



Revista de CIENCIAS AMBIENTALES

Tropical Journal of Environmental Sciences



Diagnóstico preliminar de los niveles de emisión de amoníaco y sulfuro de hidrógeno en distintas modalidades de producción en granjas avícolas en Costa Rica

Preliminary assessment of the emission levels of ammonia and hydrogen sulfide production in different ways in poultry farms in Costa Rica

Jorge Herrera^a, José Félix Rojas^b y Asdrúbal Bolaños^c

^a Coordinador del Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional, Costa Rica, jorge.herrera.murillo@una.cr. ^b Químico e Investigador e investigador en dicho Laboratorio, jfrojas60@yahoo.com. ^c Ingeniero Químico en la Universidad de Costa Rica, abolanos@ucr.ac.cr.

Director y Editor:

Dr. Eduardo Mora-Castellanos

Consejo Editorial:

Enrique Lahmann, UICN, Suiza
Enrique Leff, UNAM, México
Sergio Molina, Universidad Nacional, Costa Rica
Olman Segura, Universidad Nacional, Costa Rica
Rodrigo Zeledón, Universidad de Costa Rica
Gerardo Budowski, Universidad para la Paz, Costa Rica

Asistente:

Rebeca Bolaños-Cerdas



Diagnóstico preliminar de los niveles de emisión de amoníaco y sulfuro de hidrógeno en distintas modalidades de producción en granjas avícolas en Costa Rica

Jorge Herrera, José F. Rojas y Asdrúbal Bolaños

J. Herrera, especialista en química y física de la atmósfera, es coordinador del Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional (Costa Rica) (jorge.herrera.murillo@una.cr). J. Rojas, químico, es investigador en el mismo Laboratorio (jfrojas60@yahoo.com). A. Bolaños es ingeniero químico de la Universidad de Costa Rica (abolanos@ucr.ac.cr).

Resumen

Se realizó la caracterización de las emisiones de amoníaco y sulfuro de hidrógeno generadas en las diferentes modalidades de producción dada en granjas avícolas existentes en Costa Rica. Se encontró que las granjas de producción de huevos poseen las emisiones más importantes, debido a que, en su mayoría, utilizan sistemas de manejo tipo jaula con fosa que generan una alta emisión de amoníaco (16 ppm). Mientras, las granjas de engorde presentaron las emisiones más bajas, como consecuencia de que, casi en su totalidad, usan sistemas de manejo abierto, los cuales son de baja emisión (6 ppm). No se encontraron concentraciones significativas de

Abstract

A characterization of the ammonia and hydrogen sulfide emissions generated by different production models in poultry farms of Costa Rica was carried out. It was found that egg production farms have the largest emissions since they mostly use management systems based on cages with pits which generates a high emission of ammonia (16 ppm). While the fattening farms had the lower emissions since they mostly use open systems, which are low ammonia emission models (6 ppm). There were no significant concentrations of hydrogen sulfide in the evaluated models, except when a mechanical removal of mounds of chicken manure,

Introducción

En el interior de las granjas avícolas se generan emisiones capaces de afectar la salud de trabajadores y de vecinos. Estas suelen ser una mezcla de gases (amoníaco y sulfuro de hidrógeno), compuestos orgánicos volátiles (COV) y partículas. Los efectos causados son esencialmente los mismos sobre seres humanos y animales (MAPA, 2006).

La mayoría de los gases producidos por la actividad agropecuaria se genera como consecuencia de procesos naturales tales como el metabolismo animal y la degradación de las heces y la orina. Su emisión depende de diferentes factores asociados al diseño y mantenimiento de las instalaciones, así como de la gestión que se realice durante los procesos de almacenamiento, tratamiento y reutilización agrícola de los desechos. Esto ha ocasionado que algunas actividades

sulfuro de hidrógeno, excepto cuando se hizo la remoción mecánica del apilamiento de excretas almacenadas por varias semanas y se hallaron picos de emisión de hasta 163 ppm. La dispersión atmosférica de las emisiones de amoníaco fue modelada utilizando el AERMOD (USEPA), para evaluar el impacto en los alrededores. Se encontró cumplimiento con el reglamento de inmisiones a distancias más allá de los perímetros de las granjas; sin embargo, en algunos casos es posible sobrepasar el límite de detección olfatoria que normalmente representa una de las quejas más comunes por este tipo de actividades.

Palabras clave: amoníaco, emisiones de fuentes de área, granjas avícolas, modelo de dispersión atmosférica, olores.

with several weeks of storage, took place. A peak of 163 ppm of hydrogen sulfide was observed during the process. The ammonia emissions were modeled for some farms using an atmospheric dispersion model, AERMOD (USEPA), to determine the impact in the surroundings. Using the results of the validated model, it was found that the ammonia concentrations around the farms met the local regulation for air quality. But in some cases is highly probable to exceed the odor threshold for ammonia, which is one of the main complaints of the population living around this kind of agricultural and livestock activities.

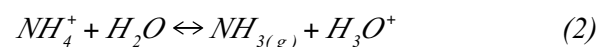
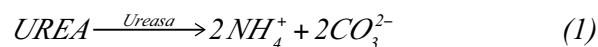
Keywords: ammonia, area source emissions, atmospheric dispersion model, odours, poultry farms.

generen conflictos con las comunidades vecinas por diversas razones; una de ellas, las quejas por olores.

El olor es uno de los impactos más perceptibles generados por las actividades productivas en el sector avícola y, por lo tanto, es el problema más sentido por la población. Se debe distinguir entre las sustancias olorosas (compuestos capaces de producir olor) y el olor (percepción del efecto de una sustancia olorosa cuando el sistema olfativo la detecta). Por lo tanto, es una cuestión subjetiva pero necesaria de abordar, puesto que es la principal fuente de molestias para las poblaciones cercanas, que reduce su calidad de vida e incluso devalúa las propiedades colindantes.

De los compuestos químicos presentes en los desechos agropecuarios que contribuyen a la generación de malos olores, cabe destacar el amoníaco, el sulfuro de hidrógeno y los compuestos orgánicos volátiles. Estos últimos se generan en el intestino grueso por la acción de las bacterias anaeróbicas sobre los carbohidratos, proteínas y ácidos grasos. Hasta el momento, se identifican más de 150 compuestos con olores desagradables, algunos de los cuales tienen límites de detección muy bajos (por debajo de 1 ppb). Por esta razón, es muy complicado medir el olor y mucho más regularlo a través de un reglamento objetivo (Wark, 2008).

En las aves, el amoníaco proviene de las excretas, que se constituyen principalmente en ácido úrico, y en la mayoría de las condiciones se transforma rápidamente en urea. Seguidamente, ocurre la hidrólisis de la urea por la acción de la enzima ureasa liberada por ciertos grupos de bacterias eliminadas con las heces, como se observa en las siguientes ecuaciones (1 y 2).



Cuadro 1. Principales compuestos relacionados con olores en granjas avícolas

Sustancia	Olor	Densidad (g/L)	Valor límite (ppm)	Impacto en los animales
H ₂ S	Huevo podrido	1,54 (más pesado que el aire)	10	< 2 ppm: cambios fisiológicos y de comportamiento. 2-5 ppm: irritación respiratoria. > 800 ppm: letal.
NH ₃	Punzante	0,77 (más ligero que el aire)	25	> 20 ppm: irritación de las vías respiratorias. > 20 ppm: cefaleas. > 5000 ppm: letal.

Los principales factores involucrados en el equilibrio químico de la última ecuación son: la temperatura de la excreta, la temperatura ambiente, la ventilación, el pH de la excreta, su contenido en amonio, el grosor de la capa de excretas y la superficie de contacto excreta-aire (MAPA, 2006).

El amoníaco es un gas irritante con un olor característico (picante), incoloro y más ligero comparado al aire. La concentración habitual en las explotaciones oscila entre 5 y 20 ppm. Concentraciones superiores producen irritación nasal y ocular. A partir de 50 ppm producen cefaleas. No es letal hasta los 5000 ppm. Se describe en numerosas ocasiones que a partir de 30 ppm lleva a disminuir la ingesta y las producciones, tanto de huevos como de carne. De igual modo, se describe su capacidad, en condiciones experimentales, de facilitar las infecciones por virus y micoplasmas (MAPA, 2006).

La volatilización del amoníaco de cualquier operación de AFO (por sus siglas: Animal Feeding Operations) varía significativamente dependiendo de la concentración de este gas, de la temperatura, del pH y del tiempo de almacenaje total. Las emisiones dependerán de la cantidad del amoníaco-nitrógeno disponible en disolución para poder reaccionar y producir amoníaco, o bien generar el amonio ionizado (NH₄⁺), el cual es permanente. En la disolución, el equilibrio entre el amoníaco ionizado (NH₄⁺) y la especie no ionizada (NH₃) se controla por el pH y la temperatura. Bajo condiciones ácidas (valores de pH de menos de 7,0), el amonio es la especie predominante y la

volatilización del amoníaco ocurre a una tasa más baja con respecto a valores de pH más altos.

Sin embargo, una cierta volatilización del amoníaco ocurre incluso bajo condiciones moderadamente ácidas. Bajo condiciones ácidas, el amoníaco que se volatiliza será remplazado, debido al reestablecimiento continuo del equilibrio entre las concentraciones de la especie ionizada y no ionizada del gas en la disolución. Conforme el pH aumenta por encima de 7, la concentración del amoníaco aumenta al igual que el índice de la volatilización de este (USEPA, 2001).

El otro contaminante importante generado por las actividades agropecuarias es el sulfuro de hidrógeno, el cual tiene su origen en los procesos de reducción anaeróbica de determinados aminoácidos azufrados (metionina y cistina) y presenta un olor característico a huevos podridos. Es incoloro y más denso que el aire. Por esta razón, se concentra en las partes bajas (fosos) de cualquier estructura de contención. Aunque se produce en cantidades muy pequeñas, es el gas más tóxico que se puede originar en las explotaciones agropecuarias. Puede afectar desde concentraciones bajas (< 1 ppm), dependiendo del tiempo de exposición, y causa cambios de comportamiento y fisiológicos (cambios en la frecuencia de alimentación, incremento del ritmo cardiaco y de la frecuencia respiratoria). A partir de 50 ppm causa náuseas, vómitos y afectación del sistema nervioso con pérdida de conciencia. Termina siendo letal a partir de 800 ppm, debido al edema pulmonar que ocasiona (MAPA, 2006).

Es difícil encontrar concentraciones elevadas de sulfuro de hidrógeno en las explotaciones avícolas. El mayor peligro se produce cuando se manipula el lecho acumulado en los fosos de eyecciones (excretas) durante períodos largos. En el momento del vaciado se pueden producir picos en la liberación de este gas que pueden resultar tóxicos. También los trabajadores deben tener cuidado cuando ingresan a las fosas de almacenamiento, especialmente cuando sean cubiertas. Diferentes organizaciones de seguridad en el trabajo recomiendan no superar los 20 ppm (MAPA, 2006). En el siguiente cuadro se resumen las principales características del amoníaco y del sulfuro de hidrógeno.

Aunque en las explotaciones intensivas se manejan densidades muy elevadas de animales, en algunos sistemas de manejo no se suelen encontrar concentraciones muy elevadas de los gases señalados, ya que se eliminan al exterior mediante los sistemas de ventilación mecánica con que suelen contar este tipo de instalaciones.

En el sector avícola costarricense se distinguen cuatro principales modalidades de producción de alto impacto:

- Granjas de reproducción e incubación integradas.
- Crianza y desarrollo de aves de reemplazo.
- Granjas para la producción de huevos de consumo.
- Granjas para la producción de pollos de engorde.

En forma complementaria a las anteriores modalidades de producción, se han desarrollado las fábricas dedicadas a la elaboración de alimentos avícolas, las plantas destinadas exclusivamente a la incubación comercial de huevos fértiles y plantas para el procesamiento de pollo de engorde y gallinas que han finalizado su ciclo productivo. En Costa Rica las modalidades de la empresa avícola que han alcanzado mayor grado de expansión son las de producción de huevos

para consumo y la de producción de pollos de engorde (*broiler*). En estos modelos de producción normalmente se manejan 3 sistemas de explotación (Vaca, 2003):

- Tipo familiar.
- Semiconfinamiento.
- Confinamiento total.

Sistema de explotación de tipo familiar: se practica principalmente en áreas rurales y semiurbanas. En las casas se mantienen, en el patio o en galerones, algunas gallinas y pollos para consumo interno y así se complementa con carne y huevos la dieta familiar. Los excedentes de los productos no consumidos se venden para aumentar el ingreso del hogar (Vaca, 2003).

Sistema de explotación en semiconfinamiento: implica un mayor grado de inversión inicial y de tecnología comparado a la explotación de tipo familiar. Se practica con mayor frecuencia en sitios donde el valor de la tierra no es muy elevado y se cuenta con extensiones de terreno con pastos naturales, que pueden suplir, en parte, la alimentación de las aves. Las construcciones que se emplean para alojarlas durante la noche consisten, generalmente, en una caseta o galpón rodeado por un área verde. El perímetro del área verde se delimita por una cerca de alambre, que impide a las aves alejarse del sitio de confinamiento (Vaca, 2003).

Sistema de explotación en confinamiento total: las aves permanecen confinadas bajo techo durante toda su vida. Con esto se pretende controlar, hasta en sus menores detalles, los factores que más influyen en la productividad de las aves, tales como la salud, la alimentación y el manejo del potencial productivo (Vaca, 2003).

Este último sistema es uno de los más utilizados en los modelos de explotación intensiva de Costa Rica, donde el tipo de caseta o galpón utilizado varía, los más comunes son los siguientes tres tipos:

- Sistemas de casetas de ambiente controlado.
- Sistemas de casetas de ambiente semicontrolado.
- Sistemas de casetas abiertas.

Las diferencias entre ellos están en la forma de hacer un control de la temperatura y la humedad interna, según la ubicación geográfica (condiciones meteorológicas locales), para garantizar las condiciones suficientes que permitan un hábitat óptimo para las aves, con el fin de mantener un alto índice de producción. Esta variable hace una diferencia importante en las tasas de emisión de compuestos químicos relacionados con olores molestos.

Existen distintos tipos de medidas que pueden implementarse para el control de los olores en las granjas avícolas. Algunos de ellos obedecen al sistema de manejo y operación desarrollado en el galpón y otros a las medidas de índole nutricional. Estas últimas son muy adecuadas por su efectividad en minimizar las emisiones, su facilidad de incorporación en la rutina de manejo de la explotación y porque además resultan económicamente viables, cuando no claramente favorables en ahorro de costos. Entre las medidas relacionadas con el tipo de manejo están las basadas en la remoción de la gallinaza (excretas) de la galera o del galpón, de cada tres a cuatro días (Fernández, 2007). Sin embargo, antes de implantar alguna medida, es necesario primero conocer cómo se comportan las emisiones para los diferentes tipos de manejo que pueden darse en los galpones y así poder escoger la decisión más eficiente para cada caso.

El presente estudio busca hacer un diagnóstico de cómo los distintos tipos de manejo en el sector avícola afectan las emisiones de amoníaco y sulfuro de hidrógeno, reconocidos compuestos químicos relacionados con problemas de olores molestos.

Metodología

Para el estudio se escogieron distintas granjas que contaran con las principales modalidades de operación más utilizadas en Costa Rica:

- Granjas de reproducción.
- Granjas para la producción de huevos para consumo.
- Granjas para la producción de pollos de engorde.

Además, para cada modalidad de operación se estudió las emisiones de los principales sistemas de explotación intensiva, los cuales son:

- Sistema de galpones de ambiente semicontrolado.
- Sistema de galpones abiertos.

Tomando en cuenta los criterios mencionados, se hizo un diseño experimental, acorde con los recursos disponibles para el estudio. Este contempló la visita a ocho granjas avícolas distribuidas en cinco provincias, con lo que se muestreó un total de treinta y un galpones. La campaña de muestreo abarcó de junio a setiembre del 2008. En el cuadro 2 se muestra, de manera resumida, el diseño experimental utilizado.

Para los muestreos de amoníaco y sulfuro de hidrógeno, se utilizó un analizador multiparámetros automático, marca RAE, modelo Sentry PGM-5010 MULTI-GAS MONITOR, el cual cuenta con sensores electroquímicos específicos con una resolución de 1 ppmv. Antes de cada día de muestreo se calibró el equipo empleando cilindros de concentración certificada. Además, durante los muestreos, después de cada 15 minutos de medición continua, se hizo una calibración del cero con aire fresco para evitar saturar los sensores (SentryRae, 2002). Este equipo se colocó a una altura no mayor a 10 centímetros con respecto al nivel del lecho, debido a que el sulfuro de hidrógeno es aproximadamente 1,54 veces más denso que el aire en condiciones normales, por lo que tiende a estar cerca del suelo.

Cada galpón seleccionado fue dividido en una cuadrícula de ocho partes y se hicieron mediciones en el centro de cada cuadrícula en intervalos de 15 minutos, en la mañana de las 9.00 h a

Cuadro 2. Identificación de los sitios de muestreo

Modalidad	Identificación de granja	Identificación de galpón	Sistema de explotación
Granja de reproducción	I	A	Abierto
		B	Túnel
		C	Túnel
		D	Abierto
Granja de reproducción	II	A	Enfriamiento evaporativo
		B	Abierto
		C	Abierto
Granja de reproducción	III	A	Enfriamiento evaporativo
		B	Enfriamiento evaporativo
		C	Enfriamiento evaporativo
		D	Enfriamiento evaporativo
Granja de pollos de engorde	IV	A	Abierto
		B	Abierto
		C	Abierto
		D	Abierto
		E	Fogger
		F	Abierto
		G	Abierto
Granja de producción de huevos (crecimiento de gallina para puesta)	V	A	Jaula con fosa
		B	Jaula con banda transportadora de gallinaza
		C	Galpón de tratamiento de la gallinaza de VB
Granja de producción de huevos (crecimiento de gallina para puesta)	VI	A	Abierto
		B	Abierto
		C	Abierto
		D	Abierto
Granja de producción de huevos (gallina ponedora)	VII	A	Jaula con fosa
		B	Jaula con fosa
		C	Jaula con fosa
		D	Jaula con fosa
Granja de reproducción	VIII	A	Jaula con fosa
		B	Jaula con banda transportadora de gallinaza

Cuadro 3. Promedios obtenidos para el galpón VIIA

Cuadrícula	Concentración promedio de NH ₃ (ppm)		Concentración promedio de H ₂ S (ppm)		Tamaño de la muestra	
	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde
1	11 (1)	20 (6)	ND	ND	8	8
2	12 (1)	13 (2)	ND	ND	8	8
3	24 (2)	22 (2)	ND	ND	8	8
4	30 (12)	29 (2)	ND	ND	8	8
5	38 (3)	16 (1)	ND	ND	8	8
6	37 (5)	22 (1)	ND	ND	8	8
7	34 (3)	29 (4)	ND	ND	8	8
8	12 (2)	26 (1)	ND	ND	8	8
9	23 (1)	46 (2)	ND	18 (32)	8	40
10	25 (4)	26 (3)	ND	1 (1)	8	8

(): desviación estándar del valor.

ND: no detectable, < 1 ppm.

las 12.00 h y en la tarde de las 13.00 h a las 16.00 h. De esta manera, se obtuvo un promedio de los flujos de emisión. Además, se registraron las dimensiones de los galpones y variables meteorológicas locales como dirección y velocidad del viento, temperatura y presión barométrica ambiental. Dentro de los galpones se registró la humedad y la temperatura.

Resultados y discusión

De los galpones muestreados entre las ocho granjas, en tan solo un galpón el equipo registró la presencia de sulfuro de hidrógeno en el aire interno. Se dio para el galpón VIIA, el cual era atípico a todos los muestreados en este proyecto, ya que poseía un área extra utilizada como bodega, en donde se depositaba, en forma de montículos, la gallinaza conforme se iba recogiendo dentro del sistema durante el ciclo de operación del galpón. Estos montículos poseían un estimado de cincuenta semanas y, con el fin de muestrear el galpón por completo, se efectuaron mediciones en esta misma área, se dividió en dos cuadrantes extra del galpón (cuadrantes 9 y 10) y, como se podrá observar en los resultados, el sulfuro de

hidrógeno fue medible en el ciclo de la tarde. Los resultados para este galpón en específico se muestran en el cuadro 3.

En los cuadrantes 9 y 10, en el ciclo de la tarde, a diferencia del de la mañana, el personal de la empresa efectuó la remoción completa de los montículos de gallinaza. Esto incluso generó, para horas de la tarde, que en el cuadrante 9 se registrase un pico de concentración máxima de 163 ppm de sulfuro de hidrógeno en el aire.

La presencia del sulfuro de hidrógeno en este galpón, a diferencia de todos los demás medidos, se explica por el hecho de que la gallinaza, al llevar cincuenta semanas de estarse acumulando y no haber sido tratada con el fin de eliminar los microorganismos, permitió el desarrollo de distintos procesos microbiológicos responsables de degradar los compuestos sulfurados presentes en las eyecciones de las aves, lo que produjo el sulfuro de hidrógeno. Esta emisión se detectó solo cuando se dio el proceso de extracción del montículo, porque esta sustancia química, al ser más densa que el aire, se acumuló en los sectores inferiores de los montículos y que por la misma acción mecánica de la remoción se dispersó el sulfuro de hidrógeno al aire.

Cuadro 4. Concentraciones promedio de amoníaco obtenidas para el galpón IA

Cuadrícula	Concentración promedio de NH ₃ (ppm)		Desviación estándar		Tamaño de la muestra	
	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde
1	7	19	3,16	2,70	7	7
2	5	9	0,82	1,58	8	8
3	9	11	2,06	2,60	7	7
4	4	14	0,64	2,30	8	8
5	6	11	0,46	1,16	7	7
6	13	13	3,53	1,41	8	8
7	15	11	4,33	1,68	7	7
8	12	13	3,28	0,76	8	8

Para el caso del amoníaco, en el cuadro 4 de resultados se observa una tendencia generalizada para todos los galpones, donde la concentración promedio del amoníaco es mayor por la tarde en relación con la mañana, y se dan los valores más altos en las horas más cercanas al medio día. Esto se debe a la presencia de temperaturas más altas, lo cual aumenta el flujo de emisión del amoníaco acumulado en los lechos por las excreciones de las aves. Además, se determinó, para todos los casos, lo independiente de esta tendencia del cuadrante en donde se haga la medición.

En el cuadro 5 se observa cómo varía la concentración de amoníaco de acuerdo con el sistema de manejo (confinamiento) utilizado. Los galpones de tipo jaula con fosa presentaron la mayor emisión, debido a que las excretas son recolectadas en una fosa común ubicada debajo de las hileras de jaulas, y no son removidas durante la estancia de las aves.

Esta circunstancia genera una acumulación importante que provoca la alta emisión de amoníaco. En contraste, los galpones de jaula con banda presentan una emisión mucho más baja, debido a que las excretas son constantemente removidas fuera de este hacia una zona de confinamiento para su tratamiento. Los galpones dedicados al tratamiento de la gallinaza presentan la siguiente emisión más importante, debido al cúmulo de las excretas y a la

descomposición de las especies nitrogenadas. En el caso de los galpones tipo túnel, al ser de ambiente controlado, están completamente cerrados y cuentan con abanicos de alta capacidad para poder controlar la temperatura interna, pero al mismo tiempo favorecen el gradiente de difusión del amoníaco en el suelo hacia el ambiente interno, lo cual explica las altas emisiones observadas. Los sistemas de manejo por enfriamiento evaporativo y el sistema “fogger” mostraron concentraciones intermedias, sin embargo, no son los tipos de manejo más utilizados. Los sistemas de tipo abierto mostraron los niveles más bajos, esto puede

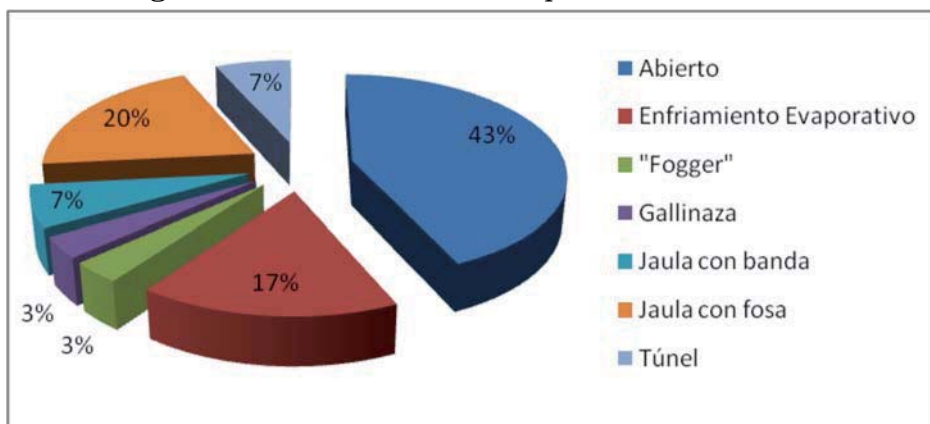
Cuadro 5. Promedios obtenidos de acuerdo con el tipo de confinamiento en el galpón

Tipo de manejo	Concentración promedio NH ₃ (± 0,3 ppm)
Abierto	5,9
Enfriamiento Evaporativo	8,9
“Fogger”	8,4
Tratamiento de la gallinaza	14,9
Jaula con banda	6,3
Jaula con fosa	15,5
Túnel	10,5

explicarse al estar los galpones completamente abiertos en sus costados (mallas), lo que permite una muy buena ventilación natural por corrientes de aire. Estos sistemas son de los más utilizados por ser prácticos y de bajo costo de mantenimiento; para el estudio representaron un 43 % de los sistemas evaluados entre las ocho granjas seleccionadas (figura 1).

Desde el punto de vista de análisis de acuerdo con el tipo de granja (cuadro 6), las de producción de huevos presentaron la mayor emisión de amoníaco, hecho que se explica por la preferencia de estas a utilizar sistemas de manejo de jaula con fosa, las cuales poseen la emisión más importante de todas. En

Figura 1. Distribución de los tipos de confinamiento



para determinar si existe o no diferencia significativa entre las concentraciones de amoníaco obtenidas. En el cuadro 7 se resumen los resultados estadísticos del análisis de varianza aplicado.

Para ambos casos, se obtuvo que $F_{\text{calculado}} >$

$F_{\text{crítico}}$ por lo que sí existe diferencia significativa entre los sistemas de manejo y entre los tipos de granja, en cuanto a las concentraciones de amoníaco encontradas. Estas diferencias pueden explicarse según lo discutido anteriormente por las características de cada sistema de manejo de acuerdo con el tipo de granja, que poseen un impacto importante en las emisiones netas de amoníaco.

Finalmente, se hizo un estudio para determinar si los flujos de emisión estaban de alguna manera influenciados por la temperatura y humedad relativa interior en el galpón, pues estos parámetros se controlan muy bien en algunos sistemas de explotación con ambientes estabilizados.

Cuadro 6. Promedios obtenidos de acuerdo con el tipo de granja

Tipo de granja	Concentración promedio de NH_3 (\pm 0,3 ppm)
Engorde	4,6
Huevos	11,5
Reproducción	9,3

un caso similar al anterior, pero opuesto, las granjas de engorde mostraron los valores más bajos de amoníaco al preferir los sistemas de manejo abierto en más del 90 % de los casos, los cuales tienen la emisión más baja del gas. Para las granjas de engorde, existe una combinación más variada de los sistemas de manejo, por lo que presentaron una concentración intermedia.

Tanto a los datos logrados por tipo de sistema como por tipo de granja se les aplicó un análisis estadístico ANOVA de un factor

Cuadro 7. Resultados del ANOVA de un factor

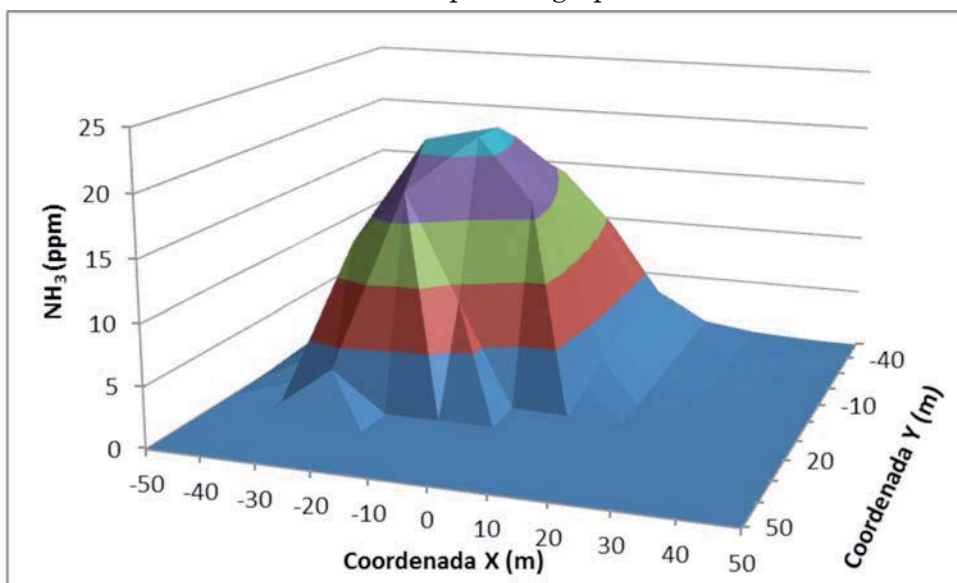
Parámetro	Valor de F obtenido	Valor de F crítico	Resultado
Tipo de granja	3,8140	3,3541	Sí existe diferencia significativa
Tipo de manejo	3,2109	2,5276	Sí existe diferencia significativa

El análisis de los datos se hizo a través de estudios de correlación y regresión múltiple lineal. Este tipo de análisis indica el grado de relación simultáneo entre dos variables, aunque no exista distinción entre la variable independiente y la dependiente, lo que permite obtener una expresión matemática que las asocie (Pérez, 2008). Como resultado, se encontró una fuerte correlación entre la temperatura y la concentración de amoníaco, al obtenerse coeficientes de correlación superiores a 0,90; por otro lado, la humedad relativa no mostró correlación alguna ($R < 0,5$). Es claro que la temperatura juega un papel fundamental en los flujos de emisión, pues está relacionada con un aumento en las tasas de volatilización del amoníaco, y en la aceleración de cinéticas de descomposición de materia orgánica. Aplicando una regresión lineal para los datos de temperatura y concentración de amoníaco se obtuvo la siguiente relación:

$$E = 1,107 + 0,346 * T \quad (3)$$

Donde: E = emisiones de amoníaco, ppm.
T = temperatura, °C.

Figura 2. Modelado de la dispersión de las emisiones de amoníaco para el galpón V-C



A través de este modelo de regresión lineal es posible conocer de forma rápida la presencia de amoníaco dentro del galpón, utilizando la variable de temperatura interior.

Modelación de las emisiones

Para determinar el impacto de las emisiones de amoníaco generadas por las granjas avícolas, se utilizó un modelo de dispersión atmosférica llamado AERMOD, el cual fue desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), con el propósito de evaluar la distribución de concentraciones de contaminantes alrededor de una fuente de emisión puntual o de área, tomando en cuenta características propias de la fuente y de la meteorología local.

A través del modelado de las emisiones se puede establecer la distancia de la granja a la cual las concentraciones de amoníaco son máximas y podrían tener algún efecto perjudicial sobre la población que habita en ese radio de acción. En la figura 2, se muestra una gráfica en tres dimensiones de los resultados arrojados por el modelo para el galpón V-C (cuadro 8), el cual presentó las mayores emisiones de amoníaco durante la etapa de muestreos. En este caso, las concentraciones máximas (alrededor de 20 ppm) se alcanzaron entre los 10 y 20 metros en la dirección predominante del viento. Los resultados del modelo fueron validados mediante mediciones perimetrales de amoníaco alrededor de tres granjas seleccionadas (II, VI, VII) y se encontró una concordancia aceptable.

No es posible establecer una sola distancia recomendada para todos los casos, pues esta depende del flujo de emisión para cada tipo de granja, de acuerdo con el sistema de explotación. Además, están involucradas variables

meteorológicas, las cuales son propias de cada lugar y exhiben distintos comportamientos estacionales, por lo que cada caso es distinto. Sin embargo, el modelo representa una herramienta valiosa para evaluar el impacto de estas actividades sobre la calidad del aire en sus alrededores.

En ninguno de los casos, los niveles máximos de amoníaco generados por el modelo exceden los límites establecidos por el Reglamento sobre Inmisión de Contaminantes Atmosféricos (Decreto n.º 30221-S); sin embargo, esta normativa está diseñada para evaluar calidad del aire y no niveles de olor en particular. Si tomamos en cuenta que el rango de detección olfativa del amoníaco está entre 5 y 50 ppm, es posible que en algunos casos se llegue a percibir el olor a distancias superiores a 50 metros, desde la granja. En el Reglamento sobre Granjas Avícolas (Decreto n.º 31088-S) se definen distancias de retiro para las instalaciones de 15 metros, con respecto a las líneas de colindancia vecina y vías públicas (medido horizontalmente), y 100 metros en el caso de establecimientos de salud, educativos y de adultos mayores. Este criterio no toma en cuenta los distintos flujos de emisión que pueden encontrarse de acuerdo con el tipo de manejo, ni tampoco la meteorología local donde el arrastre del viento determina las distancias a las cuales podría observarse afectación alguna. Por esta razón, las distancias establecidas en el reglamento podrían ser suficientes en algunos casos y en otros no. El uso de modelos de dispersión atmosférica podría ayudar a establecer una distancia adecuada en una forma más objetiva.

Cuadro 8. Matriz de resultados de la modelación de inmisiones de amoníaco (ppm) para el Galpón V-C utilizando el AERMOD.

		Coordenada X (m)										
		-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50
Coordenada Y (m)	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	20	0	0	3,3	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0,6	12,9	17,5	8,7	0,1	0	0	0	0	0
	0	0,2	1,8	13,2	21	21,5	16,4	0,6	0	0	0	0
	-10	0,4	2,5	12,8	20,3	21,5	15,1	2,1	0,2	0	0	0
	-20	0,6	3	11,8	18,6	19,9	13,7	2,8	0,4	0,1	0	0
	-30	0,7	3,4	10,9	16,7	17,8	12,1	3,1	0,6	0,2	0	0
	-40	0,9	3,6	10	15	15,8	10,7	3,3	0,8	0,2	0,1	0
	-50	1	3,7	9,2	13,5	14,1	9,5	3,3	0,9	0,3	0,1	0

Conclusiones y recomendaciones

- De los compuestos más importantes relacionados con olores emitidos en granjas avícolas, solo se encontró, en concentraciones significativas, la presencia de amoníaco. Las emisiones de sulfuro de hidrógeno, con los tipos de manejo estudiados, son poco comunes y solo en casos especiales pueden darse (retiro de los montículos). Sin embargo, en esas ocasiones (caso del galpón VIIA) pueden presentarse picos importantes con concentraciones relativamente altas que podrían generar molestias tanto a trabajadores como a vecinos.
- De forma general, los picos de emisión de amoníaco se observan en horas cercanas al mediodía, cuando las temperaturas ambientales promedio son mayores.
- El análisis estadístico de tipo ANOVA de un factor nos confirma la existencia de una diferencia significativa en las emisiones de

- amoníaco, de acuerdo con el tipo de granja y con el tipo de manejo.
- De los tipos de manejo estudiados, se encontró que las jaulas con fosa presentaron las emisiones más importantes de amoníaco, mientras los sistemas abiertos mostraron las más bajas. En todos los casos influyen factores importantes como la cantidad y el tiempo de apilamiento de las excretas dentro del galpón, la temperatura, así como el grado de ventilación, ya sea natural o forzada.
 - Si se analiza la información de acuerdo con el tipo de granja estudiada, las granjas de producción de huevos poseen las emisiones más importantes, debido a su mayor uso de sistemas de manejo tipo jaula con fosa. Mientras, las granjas de engorde presentaron las emisiones más bajas por la aplicación, casi en su totalidad, de sistemas de manejo abierto, los cuales son de baja emisión.
 - Es importante, también, evaluar el factor económico-productivo a la hora de escoger un sistema u otro como ideal en su aplicación, y no solo tomando en cuenta su capacidad de emisión de compuestos químicos relacionados con olores.
 - La fuerte correlación de las emisiones con la temperatura nos dice que podemos utilizar este parámetro para controlar de alguna manera las emisiones, como una opción entre muchas, para evitar tener problemas, en el nivel perimetral, por olores.
 - La ausencia generalizada del sulfuro de hidrógeno nos indica la necesidad de explorar otros compuestos químicos que estén relacionados con los malos olores característicos de las granjas avícolas, principalmente compuestos orgánicos volátiles.
 - El uso de modelos de dispersión atmosférica es clave para establecer las distancias mínimas de retiro con respecto a la población, para minimizar el impacto de estas actividades.
 - En una siguiente etapa de investigación se buscará determinar la influencia del tipo de lecho o cama en las emisiones de amoníaco, partículas y compuestos orgánicos volátiles.

Referencias

- Fernández, M. (2007) *Las Mejores Técnicas Disponibles (MTD)*. España: INPROVO.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2006) *Asistencia Técnica para la Implantación de la Directiva IPPC en España*. Madrid: MAPA.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2006) *Las mejores técnicas disponibles del sector de avicultura carne y puesta*. Madrid: MAPA.
- Pérez, H. (2008) *Estadística para las Ciencias Sociales: del comportamiento y de la salud*. México D. F.: Cengage Learning Editores.
- SentryRae. (2002) *Operation & Maintenance Manual: SentryRAE PGM-5010 Multi-gas monitor*. California: RAE SYSTEMS, Inc.
- USEPA. (2001) *Emissions from animal feeding operations*. Estados Unidos: USEPA.
- Vaca, L. (2003) *Producción Avícola*. San José: EUNED.
- Wark, K. (2008) *Contaminación del Aire: Origen y Control*. México: Limusa.