del NH_3 forma soluciones básicas, como resultado, muchas propiedades físicas y químicas del NH_3 actúan en función del pH. Por ejemplo, la solubilidad del mismo en agua, se incrementa con la disminución en el pH. La

volatilidad del NH_3 se incrementa con al aumentar el pH; de esta forma, esta sustancia se volatilizará libremente de sus soluciones con agua a pH altos. En general, el NH_3 es difícil de controlarlo ya que se disuelve fácilmente en agua y se evapora rápidamente (Botta, 2002).

La formación de amoniaco en la industria avícola. Dentro de las naves avícolas existen emisiones de diversos contaminantes gaseosos, de estas, se destacan el dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O) y metano (CH_4); pero el principal gas es el NH_3 (Solomon *et al.*, 2007). Este gas, además de ser de los más comunes, se puede distinguir por ser altamente irritante y llega a afectar tanto a animales como a trabajadores en las granjas (Figura 2).

Figura 2. Proceso de emisión de NH_3 en cama en pollos de engorda.



Fuente: (Arellano, 2014).

El alimento proporcionado a las aves, compuesto por nitrógeno (N) en forma de aminoácidos, son derivados principalmente de la proteína que sirven al animal para la formación de huesos, músculo, líquidos corporales, plumas, carne, etc. (Santiago *et al.*, 2011); sin embargo, no todo el N que reciben es aprovechado eficientemente, y una cantidad es eliminada por las excretas. Este exceso de N es desechado en forma de ácido úrico que se produce en el hígado del ave y de las proteínas no digeridas, presentando hasta 70 y 30% de N, respectivamente. Estos se mezclan con el material de la cama, donde existe microflora bacteriana como *Nitrosomonas* y *Nitrococcus* que convierte el NH_3^- a NO_2^- y *Nitrobacter*, que convierten el NO_2^- a NO_3^- que participan en la descomposición de la misma por efecto de la humedad, al igual que muchas enzimas, siendo la más importante la ureasa, lo que permite la producción de NH_3 y CO_2 (Groot, 1994; Roney *et al.*, 2004).

Tras la descomposición del ácido úrico, el NH_3 se volatiliza, este proceso de emisión también es afectado por varios factores como el tipo de material de cama, la temperatura, la humedad, la ventilación. Algunos autores mencionan que las técnicas de manejo de las aves también influyen en dicho proceso (Patterson y Adrizal, 2005).

Efectos del amoníaco sobre el medio ambiente. Las emisiones de gases hacia el medio ambiente son una de las principales preocupaciones en el mundo. Las emisiones provienen principalmente de las instalaciones pecuarias (bovinos, porcinos y aves de corral), por ello, un número creciente de países han optado por introducir legislaciones que tienen como objetivo reducir la emisión de contaminantes, una de estas del NH_3 (Bjerg *et al.*, 2013).

Contaminación del aire. Las emisiones de NH_3 , junto con otros contaminantes como sulfuros de hidrógeno, metano y dióxido de carbono, producen molestias, principalmente olores desagradables que afectan la salud humana con problemas respiratorios; además,

la mayoría de estos compuestos contribuyen a la destrucción de la capa de ozono por la producción de óxido nítrico, como parte de los gases emitidos durante la descomposición microbiana (Pacheco *et al.*, 1997).

Contaminación del suelo. En las actividades pecuarias, se producen grandes volúmenes de estiércol, el vertido de estos desechos ocasiona acumulación de nutrientes y sales en el suelo, alterando su pH debido a la conversión de ácido úrico en urea y posteriormente en nitrato, lo que ocasiona otros problemas relacionados con la infiltración de dichos nitratos en el subsuelo por el proceso de lixiviación, además de la contaminación por microorganismos patógenos tales como *Escherichia coli* y *Salmonella sp.*, entre otros (Pacheco *et al.*, 1997; Medina y Cano, 2001 y Martínez *et al.*, 2011).

Contaminación de agua. La contaminación superficial del agua por excretas se manifiesta principalmente por la presencia de amonio que se disuelve en el agua, por su propiedad de miscibilidad, y de sulfatos provenientes de lluvias ácidas, lo que genera un exceso de nutrientes en el agua y favorece el crecimiento de algas, pues el amoníaco es transformado en amonio y nitrato que las algas utilizan para formar aminoácidos (Hernández *et al.*, 2012). Lo anterior ocasiona el agotamiento de oxígeno disuelto y el aumento de materia orgánica en situaciones graves, llegando a causar la eutrofización de los cuerpos de agua (Pacheco *et al.*, 1997). En dos estudios de caso realizados por Constable *et al.* (2003) en Canadá, revelaron la cantidad de 62 t de NH_3 por año de una planta municipal de tratamiento de aguas residuales, capaces de producir un impacto ecológico negativo, principalmente a los organismos acuáticos y las plantas terrestres.

Efectos del NH_3 sobre la salud de los pollos de engorda. Para la industria avícola, como ya se ha mencionado, la preocupación por la generación y emisión de NH_3 incluye temas referentes a niveles de producción, salud y bienestar animal. Los actores involucrados en esta industria se han interesado en controlar y

reducir la emisión de este gas dentro de las instalaciones avícolas, ya que genera múltiples problemas y enfermedades sobre las aves (Ritz *et al.*, 2004). Beker *et al.* (2004) encontraron que el NH₃ disminuye el rendimiento de los animales (conversión del alimento en peso corporal del ave) y aumenta la susceptibilidad a desarrollar alguna enfermedad, disminuyendo la calidad de su carne. En el Cuadro 2 se muestran algunas concentraciones de NH₃ que pueden afectar la salud y el bienestar de las aves.

Cuadro 2. Efectos del amoníaco en concentraciones altas sobre la salud de las aves.

| Concentración de NH ₃ | | Efectos en la salud y bienestar animal |
|----------------------------------|--------------------------|---|
| ppm | ml | |
| 20 | 2 x 10 ⁻² | • Edema pulmonar, congestión y hemorragias • Mayor susceptibilidad ante las enfermedades respiratorias debido a la ciliostasis. |
| 40 | 4 x 10 ⁻² | • Declinación y disminución de la eliminación de <i>E. coli</i> de los pulmones y saco aéreos. |
| 25-50 | 2.5-5 x 10 ⁻² | • Reducción del peso corporal y la eficacia del alimento e incremento de la aerosaculitis en las aves expuestas al virus de la bronquitis infecciosa. |
| 50-100 | 5-10 x 10 ⁻² | • Queratoconjuntivitis, ulceración corneal y ceguera. |

Fuente: Miles *et al.*, 2004.

El NH₃ en el desarrollo de la pododermatitis.

Una de las enfermedades a la que se le ha dado mayor énfasis en los últimos años es la pododermatitis (daño causado en la almohadilla plantar) de las aves, considerado como un importante indicador en el bienestar de los pollos de engorda (Meluzzi *et al.*, 2008b). La importancia del cuidado de las patas, es por su valor especial en el mercado extranjero, sudeste asiático y China. Con presencia de pododermatitis se tienen significantes pérdidas económicas, ya que las patas con lesiones no son aptas para el consumo humano y los precios se reducen en el mercado (Taira *et al.*, 2014). En 2008, el mercado de EU perdió \$250 a \$300 millones de dólares por la mala calidad de patas de pollo, que es la tercera parte económicamente más importante del animal después de la pechuga y las alas (Casey *et al.*, 2010).

La pododermatitis es conocida por varios nombres: dermatitis de contacto, dermatitis de la almohadilla plantar y todos se refieren a una condición que se caracteriza por la inflamación y lesiones necróticas, desde la superficie plantar de las almohadillas de las patas hasta lo profundo. Las úlceras profundas pueden dar lugar a abscesos y engrosamiento de tejidos subyacentes y estructuras (Taira *et al.*, 2014). El alto contenido de humedad está implicado, junto con el NH₃, para el desarrollo de esta enfermedad (Weaver *et al.*, 1991) al igual que otros factores que a continuación se mencionan.

Material de la cama para la crianza de pollos de engorda. El manejo de la cama es un aspecto importante en la crianza de los pollos, el material que se utiliza sirve como aislamiento térmico, absorción de humedad y barrera protectora de la tierra, entre otros (Bilgili *et al.*, 2009). Al final, la cama se refiere a la mezcla de materiales de excrementos fecales y alimento, lo que varía según la región, costo y disponibilidad. El material de la cama más utilizado en EU es la viruta de pino y en Europa la paja. La cascarilla de arroz y la de cacahuate son otros materiales utilizados regularmente como cama (Grimes *et al.*, 2002). Algunos han sido utilizados principalmente para la absorción de humedad y evitar el apelmazamiento, lo cual se refiere a la compresión de las capas del material de la cama en una sola capa húmeda en la parte superior, que generalmente tiene la mayor parte de la humedad y material fecal (Bilgili *et al.*, 2009). De acuerdo con Grimes *et al.* (2002), el material de cama más destacado en la retención de mayor contenido de humedad es la viruta de pino, seguido de la cascarilla de arroz, mazorcas de maíz, aserrín y corteza de pino y arcilla. Sin embargo, Sirri *et al.* (2007) indican que el porcentaje de pododermatitis en pollos de engorda fue menor en camas de viruta de pino, comparado con la paja, después de la cascarilla de arroz y la de cacahuate. En estos materiales, uno de los factores más importantes para destacar su eficiencia en relación a calidad de la pata o el rendimiento, en comparación con materiales como el heno, la corteza de pino y las astillas de madera, es el tamaño de partícula,

que se recomienda que sea menor de 2.5 cm (Hester *et al.*, 1997). Por lo tanto, la diferencia en tamaño de partícula contribuye al desarrollo de la pododermatitis.

Humedad de la cama. Los factores como la densidad de ocupación, ventilación y diseño del bebedero pueden afectar la humedad de la cama, lo que puede ser un factor significativo en la aparición de la pododermatitis (Mejía, 2012). La cama húmeda es el único factor causante de la ulceración en las patas de pollos de engorda (Arnould, 2013), pues la pododermatitis es más severa a medida que aumenta la humedad de la cama, especialmente cuando contiene alta humedad con excrementos fecales pegajosos, es decir, si el manejo de la cama es deficiente se genera mayor cantidad de NH_3 (Alain *et al.*, 2009 y Mejía, 2012).

Diseño y manejo del bebedero. El diseño del bebedero puede desempeñar un papel importante en la humedad de la cama, por tanto, la incidencia sobre el desarrollo de la pododermatitis. Ekstrand *et al.* (1997) encontraron que las parvadas criadas con pequeñas tazas del bebedero han tenido una mayor prevalencia de pododermatitis que aquellos criados en bebederos de tetina o pezón.

Densidad de población. La densidad de población es un factor significativo en el rendimiento del pollo y una sobrecarga de aves por m^2 generando mayor concentración de NH_3 (Mejía, 2012). Parvadas abastecidas con una densidad de población alta ($\leq 0.48 \text{ m}^2 \text{ ave}^{-1}$) tienen 10% más incidencia de lesiones en el corvejón, y 20% más lesiones en comparación con parvadas en una densidad de población inferior ($0.15 \text{ m}^2 \text{ ave}^{-1}$) (Sørensen *et al.*, 2000). Mientras, Bruce *et al.* (1990) afirman que cuando la calidad de la cama se deteriora, el nivel de las lesiones del corvejón se duplica.

Estrategias para reducir el NH_3 de las granjas avícolas. Reducir los niveles de NH_3 al interior de las naves avícolas es una parte importante para el rendimiento de las mismas, la estrategia más apropiada es reducir la volatilización mediante lo siguiente: a) reducción del pH; se puede controlar mediante acidifi-

cantes como formaldehidos, bisulfato de sodio, sulfato de aluminio, sulfato de hierro, ácido fosfórico o una combinación de arcilla con ácido sulfúrico (Miles *et al.*, 2013); b) promover la formación de iones de amonio ($\text{H}^+ + \text{:NH}_3 \rightleftharpoons \text{NH}_4^+$) y, c) reducir la cantidad de amoníaco volátil. También es importante controlar la humedad para reducir la emisión de amoníaco, Ferguson *et al.* (1998) confirmaron la relación entre la humedad de la cama alta y el incremento de la emisión de amoníaco, por lo tanto, es importante mantener la cama seca mediante un buen manejo de bebederos y un mejor sistema de ventilación, entre otras estrategias.

La profundidad o la densidad del material de cama también juegan un papel importante, y ha dado resultados significativos en la reducción de amoníaco. Debe ser de un material que no absorba humedad para evitar la volatilización, se recomienda 20 kg/m^2 para casetas de ventilación natural y 30 kg/m^2 en casetas de ambiente controlado de material de cama. Shao *et al.* (2015) encontraron que a una altura de cama de 16 cm, la emisión de amoníaco se redujo a 18.67 ppm con respecto a una altura de 4 cm, la cual tuvo una emisión de 22.75 ppm. Las dietas proporcionadas a las aves también son importantes, ya que el nivel de la proteína cruda incluida en las dietas resulta excesivo. Reducir la cantidad de proteína cruda en las dietas (Summers, 1993) disminuye el N en las excretas y puede disminuir los niveles de NH_3 en las naves; algunos aditivos pueden ser agregados a la dieta, por ejemplo, las zeolitas y la *Yucca schidigera* (Çabuk *et al.*, 2004), minerales orgánicos (Nollet *et al.*, 2007), entre otros.

Algunos estudios muestran que la utilización de la *Yucca Schidigera* en forma picada y seca, redujo significativamente la emisión de NH_3 en cama, de 37 hasta 42 d de edad (Lazarevic *et al.*, 2014). El uso de esta planta disminuyó la humedad de la cama y mejoró el índice de conversión alimenticia y la ganancia de peso (Sahoo *et al.*, 2015), debido a esto, los autores sugieren que esta planta es un ingrediente funcional en las dietas para un programa de manejo del NH_3 y mejoramiento del bienestar animal.

Productos comerciales de *Yucca schidigera* se encuentran en el mercado con diferentes dosis y aplicaciones en las dietas de las aves, los más conocidos son Biopodwer®, De-Odorase® y MicroAid®, entre otros. Bao *et al.* (2007) mencionan que la suplementación en bajas cantidades de minerales orgánicos como Cu, Fe, Mn y Zn en la dieta de las aves, ayuda a disminuir la emisión de contaminantes al ambiente, debido al bajo nivel de excreción del mineral, ya que estos, en su forma orgánica, tienen buena biodisponibilidad y eficientizan la absorción de nutrientes, reemplazando los minerales inorgánicos, los cuales son utilizados en las dietas tradicionales o convencionales. Sunder *et al.* (2013) mencionan que el Zn y Mn en su forma orgánica y aplicada a las dietas de las aves de manera combinada, son suplementaciones que mejoran la firmeza de los huesos y la respuesta inmune.

Los minerales orgánicos conocidos como Availa-Zn® y Availa-Mn® han contribuido a reducir enfermedades como la pododermatitis cuando estos son incluidos en la dieta de las aves a diferentes dosis, obteniendo patas sin lesiones del 75 hasta 78% (Van der Sluis, 2010). Todas estas estrategias han funcionado en cierto grado para reducir la emisión de NH₃ y enfermedades como la pododermatitis en pollos de engorda; sin embargo, se han desarrollado en diferentes regiones geográficas y climáticas; por lo mismo, es importante conocerlas y tomarlas de referencia para desarrollar futuras investigaciones en México.

Tecnologías para la medición y eliminación de amoniaco. En las granjas avícolas, el NH₃ se mide a través de analizadores automáticos basados en sensores de infrarrojo, catalíticos, foto acústicos, capaces de cuantificar la concentración del gas en el aire de forma inmediata. Miles *et al.* (2006) estudiaron la producción y distribución de NH₃, N₂O, CO₂ y CH₄ en una granja de pollos de engorda, usando un analizador multi gas (Innova 1312, California Analytical, Orange, CA) que posee técnicas foto-acústicas infrarrojas de detección, pudiendo también medir CO y vapor de agua. Blanes-Vidal *et al.* (2008) realizaron mediciones de NH₃, CH₄ y N₂O en granjas de cerdos, usando el mismo equipo en el interior y exterior de las naves.

El NH₃ se puede eliminar *in situ* a través de trampas ácidas que consisten en dispositivos provistos de una dilución ácida (p. e. ácido ortofosfórico) capaz de adsorber amoniaco con o sin sistemas de bombas de aspiración de aire para determinar el caudal de aire. Otra forma de eliminar el amoniaco es a través de un bio filtro en el que se hace pasar aire contaminado a través de un medio orgánico (compost o madera triturada) que contiene bacterias que interactúan con los contaminantes y los descomponen en elementos inocuos o menos nocivos. Su eficacia fue probada en una granja de 5 mil aves donde eliminó hasta 79% del NH₃ de la instalación (Workman *et al.*, 2012).


Conclusiones

La avicultura es una fuente importante de emisión de NH₃ comparado con otras explotaciones animales. Es importante prestar atención a los problemas que genera tanto NH₃ en el aspecto productivo-económico a través del bienestar de las aves, así como sus implicaciones en el medio ambiente. Es necesario realizar estudios *in situ* para contribuir a resolver el problema de la volatilización del NH₃ con estrategias integrales. En México, es importante estimar la cantidad de este gas que emiten las granjas avícolas y generar índices regionales y nacionales con el fin de proponer y emprender estrategias para reducir sus niveles y diagnosticar el nivel de daños que ocasiona a la salud de las aves, pérdidas económicas a las empresas, costos ambientales que generan los altos niveles de NH₃ y el efecto en la salud humana.

Literatura citada

- ALLAIN, V., L. Mirabito, C. Arnould, M. Colas, S. Le Bouquin, C. Lupo, and V. Michel. 2009. Skin lesions in broiler chickens measured at the slaughterhouse: Relationships between lesions and between their prevalence and rearing factors. *British Poultry Science* 50:407-417.
- ARELLANO, P. G. 2014. Conservación y calidad de la yacija en naves de pollos. Informe Veterinario albéitar. Portal veterinario. Consultado (27/11/2014) <http://albeitar.portalveterinaria.com/noticia/13540/articulos-aves/conservación-y-calidad-de-la-yacija-en-aves-de-pollo.html>
- ARNOULD, C. 2013. Impacto de las pododermatitis en el bienestar de los pollos. Fisiología reproductiva y del comportamiento INRA (Nouzilly, Francia). <http://todoproductividad.blogspot.mx/2012/02/ventilacion-de-granjas-avicolas-2-parte.html>. Consultado 05-04-17.

- ASERCA. 2014. Pollo entero. <http://acerca.gob.mx/comercialización/PYP/avícolas/páginas/Avícolas-pollo.aspx> (accessed 10/16/14)
- BAO, Y. M., M. Choct, P. A. Iji and K. Bruerton. 2007. Effect of organically complexed copper, iron, manganese, and zinc on broiler performance, mineral excretion, and accumulation in tissues. *Journal Applied Poultry Research*, 16:448-455.
- BEKER, A., S. L. Vanhooser, J. H. Swartzlander, and R. G. Teeter. 2004. Atmospheric ammonia concentration effects on broiler growth and performance. *Journal Applied Poultry Research*, 13:5-9.
- BILGILI, S. F., J. B. Hess, J. P. Blake, K. S. Macklin, B. Saenmahayak, and J. L. Sibley. 2009. Influence of bedding material on footpad dermatitis in broiler chickens *Journal Applied Poultry Research*, 18:583-589.
- BJERG, B., T. Norton, T. Bnahazi, G. Zhang, T. Bartzanas, P. Liberati, G. Cascone, I. Lee B., and A. Marucci. 2013. Modelling of ammonia emissions from naturally ventilated livestock buildings. Part 1. Ammonia release modelling. *Biosystems Engineering*, 116(3):232-245.
- BOKKERS, E. A. M., I. J. M. Boer, and P. Koene. 2011. Space need of broilers. *Animal welfare*, 20(4):623-632.
- BLANES, V., Hansen, M. N., Pedersen, S., Rom, H. B. 2008. Emissions of ammonia, methane and nitrous oxide from pig houses and slurry: Effects of rooting material, animal activity and ventilation flow. *Ecosystems and Environ.*, 124:237-244.
- BOTTA N. 2002. Seguridad en el uso de amoniaco. RED PROTEGER. Derechos Reservados. Edición octubre 2002. pp 1-13.
- BRUCE, D. W., S. G. McIlroy, and E. A. Goodall. 1990. Epidemiology of a contact dermatitis of broilers. *Avian Pathology*, 19:523-537.
- ÇABUK, M., A. Alçiçek, M. Bozkurt, and S. Akkan. 2004. Effect of *Yucca schidigera* and natural zeolite on broiler performance. *International Journal Poultry Science* 3:651-654.
- CASEY, W. R., Brian, D., Fairchild, Y., Shepherd, E. M. 2010. <http://www.wattagnet.com/articles/5931-mejoramiento-de-la-calidad-de-las-patas-con-un-buen-manejo-de-la-cama> Consultado el 29/03/2017.
- CONSTABLE, M., M. Charlton, F. Jensen, R. G. Craig, and W. K. Taylor. 2003. An ecological risk assessment of ammonia in the aquatic environment. Human and Ecological Risk Assessment. *An International Journal*, 9(2):527-548.
- DAWKINGS, M. S., C. A. Donnelly and T. A. Jones. 2004. Chicken welfare is influenced more by housing conditions than by stocking density. *Nature International Weekly Journal of Science*, 427:342-344.
- DONALD J. 1997. Tendencias en el control ambiental en galpones avícolas. *Revista Industria Avícola*, 44(6):10-17.
- EKSTRAND, C., B. Algers, and J. Svedberg. 1997. Rearing conditions and foot-pad dermatitis in Swedish broiler chickens. *Preventive Veterinary Medicine*, 31:167-174.
- FERGUSON, N. S., R. S. Gates, J. L. Taraba, A. H. Cantor, A. J. Pescatore, M. L. Straw, M. J. Ford, and D. J. Burnham. 1998. The effect of dietary protein and phosphorus on ammonia concentration and litter composition in broilers. *Poultry Science*, 77:1085-1093.
- GARCÉS, A., S. M. Afonso, A. Chilundo, and C. T. Jairoce. 2013. Evaluation of different litter materials for broiler production in a hot and humid environment: 1. Litter characteristics and quality. *Journal Applied Poultry Research*, 22:168-176.
- GREENE, J. A., R. M. Mccracken, and R. T. Evans. 1985. A contact dermatitis of broilers-clinical and pathological findings. *Avian Pathology*, 14:23-38.
- GRIMES, J. L., J. Smith, and C. M. Williams. 2002. Some alternative litter materials used for growing broilers and turkeys. *World's Poultry Science Journal*, 58:515-526.
- GROOT, K. P. 1994. Review on emissions of ammonia from housing systems for laying hens in relation to sources, processes, building design and manure handling. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 59:73-87.
- HERNÁNDEZ, B.M., Rodríguez M.C., Lozano C., Castilla P. 2012. *Revista Latinoamericana Biotecnología Ambiental Algal*, 3(1):80-94.
- HESTER, P. Y., D. L. Cassens, and T. A. Bryan. 1997. The applicability of particleboard residue as a litter material for male turkeys. *Poultry Science*, 76:248-255.
- JODAS, S., y H. M. Hafez. 2001. Manejo de la cama y enfermedades relacionadas de los pavos. *Revista Avicultura Profesional*, 19(5):17-21.
- LAZAREVIC, M., R. Resanovic, I. Vucicevic, A. Kpcher, and C. A. Moran. 2014. Effect of feeding a commercial ammonia-binding product De-Odorase on broiler chicken performance. *Journal of Applied Animal Nutrition*, 2(8):1-6.
- MARTÍNEZ-GASPAR, F De J., Ojeda-Barrios D. I., Hernández-Rodríguez A., Martínez-Téllez, J., y De la O Quezada, G. 2011. El exceso de nitratos: un problema actual en la agricultura. *Synthesis. Aventuras del pensamiento*. 57
- MEJIA-ARANGO, Bernardo. 2012. Patología aviar. Mi diagnóstico, su concepto. <http://patologiaaviarimidiagnostico.blogspot.mx/2012/09/amoniaco-causante-del-sindrome-de.html> Consultado el 03-04-2017.
- MEDINA-MORALES, M. Del C. y Cano-Ríos, P. 2001. Contaminación por nitratos en agua, suelo y cultivos en la comarca lagunera. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 2(1):9-14.
- MARTLAND, M. F. 1985. Ulcerative dermatitis in broiler chickens: The effects of wet litter. *Avian Pathology*, 14:353-364.
- MELUZZI, A., C. Fabbri, E. Folegatti, and F. Sirri. 2008b. Survey of chicken rearing conditions in Italy: Effects of litter quality and stocking density on productivity, foot dermatitis and carcass injuries. *British Poultry Science*, 49:257-264.
- MILES, D. M., D. E. Rowe, and T. C. Cathcart. 2011. High litter moisture content suppresses litter ammonia volatilization. *Poultry Science*, 90:1397-1405
- MILES, D. M., W. W. Miller, S. L. Branton, W. R. Maslin, and B. D. Lott. 2006. Ocular responses to Ammonia in Broiler Chickens. *Avian Diseases* 50(1):45-49.
- MILES, D. M., S. L. Branton, and B. D. Lott. 2004. Atmospheric Ammonia is detrimental to the performance of modern commercial Broilers. *Poultry Science* 83:1650-1654.
- MILES, D. M., Owens, P. R., Rowe, D. E. 2006. Spatial variability of litter gaseous flux within a commercial broiler house: ammonia, nitrous oxide, carbon dioxide, and methane. *Poult. Sci.* 85:167-172.
- MILES, D. M., Brooks, J.P., McLaughlin M. R., Rowe, D. E. 2013. Broiler litter ammonia emissions near sidewalls, feeders and waterers. *Poultry Science*, 92:1693-1698.
- NOLLET, L., J. D. Van der Flis, M. Lensing, and P. Spring. 2007. The effect of replacing inorganic with organic trace minerals in broiler diets on productive performance and mineral excretion. *Journal Applied Poultry Research*, 16:592-597.
- PACHECO, A. J., M. R. Sauri y A. S. Cabrera. 1997. Impacto de la Porcicultura en el Medio Ambiente. *Revista Académica de la Facultad de Ingeniería de Yucatán* 1(3):53-58.
- PATTERSON, P., and H. Adrizal. 2005. Management strategies to reduce air emissions: Emphasis-dust and ammonia. *Journal of Applied Poultry Research*, 14(3):638-650.
- RITZ, C. V., B. Fairchild, and M. Lacy. 2004. Implications of Ammonia Production and Emissions from Commercial Poultry Facilities: A Review. *Journal Applied Poultry Research*, 13:684-692.
- RONEY, N., F. Llanos, S. Little, and D. B. Knaebel. 2004. Toxicological Profile of Ammonia. U.S. Department of Health and Human Services. 1-269.

- ROSTAGNO, H. S., L. F. T. Albino y J. L. Donzele. 2011. Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos: Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais. 3ª ed. UFV/DZO, pp 252.
- SAINSBURY, D. 2000. Poultry health and management-chickens, turkeys, ducks, geese, and quail. 4th ed. Oxford, UK: Blackwell Scientific. 204 p.
- SAGARPA. 2009. Situación actual y perspectiva de la producción de carne de pollo en México. SAGARPA.
- SAHOO, S. P., D. Kaur, A. P. Sethi, A. Sharma, and M. Chandra. 2015. Evaluation of *Yucca schidigera* extract as feed additive on performance of broiler chicks in winter season. *Veterinary World* 8(4):556-559.
- SANTIAGO-GÓMEZ, R., Cortés-Cuevas, A., López-Coello C., Ávila-González, E. 2011. Evaluación de tres programas de alimentación para pollos de engorda con base en dietas sorgo-soya con distintos porcentajes de proteína. *Vet. Méx*, 42(4):299-309.
- SIRRI, F., G. Minelli, E. Folegatti, S. Lolli, and A. Meluzzi. 2007. Foot dermatitis and productive traits in broiler chickens kept with different stocking densities, litter types and light regimen. *Italian Journal Animal Science* 6:734-736.
- SOLOMON, S., D. Qin, M. Manning, R. B. Alley, T. Berntsen, N. L. Bindoff, Z. Chen, A. Chidthaisong, J. M. Gregory, G. C. Hegerl, M. Heimann, B. Hewitson, B. J. Hoskins, F. Joos, J. Jouzel, V. Kattsov, U. Lohmann, T. Matsuno, M. Molina, N. Nicholls, J. Overpeck, G. Raga, V. Ramaswamy, J. Ren, M. Rusticucci, R. Somerville, T. F. Stocker, P. Whetton, R. A. Wood, and D. Wratt, 2007: Technical Summary. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- SUNDER, G. S., Ch. V. Kumar, A. K. Panda, M. V. L. N. Raju, and S. V. R. Rao. 2013. Effect of supplemental organic Zn and Mn on broiler performance, bone measures, tissue mineral uptake and immune response at 35 days of age. *Research in Poultry Science*, 3(1):1-11.
- SHAO, D., J. He, J. Lu, Q. Wang, L. Chang, R. S. Shi, and H. T. Bing. 2015. Effects of sawdust thickness on the growth performance, environmental condition and welfare quality of yellow broilers. *Journal Poultry Science*, 94:1-6.
- SØRENSEN, P., G. Su, and S. C. Kestin. 2000. Effects of age and stocking density on leg weakness in broiler chickens. *Poultry Science*, 79:864-870.
- SUMMERS, J. D. 1993. Reducing nitrogen excretion of the laying hen by feeding lower crude protein diets. *Poultry Science*, 72:1473-1478.
- TAIRA, K., T. Nagai, T. Obi, and K. Takase. 2014. Effect of litter moisture on the development of footpad dermatitis in broiler chickens. *Journal of Veterinary Medical Science*, 76:583-586.
- UNIÓN NACIONAL DE AVICULTORES (UNA): <http://una.org.mx/> consultado 27/11/14
- VAN DER SLUIS, W. 2010. El complejo zinc reduce las pododermatitis. *Revista Selecciones Avícolas*, 52(12):18-20.
- WEAVER, W. D., and R. Meuerhof. 1991. The effect of different levels of relative humidity and air movement on litter conditions, ammonia levels, growth and carcass quality for broiler chickens. *Poultry Science*, 70:746-755.
- WORKMAN, D., Yates J., Basden T., Merriner C. y DeGraft-Hanson, J. 2012. Acoplado de un biofiltro: Prototipo intercambiador de calor para un galpón de pollo. Ingeniería Aplicada en Agricultura. <http://www.wattagnet.com/articles/11527-reduccion-de-emisiones-contaminantes-del-aire-en-granjas-avicolas-mediante-un-biofiltro> Consultado el 05-04-2017.
- WYATT, R. 1985. La ventilación en los galpones. *Revista Avicultura Profesional*, 3(2):75-76. 

Este artículo es citado así:

Cohuo-Colli, J. M., J. Salinas-Ruiz, A. S. Hernández-Cázares, J. Valente Hidalgo-Contreras y J. Velasco-Velasco. 2017. El amoniaco en las explotaciones avícolas: efectos sobre las aves y el ambiente. *TECNOCENCIA Chihuahua* 11(2):82-91.

Resumen curricular del autor y coautores

JUAN MANUEL COHUO COLLI. Terminó su licenciatura en 2012, año en que le fue otorgado el título de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables por la Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Realizó su posgrado en el Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, Veracruz, donde obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Innovación Agroalimentaria Sustentable en el 2016, realizó una estancia de investigación en la Universidad Miguel Hernández Campus Orihuela, España en el Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente en el 2016, participación en ponencias dentro del marco del XL Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, así como en ciclos de seminario del Colegio de Postgraduados del Campus Córdoba, participación en el proyecto de inventario de recursos florísticos de la selva baja caducifolia de Ixcamilpa, Puebla en la Universidad Autónoma Chapingo de 2012 a 2013, publicación de artículo sobre emisión de amoniaco, actualmente estudia el Doctorado en Ciencias en Edafología en el área de microbiología de Colegio de Postgraduados Campus Montecillo.

JOSAFHAT SALINAS RUIZ. Terminó su licenciatura en 1999 con el título de Ingeniero Agroindustrial en la Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Estudió la Maestría en Ciencias en Estadística Aplicada en el Colegio de Postgraduados, obteniendo su diploma de grado en marzo del 2003. En agosto del 2014 obtuvo el grado de Doctor of Philosophy (PhD) en el área de Estadística por parte de la Universidad de Nebraska- Lincoln, Estados Unidos de América. Desde julio del 2004 labora en el Colegio de Postgraduados como Académico Investigador en las áreas de Diseños experimentales, Modelación Estadística, Métodos Estadísticos, y Estadística Multivariada. Ha sido asesor de 3 tesis de maestría. Es autor de 1 artículo científico, coautor de 6 artículos y coautor de dos capítulos de libros. Ha fungido como árbitro de artículos científicos de revistas JCR nacionales e internacionales. Imparte y colabora en los cursos de estadística de maestría. Integrante del Núcleo Académico Básico (NAB) en posgrados de maestría del Colegio de Postgraduados, registrados ante el PNP-C-CONACYT. Actualmente está preparando un libro en Modelos Lineales Generalizados Mixtos: Usos y aplicaciones en las ciencias biológicas (80% de avances).

ALEIDA SELENE HERNÁNDEZ CÁZARES. Terminó su licenciatura en 1998, año en que le fue otorgado el título de Ingeniero Agroindustrial por la Departamento de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Realizó su posgrado en México, donde obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Economía en 2002 por el Colegio de Postgraduados y el grado de Doctor en el Programa de Tecnología de Alimentos de la Universidad Politécnica de Valencia en Valencia, España, realizando su investigación en el área de la carne y productos cárnicos en el Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos en el 2010. Desde 2002 labora en el Colegio de Postgraduados Campus Córdoba y posee la categoría de Profesor Investigador Titular. Ha sido miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 2012 (Nivel 1 2012-2014; 2015-2019). Su área de especialización es la ciencia y tecnología de la carne y productos cárnicos, específicamente en aspectos de calidad. Ha dirigido 3 tesis de licenciatura y 7 de maestría. Es autora de 18 artículos científicos y 7 de difusión, varias ponencias en congresos nacionales e internacionales y 2 capítulos de libros científicos; además ha impartido conferencias por invitación y tiene a su cargo 1 proyecto de CATEDRAS CONACYT. Es evaluadora de proyectos de investigación del CONACYT (Fondos institucionales, mixtos y sectoriales). Es árbitro de una revista científica de circulación internacional.

JUAN VALENTE HIDALGO CONTRERAS. Terminó su licenciatura en 1998 con el título de Ingeniero Agroindustrial por la Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Estudió la Maestría en Ciencias en Estadística por parte del Colegio de Postgraduados, obteniendo su diploma de grado en enero del 2003. En agosto del 2014 obtuvo el grado de Doctor of Philosophy (PhD) en el área de Biometría por parte de la Universidad de Nebraska, Estados Unidos de América. Cuenta con una amplia experiencia en la industria de los alimentos, en empresas tanto nacionales (Unidad de Tecnología Lechera, Alpura) como transnacionales (Cargill de México-División Azúcar) en las áreas de: Procesos, Sistemas de Gestión de la Calidad y Seguridad Alimentaria. Desde julio del 2006 labora en el Colegio de Postgraduados como Académico Investigador en las áreas de Métodos Estadísticos, Estadística Multivariada, Diseños de Experimentos y Control Estadístico de la Calidad. Ha dirigido 2 tesis de maestría y asesor de 8 tesis de maestría. Es autor de 2 artículos científicos y coautor de alrededor de 6 artículos. Ha participado en congresos nacionales y fungido como árbitro de artículos científicos de revistas JCR nacionales. Imparte y colabora en los cursos estadísticos de maestría. Es integrante de dos Núcleos Académicos Básicos (NAB) en posgrados de maestría del Colegio de Postgraduados, registrados ante el PNP-C-CONACYT. Ha sido instructor en cursos de actualización a docentes de Institutos Tecnológicos.

JOEL VELASCO-VELASCO. Terminó su licenciatura en 1995, en 1996 le fue otorgado el título de Ingeniero en Agroecología por la Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Realizó posgrado en Edafología, donde obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en 2002 por el Colegio de Postgraduados y el grado de Doctor of Philosophy (PhD) en el área de manejo sustentable de cultivos en 2010 por la Universidad de Plymouth, Inglaterra. Desde 1997 labora en el área de Edafología en el Colegio de Postgraduados Campus Córdoba y actualmente posee la categoría de Profesor Investigador Adjunto. Ha sido miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 2013 (candidato 2013-2017; Nivel 1 2018-2020). Su área de especialización es la emisión de amoniaco, óxido nítrico y CO₂ proveniente de actividades agropecuarias, y la dinámica microbiana y nutrimental en compostaje y vermicompostaje de residuos orgánicos agroindustriales. Ha dirigido 6 tesis de licenciatura y 5 de maestría, y asesorado 2 de doctorado. Es autor de 23 artículos científicos, más de 10 ponencias en congresos, y 3 capítulos de libros científicos. Es evaluador de proyectos de investigación del CONACYT, árbitro de revistas científicas de circulación nacional e internacional y actualmente coordinador de la Maestría en Ciencias en Innovación Agroalimentaria Sustentable perteneciente al PNP-C-CONACYT.