



**UNIVERSIDAD DE MURCIA**

**Facultad de Veterinaria**

**“ESTUDIO DE LA TASA DE VENTILACIÓN, EMISIÓN  
DE GASES Y COMPOSICIÓN DE LA YACIJA EN  
GRANJAS COMERCIALES DE POLLOS DE CARNE DEL  
SURESTE ESPAÑOL”**

Tesina de Licenciatura presentada por D. Miguel José López Asensio

Departamento de Producción Animal

**2009**

## AGRADECIMIENTOS

---

Es mi deseo agradecer muy sinceramente la oportunidad ofrecida por todos los integrantes de la Unidad Docente de Nutrición Animal para la elaboración de esta Tesina de Licenciatura.

A la Profesora Dña. Fuensanta Hernández Ruipérez, directora de esta Tesina, quien con su habitual saber y entrega ha hecho posible la culminación de este trabajo.

A la Profesora Dña. Josefa Madrid Sánchez, codirectora de esta Tesina, quien con extrema generosidad ha puesto a mi disposición todos sus esfuerzos y conocimientos necesarios para la elaboración de esta Tesina.

Al Profesor D. Juan Orengo Femenía, quien con gran amabilidad ha respondido a cuantas dudas me surgieron y tuve a bien plantearle.

Al resto de compañeros que me han ayudado, gracias.

A D. Antonio Pelegrín Pardo, quien desinteresadamente siempre ha estado dispuesto a ayudarme con sus enormes conocimientos tecnológicos.

Al Centro de Estudios e Investigación para la Gestión de Riesgos Agrarios y Medioambientales (CEIGRAM), cuya Comisión de Evaluación resolvió favorablemente la adjudicación de una beca para la realización de esta Tesina.

A la empresa murciana Avícola Levantina S. A. por haber costeado y cedido sus instalaciones para este estudio.

A mis Padres, Félix y María Dolores, quienes aún siendo mayores, continúan ayudándome en mis estudios cada día.

A mi esposa, Inmaculada, por apoyarme incondicionalmente en mi toma de decisiones aunque estas supongan una mayor carga de trabajo para ella.

A mis hijos, Antonio Miguel e Inma, por ser la mayor alegría de mi vida.

# ÍNDICE

---

<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
I.1. Producción de avicultura de carne en España y medio ambiente .....	2
I.1.1. Estado de desarrollo de la producción avícola.....	2
I.1.2. Producción e implicaciones medioambientales.....	5
I.2. Naturaleza de las emisiones generadas en granjas avícolas .....	8
I.2.1. Tipos de emisiones .....	8
I.2.2. Base legal y niveles de emisión en la UE .....	15
I.3. Monitorización de las emisiones .....	20
I.3.1. Medida de la tasa de ventilación .....	21
I.3.2. Medida de la concentración de gases en naves .....	22
I.4. La yacija: composición y aditivos .....	23
I.4.1. Composición de la yacija .....	23
I.4.2. Correctores de yacija.....	25
<b>II. OBJETIVOS</b> .....	27
<b>III. MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	29
III.1. Instalaciones y manejo.....	30
III.2. Diseño experimental .....	32
III.3. Medida de la tasa de ventilación.....	33
III.4. Medida de la emisión de amoníaco.....	35
III.5. Evolución de la composición de la yacija .....	36
III.6. Tratamiento estadístico .....	37

<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	39
IV.1. Tasa de ventilación. Efecto de la temperatura .....	40
IV.2. Emisión de amoníaco.....	45
IV.3. Evolución de la composición de la yacija .....	49
IV.4. Efecto de la adición de sulfato de aluminio (alum) sobre la composición de la yacija .....	52
<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	61
<b>VI. RESUMEN</b> .....	63
<b>VII. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	69

# I. Introducción

---



## **I.1. Producción de avicultura de carne en España y medio ambiente**

Desde el final de la Segunda Guerra Mundial, la producción de **carne de ave** se ha visto incrementada, hasta representar una de las producciones ganaderas más importantes en multitud de países, hecho que a su vez ha requerido de la fabricación de un gran volumen de pienso compuesto para su alimentación. Actualmente, el consumo de carne de ave se posiciona como la segunda carne más demandada, tras la de cerdo, tanto a nivel mundial como europeo y español (MARM, 2009).

La avicultura es una de las producciones ganaderas que cuenta con una **organización común de mercado (OCM)** propia, instrumento fundamental de regulación del mercado (producción y comercialización) en todos los estados miembros de la Unión Europea. La OCM asigna gran responsabilidad a los productores, los cuales determinan el volumen de la producción y por tanto el equilibrio del mercado. Así, la ganadería avícola de carne ha basado su rentabilidad económica en el óptimo dimensionado de las explotaciones, mediante la economía de escala; consecuencia de este factor han sido las actuales explotaciones con capacidad superior a 20.000 pollos, que han permitido disminuir el coste de los insumos por ave, hasta niveles de rentabilidad. En este contexto, durante los últimos años, ha disminuido el número de explotaciones a la vez que ha aumentado el tamaño de éstas, lo que ha permitido una mayor tecnificación del sector; aunque otros aspectos relacionados con el medioambiente deben mejorarse.

### **I.1.1. Estado de desarrollo de la producción avícola**

En el año 2007 existían en España 189.176 **explotaciones avícolas** con 164.448.000 aves, existiendo grandes diferencias por comunidades autónomas tanto en número como en densidad. Así, en Galicia se encuentran la mayoría de explotaciones (73.077 ganaderías) con un censo de 13.721.000 cabezas, mientras que en Cataluña se da el mayor censo de aves, 39.437.000 cabezas, con tan sólo 7.181 explotaciones; la región de Murcia cuenta con 2.034 explotaciones y 2.932.000 cabezas (INE, 2007).

Actualmente, las demandas del **consumidor** han adquirido una enorme importancia, así, la sociedad demanda carne con unas determinadas características organolépticas (por ejemplo, poca grasa) y con las máximas garantías sanitarias (por ejemplo, libres de

dioxinas y salmonela), pero esto no acaba aquí, sino que además exige a los propios sistemas de producción, que sean respetuosos con el medio ambiente y el bienestar animal. Todo esto ha obligado a un aumento de las inversiones en **investigación, desarrollo e innovación (I+D+I)** por parte de las empresas del sector, a fin de generar los conocimientos necesarios para adaptarse a los nuevos retos que la sociedad y el mercado plantean. En concordancia con esto, la administración pública ha apoyado estas iniciativas a través de políticas planteadas en el plan de I+D+I, siendo buena muestra de ello las actividades realizadas por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), entidad pública empresarial dependiente del Ministerio de Ciencia y Tecnología, en las que se incluye la financiación de proyectos empresariales de I+D+I. Así, en el año 2007, el CDTI financió 1.111 proyectos, por valor de 1.090 millones de euros (CDTI, 2009).

El **objetivo de la producción avícola** es maximizar el rendimiento económico de la explotación, que suele ir ligado a la maximización de los rendimientos productivos, siendo la alimentación uno de los factores decisivos. Cabe recordar que la alimentación supone aproximadamente 2/3 de los costes de producción del pollo de carne (Castelló, 2002). Así, la **fabricación de piensos** destinados a animales de granja, sin incluir las premezclas, estimada para el año 2008 en España asciende, según datos de la CESFAC (Confederación Española de Fabricantes de Alimentos Compuestos para Animales) a 19,2 millones de toneladas, de las cuales 4,4 millones de toneladas se destinaron a la alimentación de aves, por detrás de los 9,6 millones de toneladas destinadas a la alimentación del ganado porcino (CESFAC, 2009). Sólo, en Murcia se fabricaron, en el año 2007, 229.146 toneladas de piensos, premezclas, piensos complementarios y mezclas simples de materias primas, destinadas a aves de un total de casi 6 millones de toneladas para el conjunto de España (MARM, 2009).

A nivel europeo, la FEFAC (Federación Europea de Fabricantes de Alimentos Compuestos para Animales) ha estimado que España en el 2007 produjo, en relación a un total de 47,6 millones de toneladas de piensos compuestos fabricados para aves en la Unión Europea (UE) -27, el 9,2% del total (FEFAC, 2009).

**La cría de aves para producción de carne** es, en la actualidad, una de las ganaderías más importantes de nuestro país. España se encuentra entre los primeros productores



Europeos de carne de ave, aunque el balance comercial es habitualmente importador (MARM, 2009). El crecimiento continuado de este sector en las últimas décadas ha contribuido a la especialización de las explotaciones con diferentes orientaciones productivas, predominando por su volumen la cría de pollo de engorde de alta selección genética también conocido como **“pollo de carne” o “broiler”**. Aunque inicialmente el término broiler se aplicó a aquellos animales destinados comercialmente a asadero (“to broil” en inglés significa “asar”), en la actualidad se emplea la palabra broiler para designar a un ave joven, macho o hembra, procedente de un cruce genéticamente seleccionado para tener un rápido crecimiento y un buen rendimiento a la canal, con la formación de notables masas musculares, independientemente de su destino comercial. Su rápido ciclo de producción (6-7 semanas) ha sido un factor decisivo para que se convierta al broiler en la base principal de la producción masiva de carne de ave.

**En España** durante el 2008, se han sacrificado casi 580 millones de broiler, los cuales han producido 1.134.107 toneladas de carne, lo que supone un 7,1% más que el año anterior, con un peso medio de 2,0 kg. Esto sitúa a nuestro país en segundo lugar en cuanto a pollos sacrificados en la UE-27, sólo superado por Reino Unido (MARM, 2009). Cataluña se encuentra a la cabeza en producción con casi 248.000 toneladas de carne de broiler (21,8% de la producción total española), seguida de Andalucía con 225.000 toneladas. Murcia con 28.705 toneladas de carne de broiler se sitúa por encima de comunidades como País Vasco, La Rioja, Baleares, Extremadura o Canarias (MARM, 2009).

La importancia de la producción avícola **a nivel mundial** queda reflejada en la Tabla I.1, donde observamos como en el continente europeo, dicha producción, supone un 26% del total de producciones ganaderas, alcanzando en el continente americano casi el 50% de la producción total ganadera (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, 2007).

**Tabla I.1. Producciones ganaderas por especies a nivel mundial (FAO, 2007).**  
**Datos en miles de toneladas (equivalentes de peso en canal).**

<b>2007</b>	<b>Total (*)</b>	<b>Bovino</b>	<b>Ovino</b>	<b>Porcino</b>	<b>Aves</b>	<b>Leche + Lácteos (1)</b>
<b>África</b>	12.722	4.696	2.122	871	<b>3.647</b>	33,0
<b>América C.</b>	7.888	2.258	117	1.563	<b>3.833</b>	16,3
<b>América S.</b>	35.929	15.142	359	4.957	<b>15.234</b>	54,7
<b>América N.</b>	45.277	13.210	125	11.646	<b>20.049</b>	92,0
<b>Europa</b>	53.946	10.974	1.344	26.441	<b>13.993</b>	215,5
<b>Oceanía</b>	6.133	2.869	1.343	532	<b>988</b>	25,2
<b>Asia</b>	116.575	17.946	8.467	59.752	<b>28.537</b>	241,5
<b>Total mundo</b>	<b>278.325</b>	<b>67.090</b>	<b>13.843</b>	<b>105.773</b>	<b>86.170</b>	<b>678,2</b>

(\*) Incluidas otras carnes. (1) Millones de toneladas equivalentes en leche.

### **I.1.2. Producción e implicaciones medioambientales**

Como consecuencia de la intensificación de los sistemas de producción animal llevados a cabo en las últimas décadas, para satisfacer la demanda alimentaria a precios accesibles, se han incrementado los **problemas medioambientales**. La elevada concentración de ganado en determinadas áreas geográficas ha provocado graves efectos contaminantes sobre tierra, agua y aire. Además, la actual ganadería intensiva, cada vez más desligada de la producción agrícola, hace de lo que antes era un abono que enriquecía en nutrientes el suelo para cultivo, uno de los principales contaminantes medioambientales (Tamminga et al., 1995). Los animales criados intensivamente, sobre todo los monogástricos, son poco eficientes en cuanto a la conversión de alimentos en productos animales, especialmente cuando nos referimos a nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), por lo que gran parte de estos elementos no son asimilados y se excretan a

través de heces y orina. Sin embargo, hay que reconocer que las constantes mejoras en genética y alimentación han hecho posible un gran descenso en la cantidad de nutrientes requeridos y excretados por kg de pollo producido (MAPA, 2006). En esta línea, trabajos citados por Havenstein et al. (1994, 2003) indican la mayor velocidad de crecimiento en broilers, así como una menor cantidad de nutrientes excretada al mejorar el uso de los nutrientes aportados en la dieta en las últimas décadas.

**La FAO (Food and Agriculture Organization)** informa que "el futuro de la interfaz entre el ganado y el medio ambiente estará determinado por la forma en que se resuelva el equilibrio entre dos demandas: la de productos animales, por una parte, y la de servicios ambientales, por otra". Dado que los recursos naturales básicos son finitos, la enorme expansión del sector pecuario se debe realizar minimizando su impacto sobre el medio ambiente.

En este contexto, **la protección y conservación del medio ambiente** se ha situado en la actualidad como una de las principales inquietudes **en la Unión Europea**, incorporándose a los tratados como una verdadera política comunitaria, cuyo principal objetivo es el de prevención, de acuerdo con las previsiones de los sucesivos programas comunitarios de acción en materia de medio ambiente y desarrollo sostenible. La **Directiva 96/61/CE** conocida como **IPPC** ("Integrated Prevention of Pollution Control") se incorpora al ordenamiento jurídico español con carácter básico mediante la **Ley 16/2002** de 1 de julio, de Prevención y Control Integrado de la Contaminación, estableciendo un nuevo enfoque en la concepción del medio ambiente. Estas normativas definen importantes actuaciones como son la concesión de la **Autorización Ambiental Integrada (AAI)**, el concepto de las **Mejores Técnicas Disponibles** y la **Transparencia informativa**. Todo esto tiene una inequívoca vocación preventiva y de protección del medio ambiente en su conjunto con la finalidad de evitar o al menos reducir la contaminación de la atmósfera, el agua y el suelo. Esto supone considerar todas y cada una de las fases del proceso productivo, así como las particularidades de cada instalación y de cada medio ambiente receptor, entendiendo el medio ambiente como un todo, debiéndose evitar la transferencia de contaminación de un medio (agua, suelo y atmósfera) a otro. La aplicación de esta normativa supone una modificación sustancial en cuanto al mecanismo de obtención de la licencia de actividad preceptiva

para el funcionamiento de las instalaciones afectadas, surgiendo una nueva figura administrativa, la **AAI**, la cual tiene carácter previo y vinculante a la hora de obtener o renovar otras autorizaciones o licencias necesarias para desarrollar la actividad. La AAI se otorga por un plazo máximo de 8 años, transcurridos los cuales deberá ser renovada. En la AAI se fijan los condicionantes ambientales exigibles y se especifican los valores límite de emisión de sustancias contaminantes asignadas a esa instalación.

La Ley IPPC ha sido modificada por la **Ley 27/2006**, de 18 de julio, por la que se regulan los derechos de acceso a la información, de participación pública y de acceso a la justicia en materia de medio ambiente, y más recientemente por la **Ley 42/2007**, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. Por otro lado, mediante el **Real Decreto 509/2007**, de 20 de abril, se aprueba el **Reglamento** para el desarrollo y ejecución de la Ley 16/2002, el cual en su **anexo I** incluye en la categoría 9.3 a) las instalaciones ganaderas dedicadas a la cría y engorde de todo tipo de aves, con capacidad **superior a 85.000 pollos de engorde** y 40.000 en el caso de pavos de engorde. Asimismo, el **Real Decreto 508/2007**, de 20 de abril, regula el suministro de información sobre emisiones del **Reglamento E-PRTR** (siglas en inglés de “Pollutant Release and Transfer Registers,” registros de emisiones y transferencias de contaminantes) y de las AAI.

Uno de los aspectos más interesantes de la Ley 16/2002 ha sido exigir a las instalaciones un comportamiento medioambiental similar al que tendrían en el caso de utilizar las **Mejores Técnicas Disponibles (MTDs)**, recogidas en los documentos de referencia BREF (“Bat Reference Document”) aprobados para cada sector por la Comisión Europea y publicadas por el MAPA en el 2006 tras los resultados obtenidos del proyecto de evaluación de técnicas en granjas españolas (Proyecto MAPA, 2003-2005). Se trata de unas técnicas, viables técnica y económicamente, que son especialmente eficaces desde el punto de vista del medio ambiente, por su reducido consumo de recursos o bajo impacto ambiental. Dichas técnicas tendrán en cuenta las características de las instalaciones, su implantación geográfica y las condiciones locales del medio ambiente.

Las principales emisiones e impactos medioambientales relacionados con la ganadería intensiva están asociados a la producción y al manejo del **estiércol**. La composición del

estiércol depende fundamentalmente de la dieta aportada y del metabolismo del animal. Cuanto mejor y más eficientemente utilicen los animales los nutrientes presentes en el alimento, menor será la carga de elementos (compuestos nitrogenados y fósforo, principalmente) eliminados con las deyecciones. Reduciendo la excreción de residuos y, por lo tanto, su concentración en el estiércol, se pueden reducir las emisiones que se producen a lo largo de todo el proceso (alojamientos, almacenamiento, gestión y aplicación agrícola). Es por ello que, entre las técnicas integradas en el proceso de producción, se encuentran las técnicas nutricionales. La composición del pienso, su contenido en nutrientes y las estrategias nutricionales, no sólo tienen una gran influencia en el rendimiento productivo de los animales, sino que además, son un pilar fundamental dentro de la estrategia medioambiental de una granja a la hora de prevenir impactos (MAPA, 2006).

## **I.2. Naturaleza de las emisiones generadas en granjas avícolas**

Las emisiones al medioambiente generadas desde las instalaciones de cría intensiva de aves pueden dar lugar a **fenómenos perjudiciales** para el medio ambiente tales como eutrofización, acidificación, efecto invernadero, reducción de la capa de ozono, difusión de metales pesados y molestias locales como el olor, el ruido, el polvo, perjudicando la salud de animales y personas (Coma y Bonet, 2004). Estas emisiones tienen su **origen** en la propia granja o bien durante el proceso de almacenamiento, tratamiento o aplicación agrícola del estiércol de ave o yacija. Dichas emisiones pueden llevarse a cabo **directamente** sobre el suelo y aguas superficiales, o bien **indirectamente**, derivadas de la gestión de estos estiércoles, a las aguas subterráneas y superficiales.

### **I.2.1. Tipos de emisiones**

Las principales emisiones producidas sobre suelo y agua derivadas de la cría intensiva de aves se producen a través de la yacija. La yacija se compone de la viruta de pino o cualquier otro material empleado como cama, excretas, pienso desperdiciado y agua procedente de bebederos. Cabe destacar la elevada presencia de **N, P y K**, contaminantes en sí mismos o como precursores de otros compuestos. También

podemos encontrar, en concentraciones bajas, **cobre (Cu)**, **zinc (Zn)**, **hierro (Fe)** y **magnesio (Mg)** que pueden actuar como micronutrientes, además de cantidades traza de elementos tales como el **cadmio (Cd)**, **plomo (Pb)**, **arsénico (As)** y **mercurio (Hg)**, todos ellos metales pesados que pueden acumularse en el suelo por la aplicación reiterada de yacija. En la crianza de pollos de carne se estima una producción de estiércol entre 10 y 17 kg por plaza y año, con una materia seca muy variable 38,6 - 86,8 % (BREF, 2003).

**Refiriéndonos al N en la avicultura** y según el tipo de ave, entre el 25% y el 43% del N contenido en la dieta pasa a formar parte de la yacija, asimismo entre un 18% y un 40% pasa a la atmósfera, siendo tan sólo entre un 0,84% y un 51% el que quedará formando parte del cuerpo del ave (Tabla I.2) (Patterson y Adrizal, 2005).

**Tabla I.2. Distribución del N (%) de la dieta en aves en granjas comerciales (Patterson y Adrizal, 2005).**

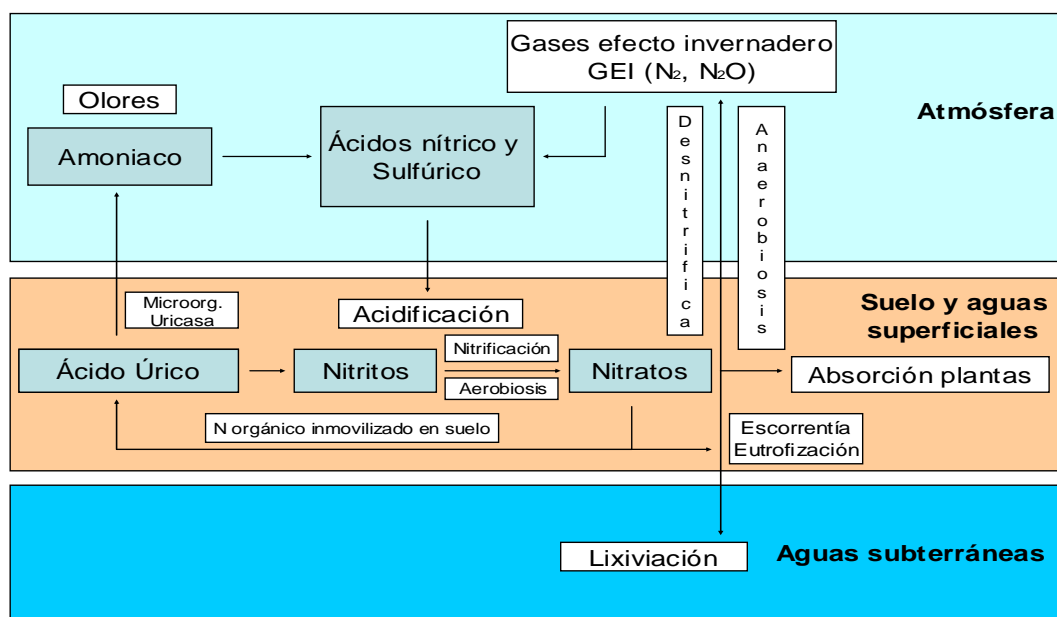
Aves	N en dieta	N en estiércol	N corporal	N en huevos	N atmosférico
<b>Ponedoras</b>	100	25,01	0,84	34,07	40,01
<b>Pollitas</b>	100	43,20	25,30	-	31,50
<b>Pavos</b>	100	28,00	46,00	-	26,00
<b>Broilers</b>	100	30,56	51,08	-	18,36

Por tanto, el N presente en la yacija puede pasar a la tierra, agua y aire llevándose a cabo el llamado **“Ciclo del Nitrógeno”** (Figura I.1). Las aves eliminan el N en forma de ácido úrico, parte del cual es transformado por acción de microorganismos y enzimas en amoníaco, el cual se volatiliza; parte de este amoníaco permanece en la yacija en forma de ión amonio atraído por suelos cargados negativamente, es entonces cuando este N amoniacal, en el suelo, se transforma en nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ), que por la acción de bacterias

aerobias pasarán a nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) en el proceso conocido como nitrificación. El proceso inverso o desnitrificación tiene lugar en condiciones de anaerobiosis (p.e. suelos encharcados) donde los microorganismos convierten los nitratos en  $\text{N}_2$  y  $\text{N}_2\text{O}$  que se eliminan a la atmósfera. Los nitratos son la forma de N más soluble, lo que implica un alto riesgo de lixiviación, ya que al profundizar en el suelo y dejar de estar al alcance de las raíces contaminará los acuíferos.

Aunque menos frecuente, no nos podemos olvidar del riesgo de contaminación de aguas superficiales por escorrentía, sobretodo si sucede inmediatamente después del proceso de abonado.

**Figura I.1. Ciclo del Nitrógeno.**



**En cuanto al fósforo**, se estima que las aves de granja consumieron en el año 2002, a nivel mundial, unos 321 millones de toneladas de pienso, de los cuales, aproximadamente un millón de toneladas fueron de fósforo fitico (Selle y Ravindran 2007), potencialmente poco digestible por las aves. El ácido fitico y sus sales constituyen la principal forma de almacenamiento de fósforo en semillas de cereales y oleaginosas (Wyatt y Tejas, 1994; Zhou y Erdman, 1995). Sin embargo en esta forma el fósforo permanece no disponible en monogástricos al no poseer suficiente actividad las fosfatasas endógenas. Los 6 grupos reactivos presentes en la molécula de fitato, lo

hacen un agente fuertemente quelante, confiriéndole un carácter antinutricional, al formar complejos insolubles con minerales y proteínas (Zhou y Erdman, 1995; Sugiura et al., 1999) no asimilables por el organismo.

Una vez aplicado al suelo, el fósforo contenido en el estiércol es liberado por acción microbiana. En suelos agrícolas el fósforo debe ser aportado de manera regular debido a la alta demanda que de él tienen las plantas, las cuales lo absorben en forma de iones fosfato monobásico y dibásico. Al contrario de lo que ocurre con el nitrógeno, el fósforo es uno de los nutrientes menos móviles en el suelo, debido a que los fosfatos formados tras la degradación microbiana del ácido fítico, forman compuestos insolubles con los iones hierro y aluminio en suelos ácidos, y con calcio en suelos alcalinos, por lo que no se producen riesgos de lixiviación. Los principales impactos en el medio ambiente por la presencia de fósforo se producen por la llegada de estiércoles a cursos de agua superficiales, bien por vertidos directos, bien por escorrentía. El fósforo eliminado en las deyecciones de los animales contribuye a elevar los niveles de fósforo en las aguas, favoreciendo la eutrofización de las mismas.

La pérdida de nutrientes a través de los diferentes sistemas de manejo de estiércol decrece en el siguiente orden: **C, N>>S>K, Na, Cl, B>P, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, Co, Se, Ni**; así la movilidad del C, N y S es muy alta tanto en medios acuosos como gaseosos ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{SH}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) (Oenema et al., 2007). El K, Na, Cl y B son altamente solubles en agua por lo que pueden producir contaminaciones por lixiviación. El resto de los nutrientes mencionados tienen una movilidad menor ya que son poco solubles en agua (Petersen et al., 1998; Sommer, 2001; Sparks, 2003).

Por tanto las emisiones de N y P tienen una gran importancia especialmente en los procesos de eutrofización y acidificación. La **eutrofización** consiste en un aporte excesivo de nutrientes a las aguas superficiales (mares, ríos, lagos, embalses), este aporte excesivo de N y P conlleva un exceso de fitoplancton que ocasiona crecimientos acelerados de algas y plantas acuáticas, alterándose así la composición, estructura y dinámica del ecosistema. Otras alteraciones de los ecosistemas vienen originadas por procesos de **acidificación**, de suelos y aguas, alteraciones del pH que suceden debidas fundamentalmente al retorno a la superficie de la tierra, en forma de ácidos, de los



óxidos de azufre y nitrógeno tras reaccionar con radicales hidroxilos y vapor de agua de la atmósfera formando ácido sulfúrico y nítrico que originan la llamada deposición ácida en forma de lluvia, nieve o niebla. También existe la llamada deposición seca cuando el retorno de estos óxidos sucede en forma de gases o aerosoles.

Así, el depósito desde la atmósfera de dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y amoníaco pueden ocasionar acidificación en el medio receptor. Las emisiones de **dióxido de azufre** proceden principalmente del sector industrial, sobretodo de centrales termoeléctricas, la mitad o algo más de las emisiones de **óxidos de nitrógeno** proceden del transporte, teniendo entre un 80% y un 90% de las emisiones de **amoníaco** su origen en la agricultura y ganadería (EEA, 2005).

A continuación se muestra un cuadro resumen sobre las repercusiones que las emisiones procedentes de granjas avícolas pueden tener en el medio ambiente (Tabla I.3).

**Tabla I.3. Posibles efectos de las explotaciones avícolas sobre el medio ambiente.**  
(Abad, 2004).

<b>Acidificación</b>	NH <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub>
<b>Eutrofización</b>	N, P
<b>Reducción de la capa de ozono</b>	CH <sub>3</sub> Br
<b>Aumento del efecto invernadero</b>	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
<b>Desecación</b>	Consumo de aguas subterráneas
<b>Molestias locales</b>	Olor, ruido
<b>Diseminación difusa</b>	Metales pesados y pesticidas

Las emisiones de **amoníaco** por parte de las explotaciones ganaderas han sido identificadas como una de las principales preocupaciones de la calidad del aire (NRC, 2003). El amoníaco es un gas incoloro, con una densidad de 0,77 g/l y olor picante, que irrita la mucosa de ojos y sistema respiratorio de los pollos disminuyendo su resistencia

a infecciones y perjudicando índices productivos tales como el crecimiento y el índice de conversión, las instalaciones se deterioran a un ritmo acelerado debido a su presencia, además resulta molesto y nocivo para los propios trabajadores. La vida media del amoníaco en el ambiente oscila entre 3 y 6 días, normalmente no se traslada más allá de unos cientos de kilómetros desde la fuente de emisión, depositándose la mayor parte en entornos cercanos al foco de emisión por precipitación seca en forma de partículas, el resto puede reaccionar en la atmósfera formando compuestos y aerosoles que se trasladan a mayores distancias depositándose por lluvia o nieve sobre el terreno.

El amoníaco puede dificultar la unión del oxígeno a la hemoglobina en sangre al alterar su pH, esto imposibilita una correcta oxigenación de los tejidos, surgiendo patologías tales como ascitis y fallos cardíacos. Cuando las concentraciones en el aire superan las 20 ppm de amoníaco pueden comenzar a aparecer efectos indeseados en las aves, siendo especialmente dañinos al rebasar las 50 ppm; daño ocular, sensibilidad a la luz, úlceras en conjuntiva, congestión pulmonar, edema, hemorragia, disminución del apetito y muerte son consecuencias de los elevados niveles de amoníaco en aire (Tabla I.4).

**Tabla I.4. Efectos del amoníaco del aire en broilers (Castelló, 1993).**

<b>Concentración</b> (ppm)	<b>Efectos</b>
10-20	Pérdida de actividad ciliar e incluso bloqueo
20-25	Molestias, mayor sensibilidad a Newcastle y aerosaculitis. Congestión, edema y hemorragia pulmonar. Máximo tolerable para periodos largos
30-40	Máximo tolerable para periodos cortos. Mayor sensibilidad a Newcastle y efecto negativo sobre peso y conversión
50-60	Reducción del crecimiento (3-6 %). Irritación, queratoconjuntivitis, aumento de lesiones en aparato respiratorio
100	Reducción drástica de ritmo respiratorio, de consumo de pienso y de crecimiento
200	Reducciones de hasta el 25% del crecimiento. Lesiones pulmonares graves.

**El medio aéreo** también puede verse afectado al ser alcanzado por otros contaminantes en forma de gases (consecuencia del metabolismo animal y la degradación del estiércol fundamentalmente), olores, ruido y polvo. Estos alcanzan la troposfera donde tienen lugar fenómenos de dispersión, transformación y deposición. Los fenómenos meteorológicos pueden influir en estos procesos diluyendo o concentrando los contaminantes así como precipitándolos en zonas concretas, también pueden producirse transformaciones fisicoquímicas dando lugar a contaminantes secundarios.

A continuación se muestra un cuadro resumen sobre las diversas emisiones a la atmósfera generadas en diferentes momentos de la producción ganadera intensiva (Tabla I.5).

**Tabla I.5. Emisiones a la atmósfera de la producción ganadera intensiva.**  
(Abad, 2004).

<b>Emisiones</b>	<b>Forma de producción</b>
<b>NH<sub>3</sub></b>	Estabulación de animales, almacén y esparcimiento de estiércol
<b>CH<sub>4</sub></b>	Estabulación de animales, almacén y tratamiento de estiércol
<b>N<sub>2</sub>O</b>	Estabulación de animales, almacén y esparcimiento de estiércol
<b>NO<sub>x</sub></b>	Calefactores naves y pequeñas instalaciones de combustión
<b>CO<sub>2</sub></b>	Estabulación, calefacción y transporte, combustión residuos
<b>Olor (p.e. SH<sub>2</sub>)</b>	Estabulación de animales, almacén y esparcimiento de estiércol
<b>Polvo</b>	Alojamiento de animales, molturación y almacén de pienso, almacén y aplicación de estiércol sólido
<b>Humo negro / CO</b>	Combustión de residuos

Predecir como van a evolucionar estas emisiones en un futuro es difícil, aunque en principio podríamos pensar que debido al aumento de la población mundial las necesidades de producir proteína de origen animal se incrementarán, por lo que, medidas tendentes a conseguir una fertilización correctamente balanceada en la agricultura, una alimentación animal baja en proteína y una reducción en las emisiones de amoníaco, serán claves para conseguir el máximo beneficio sobre el medio ambiente.

### **I.2.2. Base legal y niveles de emisión en la UE**

En 1998 se adopta en Aarhus, Dinamarca, la Convención sobre el "Acceso a la información, participación del público en las decisiones y acceso a la justicia en asuntos medioambientales", en ella, los registros de emisiones y transferencias de contaminantes, ya recomendados por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), se reconocen como herramienta útil de seguimiento e instrumento adecuado para la difusión pública de este tipo de información.

En mayo de 2003, fue firmado por las Partes del Convenio de Aarhus y otros países el protocolo PRTR ("Pollutant Release and Transfer Registers") cuyo objetivo es la implantación de ese tipo de registros. La ratificación del Protocolo PRTR por la Comisión Europea en el marco de la Convención de Aarhus, ha hecho que en la UE se adoptara el **Reglamento (CE) 166/2006** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de enero de 2006, para el establecimiento de un Registro Europeo de Emisiones y Transferencia de Contaminantes o Registro E-PRTR y por el que se modifican las Directivas 91/689/CEE y 96/61/CE.

Pese a que el Reglamento E-PRTR es directamente aplicable en todo el territorio de la Unión Europea, en el caso de España se han dictado normas adicionales que lo complementan. Así se promulgó el Real Decreto 508/2007, de 20 de abril, que regula el suministro de información sobre emisiones al Reglamento E-PRTR y de las autorizaciones ambientales integradas. Este RD recoge en su anexo II la lista de sustancias respecto de las que suministrar información cuando se emitan de forma significativa, así como los valores umbrales de información pública de emisiones a la atmósfera, agua y suelo (Tabla I.6). **PRTR-España** es, desde el 1 de enero de 2008, el nuevo Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes que sustituye al anterior

registro EPER-España en vigor desde el año 2001. En este registro se pone a disposición del público información de acuerdo con los criterios PRTR y siempre que superen los umbrales de información correspondientes.

**Tabla I.6. Lista sustancias derivadas de la actividad ganadera E-PRTR (Anexo II RD 508/2007).**

Nº	Contaminantes/sustancias a informar	Valores umbrales de información pública de emisiones en kg/año a:		
		Atmósfera	Agua	Suelo
1	Metano (CH <sub>4</sub> )	100.000	*	*
5	Oxido nitroso (N <sub>2</sub> O)	10.000	*	*
6	Amoniacó (NH <sub>3</sub> )	10.000	*	*
12	Nitrógeno total	*	50.000	50.000
13	Fósforo total	*	5.000	5.000
20	Cobre y compuestos	100	50	50
24	Zinc y compuestos	200	100	100
76	Carbono orgánico total	+	50.000	*
86	Partículas (PM <sub>10</sub> )	50.000	*	*

\* No obligación de notificar información.

+ Se notificarán las emisiones aunque de momento no se incluirán en la información que el Ministerio remite a organismos europeos o internacionales.

De los contaminantes de declaración obligatoria para las actividades reguladas por la ley IPPC, es para el amoniacó donde las emisiones del sector agro-ganadero son especialmente relevantes. **La ganadería, en su globalidad,** supone alrededor del 70% del total de emisiones de amoniacó originadas por el hombre y el 30% del total de

emisiones de N<sub>2</sub>O a la atmósfera. La ganadería, a nivel mundial, elimina aproximadamente 100 Tg de nitrógeno al año, siendo recuperado para aplicación en cultivos sólo un 20-40% del total (Sheldrick et al., 2003; Oenema and Tamminga, 2005).

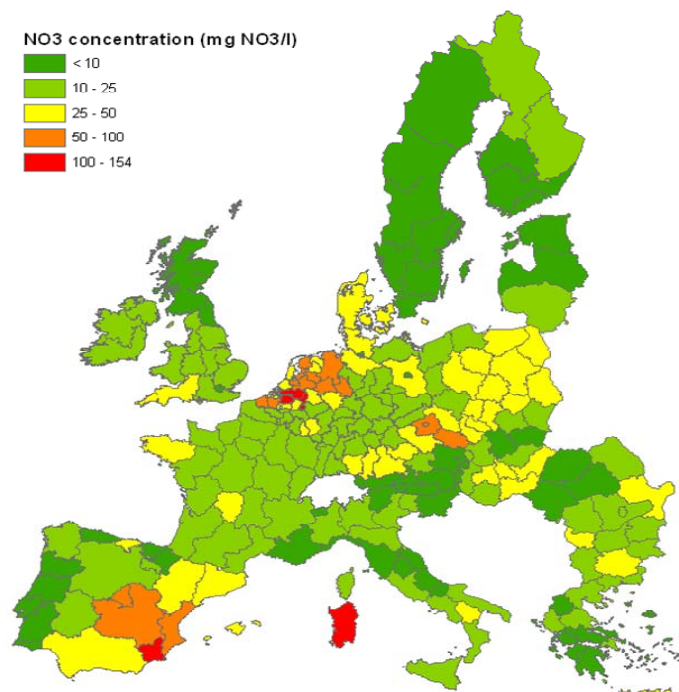
**La ganadería en la UE-27** durante el año 2000 supuso la excreción de, aproximadamente, 10.400 kt de amoníaco. Esta cifra es equivalente a la cantidad de N usado como fertilizante en la UE-27 para ese mismo año. La avicultura en la UE-27 se posiciona, con 1.750 kt, como la tercera producción ganadera excretora de N al medio ambiente, detrás de vacuno lechero y resto de bovino, tal y como se muestra en la Tabla I.7 (Oenema et al., 2007).

**Tabla I.7. Excreción de N y P totales (kt) en ganadería en la UE-27 en el año 2000 (Oenema et al., 2007).**

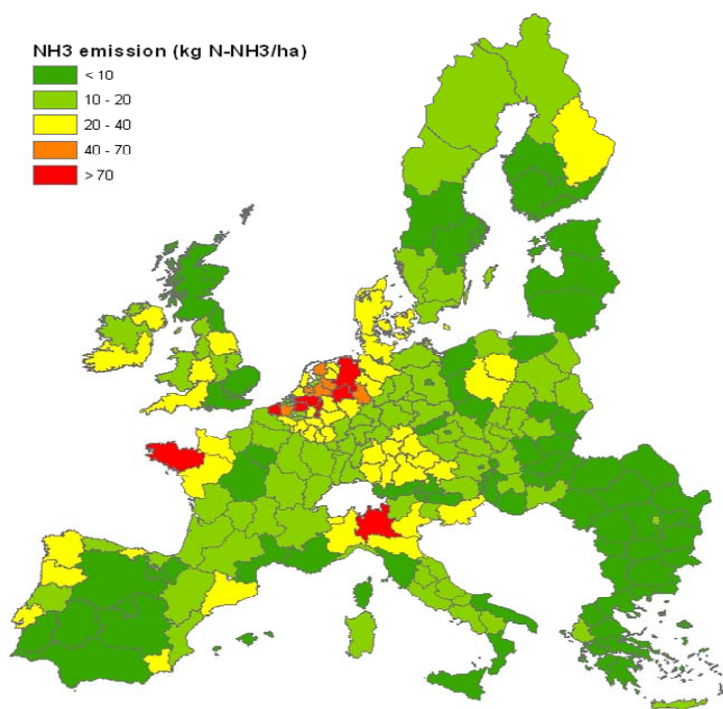
<b>Tipo de ganadería</b>	Vacuno lechero	Resto bovino	Porcino	Aves	Otros	Total
<b>N</b>	2670	3210	1687	1750	1055	10372
<b>P</b>	364	561	342	332	256	1855

Dentro de la Unión Europea se han clasificado las diferentes zonas según su nivel de emisiones y atendiendo a su vulnerabilidad. En el caso de España, en el sureste español encontramos que la cantidad de nitratos presentes, en aguas subterráneas poco profundas, es la más alta de España y una de las zonas más elevadas de Europa, con cantidades que oscilan entre los 100 y 154 mg/l (Figura I.2). Asimismo, las emisiones de amoníaco son para esta misma región de las más altas de España, aunque no de Europa, registrando niveles entre 20 y 40 kg N/ha (Figura I.3).

**Figura I.2. Concentración de nitratos ( $\text{mg NO}_3/\text{l}$ ) en aguas subterráneas poco profundas en EU-27 (Oenema et al., 2007).**



**Figura I.3. Emisión de amoníaco ( $\text{kg N}/\text{ha}$ ) en EU-27 (Oenema et al., 2007).**



Consultando la información pública expuesta en el PRTR-España a través de su página web (PRTR-España, 2009), podemos encontrar que los datos más recientes son los referidos al año 2007, sobre contaminantes y actividades declaradas, así como su distribución geográfica. En cuanto a la cantidad de amoníaco excretada a la atmósfera, encontramos que las aves de corral, en explotaciones de más de 40.000 plazas, emiten casi el 30% del amoníaco total (Tabla I.8), por detrás de la producción intensiva de cerdos. Asimismo, Castilla y León, y Andalucía aparecen como las CCAA que más amoníaco emiten (Tabla I.9), un 24,4 y 21,6% del total respectivamente, Murcia se sitúa en séptimo lugar con un 5,4%, llamando la atención que Cataluña, la comunidad con más censo, produzca tan sólo el 0,64% del total.

**Tabla I.8. Cantidad emitida de amoníaco a la atmósfera (PRTR-España, 2009).**

<b>Cría intensiva aves de corral &gt; 40.000 plazas</b>	<b>8.889,4 ton/año (28,87%)</b>
Cría intensiva de cerdos	17.600,8 ton/año (57,17%)
Resto	4.296.8 ton/año (13,96%)
<b>TOTAL</b>	<b>30.787 ton/año</b>

**Tabla I.9. Emisión de NH<sub>3</sub> a la atmósfera por CCAA (PRTR-España, 2009).**

<b>CCAA</b>	<b>NH<sub>3</sub> ton/año</b>	<b>% del total</b>
Castilla y León	7.512	24,4
Andalucía	6.648	21,6
Castilla La Mancha	4.628	15
Navarra	2.219	7,2
Aragón	1.943	6,3
Galicia	1.875	6,1
Murcia	1.652	5,4
Resto	4.310	14



### **I.3 Monitorización de las emisiones aéreas**

La **Ley 16/2002** en su artículo 22 referido al contenido de la autorización de la AAI establece que se deberán especificar: *“los sistemas y procedimientos para el tratamiento y control de las emisiones y residuos, con especificaciones de la metodología de medición, su frecuencia y los procedimientos para evaluar las mediciones”*, en este mismo artículo se hace una especial consideración a las explotaciones ganaderas incluidas en el epígrafe 9.3. del anexo 1 estableciendo que *“los órganos competentes deberán tener en cuenta a la hora de fijar las prescripciones sobre gestión y control de residuos en la AAI las consideraciones prácticas específicas de dichas actividades, teniendo en cuenta los costes y las ventajas de las medidas que se vayan a aplicar”*, de esta manera la propia ley reconoce las dificultades de fijar prescripciones sobre gestión y control de residuos para este sector. Por esto se creó un grupo de trabajo europeo dedicado a revisar y valorar propuestas para la monitorización de las emisiones derivadas de la actividad ganadera, trabajo que se dirige a dos áreas:

- Propuestas para el seguimiento de los aportes de estiércoles al terreno.
- Propuestas para el seguimiento, cuantificación o estimación de las emisiones de gases a la atmósfera.

Dentro de este contexto y teniendo en cuenta los escasos trabajos realizados en este campo, podemos entender mejor el gran interés que conlleva realizar monitorizaciones de diversos parámetros del aire existentes en las explotaciones ganaderas, entendiendo por monitorizar el hecho de observar mediante aparatos especiales el curso de uno o varios parámetros para detectar posibles anomalías. De esta manera para monitorizar las emisiones aéreas que se producen como consecuencia de la actividad ganadera dedicada al engorde de broilers es conveniente conocer previamente los diferentes sistemas de ventilación existentes en las explotaciones ganaderas.

La ventilación en las naves de engorde de broilers puede llevarse a cabo de muy diferentes maneras, en España hemos asistido en las últimas décadas a la transformación de las instalaciones, siendo sustituida la *“ventilación natural”* por *“ventilación forzada”* en gran número de explotaciones. Entendemos por ventilación natural la que

se lleva a cabo aprovechando la diferencia de temperatura existente entre el interior y exterior de la nave, regulándose mediante el cierre o apertura de ventanas, chimeneas, cortinas, lucernario, o cualquier otro recurso. La ventilación natural, propia de zonas templadas, presenta ventajas e inconvenientes con respecto a la forzada, la menor inversión supone un gran ventaja inicial aunque no es tal si tenemos en cuenta que la densidad animal podemos aumentarla entre un 20 % y un 50 % con un sistema forzado (Castelló, 1993). La ventilación natural implica un fácil manejo, pero requiere de la presencia continua de mano de obra, no pudiendo reaccionar rápidamente ante cambios bruscos de temperatura, sobre todo los que se presenten durante la noche. La ventilación forzada, tradicionalmente usada en zonas frías, supone un mayor coste de mantenimiento fundamentalmente debido al gasto eléctrico, asimismo requiere obligatoriamente de un sistema de emergencia ante un fallo eléctrico, pero como gran ventaja tiene el aumento del rendimiento productivo de los animales debido al preciso control de temperatura, humedad y calidad de aire, así como el exacto control de la duración e intensidad de luz, de gran importancia en las producciones avícolas. La “*ventilación mixta*” sería una combinación de las dos anteriores, coexistiendo ventanas o aberturas normales de ventilación, y ventiladores para favorecer la entrada y salida de aire.

Existen dos grandes tipos de ventilación forzada, unos fuerzan la entrada de aire en la nave, son los llamados *sistemas de inyección o presión positiva o sobrepresión*, capaces de filtrar, calentar y humedecer el aire cuando sea necesario. Mientras que los que sacan aire de la nave, son los llamados *sistemas de extracción o presión negativa o depresión*, estos últimos son frecuentes debido a su simplicidad y menor coste de instalación.

Conocer la **tasa de ventilación**, o volumen de aire evacuado por unidad de tiempo, en una granja, es importante fundamentalmente por dos motivos, por un lado nos da a conocer la influencia que ejerce la ventilación sobre el bienestar de los animales y por otro lado supone cuantificar la emisión de gases a la atmósfera.

### **I.3.1. Medida de la tasa de ventilación**

La medición de la tasa de ventilación puede hacerse por **métodos directos e indirectos**, los directos resultarían del cálculo de los ventiladores instalados en la nave según su

número, potencia y tiempo de funcionamiento, tienen como inconveniente la dificultad que supone medir en naves donde existen gran número de ventiladores, localizados en diversos lugares, a veces diferentes entre sí y muchas veces sin capacidad de registro de datos. Estos inconvenientes son superados con los métodos de medición indirectos, los cuales realizan estimaciones basadas en ecuaciones de balances de diversos factores tales como el CO<sub>2</sub>, la humedad o el calor, para lo cual se miden parámetros como la concentración de CO<sub>2</sub>, el % de humedad y la temperatura, dentro y fuera de la nave que alberga los animales (CIGR, 2002).

Escasos son los trabajos acerca de cálculo de tasa de ventilación en broiler. Blanes y Pedersen (2005) trabajan con ganado porcino comparando mediciones y cálculos a partir de ecuaciones de balance de CO<sub>2</sub>, humedad y temperatura, concluyendo que en líneas generales los resultados son ligeramente más bajos que los obtenidos en las mediciones reales. El cálculo de la tasa de ventilación utilizando métodos indirectos es una técnica relativamente reciente, que ha sido utilizada por diversos autores. Así, Pedersen et al. (1998) en granjas de ganado vacuno, porcino y gallinas ponedoras, calculan la tasa de ventilación a partir de mediciones de CO<sub>2</sub>, el % de humedad y la temperatura, pero no establece comparación con mediciones reales. Pedersen y Thomsen (2000) usaron ecuaciones de balance de humedad y temperatura en granjas de broiler; Schauburger et al. (2000) aplicaron los balances de CO<sub>2</sub>, humedad y calor en granjas de cerdos y Li et al. (2005) compararon la tasa de ventilación medida y calculada por balance de CO<sub>2</sub>, en gallinas ponedoras.

### **I.3.2. Medida de la concentración de gases en naves**

Los gases deben ser cuantificados con detectores específicos. En el caso de granjas de broilers sobre yacija y gallinas ponedoras en jaulas se han usado varios sistemas, como por ejemplo:

- La trampa ácida, consistente en dispositivos provistos de una dilución ácida (p. e. ácido ortofosfórico) capaz de adsorber amoníaco, con o sin sistemas de bombas de aspiración de aire para determinar el caudal de aire (Nicholson et al., 2004).

- Analizadores automáticos basados en sensores de infrarrojos, catalíticos, foto-acústicos,..., capaces de cuantificar la concentración de un gas en el aire de forma inmediata. De este tipo son los utilizados por Miles et al. (2006), que estudiaron la producción y distribución de NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> en una granja de broilers usando un analizador multigas (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), realizó mediciones de NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en granjas de cerdos y purines, usando el mismo equipo en el interior y exterior de las naves.

En definitiva, en avicultura existe poca información sobre las tasas de emisión, fundamentalmente debido a la complejidad y costo de medir los parámetros necesarios: tasas de ventilación y concentración de gases en el aire (Müller et al., 2000; Müller et al., 2003).

## **I.4. La yacija**

Entenderemos por el término “yacija”, la mezcla de: excretas, material usado como cama, restos de pienso desperdiciado de comederos, agua derramada de bebederos y plumas, resultantes del engorde de broilers. Cada plaza de broiler, en la cual se llevan a cabo 5-8 cebos al año, genera 10-17 kg de estiércol anuales, con un contenido en materia seca (%) que oscila entre un 38,6 y un 86,8 (BREF, 2003). Con estos datos podemos estimar en 2,08 kg la cantidad de estiércol generada por broiler, como recordamos, durante el año 2008 se han sacrificado casi 580 millones de pollos de carne en España, lo que nos da una cifra aproximada de 1.206,4 kt de estiércol de broiler anual generado en nuestro país.

### **I.4.1. Composición de la yacija**

La composición de la yacija ha sido estudiada por diversos autores con el fin de mejorar el uso de la misma como alimento para rumiantes (prohibido en la UE), como fertilizante, e incluso como combustible. Dicha composición varía considerablemente

de unas granjas a otras dependiendo de factores tales como: densidad de animales, días de engorde, tipo y cantidad de material usado como cama, tipos de bebedero y comedero, consumo de agua, el cual, está íntimamente relacionado con aspectos de la dieta tales como el nivel de proteína, balance electrolítico, ionóforos, cereales causantes de problemas de viscosidad, elevados niveles de fibra no digestible, ingredientes inusuales o subproductos, así como algunos tratamientos tecnológicos (Francesch y Brufau, 2004). Aunque podemos encontrar grandes diferencias en la composición de la yacija, se constata como el N constituye el principal macronutriente tal y como observamos en la Tabla I.10. Además llama la atención la baja humedad (6,42 %) en resultados obtenidos por Materechera y Mkhabela (2002), ya que es frecuente encontrar otras analíticas con humedades muy superiores (Tabla I.11).

**Tabla I.10. Composición química del estiércol de pollo (Materechera y Mkhabela, 2002)**

<b>Composición</b>		<b>Composición</b>	
<b>N (%)</b>	4,30	<b>Bo (ppm)</b>	29
<b>P (%)</b>	2,85	<b>Co (ppm)</b>	67
<b>K (%)</b>	1,53	<b>Mn (ppm)</b>	1.736
<b>Ca (%)</b>	7,53	<b>Zn (ppm)</b>	1.151
<b>Mg (%)</b>	1,19	<b>Alcalinidad (cmol<sub>c</sub>/kg)</b>	255
<b>Na (%)</b>	0,18	<b>Conductividad (EC) (mS/m)</b>	1494
<b>Humedad (%)</b>	6,42	<b>pH (H<sub>2</sub>O)</b>	8,03
<b>CaCO<sub>3</sub> (%)</b>	25,8		

**Tabla I.11. Composición y valor fertilizante del estiércol de ave (Mercia, 2001).**

<b>Tipo</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>N (kg/t)</b>	<b>P (kg/t)</b>	<b>K (kg/t)</b>
<b>Estiércol fresco</b>	75,0	13,1	4,5	3,6
<b>Estiércol almacenado</b>	63,9	10,9	5,9	7,2
<b>Yacija de broilers</b>	18,9	32,6	11,3	13,6
<b>Yacija de ponedoras</b>	22,1	22,7	10,4	16,3
<b>Líquido de estiércol</b>	92,0	10,0	5,4	3,2

#### **I.4.2. Correctores de yacija**

Aparte de las estrategias recogidas en las MTDs, existen otras medidas en estudio, para evitar mitigar el impacto medioambiental de la producción de pollos de carne. Un ejemplo son los denominados **“correctores o aditivos de la yacija”** (**“litter amendments”**) que se emplean en las granjas comerciales de avicultura con el objetivo de reducir las emisiones de amoníaco. Su utilidad primaria es en granjas donde se llevan a cabo varios ciclos de crianza de pollos sin renovación de yacija, algo bastante habitual en Estados Unidos, no así en nuestro país, en el que se renueva la cama de las naves de pollos al finalizar cada ciclo de crianza. La acumulación del N de las excretas en la cama de los pollos provoca un ambiente con altas concentraciones de amoníaco que resulta perjudicial para las aves y el medio ambiente.

Dentro de los correctores de yacija distinguimos cinco tipos:

- **Acidificantes:** de entre los que destacamos el sulfato de aluminio, sulfato ferroso y ácido fosfórico, los cuales bajan el pH de la cama perjudicando el crecimiento de bacterias que intervienen en el proceso de formación de amoníaco, pudiendo también afectar al desarrollo de bacterias patógenas como Salmonela (Watkins et al., 2002) o Campylobacter (Line, 2002). Sus efectos van a depender de la edad de los pollos, humedad de la cama, dosis de aplicación y elección del aditivo. **El sulfato de aluminio o “alum”** es un ácido que produce

iones de hidrógeno cuando se disuelve en la cama, los cuales reaccionan con el amoniaco formando iones de amonio que a su vez reaccionan con iones sulfato para formar sulfato de amonio, fertilizante soluble que reduce las emisiones de amoniaco.

- **Alcalinizantes:** como los compuestos cálcicos, aumentan el pH acelerando la formación de amoniaco, se usan entre vaciado y llenado de naves, forzando la ventilación que eliminará dicho amoniaco a la atmósfera, lo que es perjudicial para el medio ambiente.
- **Adsorbentes:** como son las arcillas (tipo zeolita) que fijan el amoniaco directamente o disminuyen la humedad de la cama, lo que reduce la formación de éste. Sus resultados han sido contradictorios, así mientras que Nakaue et al. (1981) recogió leves reducciones de producción de amoniaco, Amon et al. (1997) si constataron grandes disminuciones.
- **Inhibidores de la actividad ureásica:** inhiben a las enzimas, así es el caso del fenil-fosforodiamidato que inhibe la actividad de la ureasa, reduciendo el paso de urea a amoniaco (McCrary y Hobbs, 2001) y a los microorganismos que intervienen en el paso de ácido úrico a amoniaco. Como inconvenientes destacan que tienen un elevado precio y son muy lábiles a factores externos.
- **Tratamientos enzimáticos y microbianos:** microorganismos y enzimas que favorecen el paso de ácido úrico y urea a amoniaco, el cual es ventilado al exterior al final del ciclo de crianza.

Los acidificantes son los correctores de yacija más usados, evitando la liberación de amoniaco al ambiente y a la atmósfera, aumentando su fijación en la cama.

## II. Objetivos

---



Como hemos comentado anteriormente, la normativa vigente, en relación al contenido de la AAI de las actividades que deben ser controladas, señala que se deberán especificar los sistemas y procedimientos para el tratamiento y control de las emisiones y residuos con especificaciones de las metodologías de medición, su frecuencia y los procedimientos para evaluar las emisiones. En este contexto y dadas las dificultades que estas estimaciones plantean, resulta prioritario monitorizar las emisiones.

El objetivo general de este trabajo es estudiar diferentes parámetros relacionados con las emisiones e impacto medioambiental de granjas de pollos de carne, con el fin de poder aplicar medidas correctoras si fuera necesario.

Para ello se han marcado los siguientes objetivos específicos:

1. Evaluar y estimar la tasa de ventilación (volumen de aire evacuado por unidad de tiempo), por el método indirecto de gas indicador usando el CO<sub>2</sub>, en naves comerciales de pollos en el sureste español en diferentes épocas del año.
2. Cuantificar las emisiones de N es forma de gas amoniaco de las granjas a la atmósfera en las condiciones ambientales de producción avícola comercial en el sureste español.
3. Monitorización de la composición de la yacija en materia seca (humedad), N y pH a lo largo del ciclo de crianza del pollo.
4. Efecto de un aditivo acidificante de la yacija sobre la evolución de su composición a lo largo del ciclo de crianza, en condiciones comerciales españolas de no reutilización de cama.

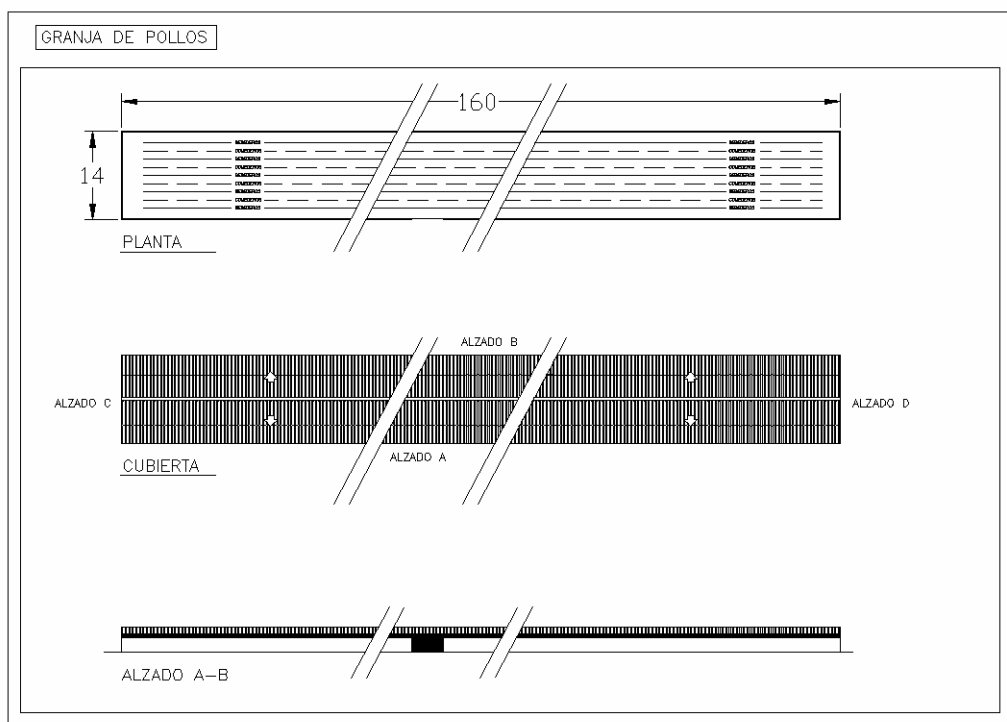
# III. Material y Métodos

---


### III.1. Instalaciones y manejo

Para llevar a cabo nuestro trabajo hemos dispuesto de 3 núcleos de 6 granjas comerciales con una capacidad media de **30.000 pollos cada una**, ubicadas en el término municipal de Jumilla (**Murcia**), pertenecientes a la empresa Avícola Levantina S.A., siendo las condiciones de crianza las habituales llevadas a cabo por esta empresa en condiciones industriales. Las medidas de las granjas fueron de 14 m de ancho x 160 m de largo y estaba dotada de 4 líneas de comederos y 5 de bebederos con cazoleta (Figura III.1).

**Figura III.1. Sistema de alojamiento de pollos para carne.**



La ventilación era de tipo túnel, proporcionada por 8 extractores dispuestos en cada extremo y regulados en función de la temperatura interior-exterior por un autómata, además, disponían de 4 quemadores de propano y sistemas de refrigeración laterales por nebulización de agua (Figura III.2).

**Figura III. 2. Sistema de ventilación de las granjas y potencia de extractores.**


Nº	Caudal de aire (m <sup>3</sup> /h)
2	7.500
1	12.500
5	35.000

El suelo estaba cubierto con 20 cm viruta limpia de pino que era cambiada en cada ciclo de crianza. En todas las pruebas los pollos fueron alimentados ad libitum con los piensos comerciales diseñados y fabricados por la empresa propietaria, basados en trigo-harina de soja en un programa de alimentación en cuatro fases (Tabla III.1).

**Tabla III.1. Alimentación por edades en 4 fases.**

TIPO DE PIENSO	P1	P2	P3	P4
Edad de consumo	1-10 d	11-21 d	22-35 d	36-46 d
Composición (base MF)				
PB (%)	23,0	21,5	20,0	19,0
EM (kcal EM/kg)	2.800	2.870	2.900	2.930

Los pollos, de estirpe Ross 308, eran introducidos en cada nave, machos y hembras al 50% y sin separación de sexo, con un día de vida, procedentes de la misma incubadora y sometidos todos ellos al mismo programa sanitario. El periodo de crianza varió entre ciclo de 42 – 49 d, según las condiciones del mercado. Entre los días 36 – 40 de vida, con un peso aproximado de 2 kg una parte de los pollos eran sacados para matadero como “pollos de asadero”, de este modo la densidad era reajustada a una media de 7,5 pollos/m<sup>2</sup>, que en ningún caso supera el máximo establecido legalmente de 33 kg/m<sup>2</sup> para la cría intensiva de pollo de carne (Directiva 2007/43/CE).

La temperatura y luz fueron controladas durante todas las fases de crianza siguiendo el programa habitual de la empresa (Tablas III.2 y III.3).

**Tabla III.2. Programa de temperatura**

<b>DÍAS</b>	<b>TEMPERATURA (°C)</b>
<b>0-5</b>	32
<b>5-10</b>	30
<b>10-20</b>	28
<b>20-30</b>	26
<b>30-35</b>	24
<b>35-40</b>	22
<b>40-fin</b>	20

**Tabla III.3. Programa de luz**

<b>DÍAS</b>	<b>HORAS DE LUZ / DÍA</b>
<b>0-3</b>	24
<b>4-20</b>	18
<b>20-35</b>	21
<b>35-fin</b>	23

### **III.2. Diseño experimental**

Se han controlado tres ciclos completos de crianza de pollos de carne en diferentes épocas del año:

1. Ciclo de crianza o experimento 1: En este ciclo se han controlado tres granjas de un núcleo de 6. El periodo fue del 4 de abril al 20 de mayo de 2006.
2. Ciclo de crianza o experimento 2: En este ciclo se han controlado tres granjas de un núcleo de 6. El periodo fue del 26 de febrero al 8 de abril de 2007.
3. Ciclo de crianza o experimento 3: En este ciclo se han controlado cuatro granjas de un núcleo de 6. El periodo fue del 28 de noviembre de 2007 al 17 de enero de 2008. Además, se aplicó sulfato de aluminio (alum) como aditivo corrector de la yacija.

En la Tabla III.4 se resumen los ciclos y controles realizados en cada granja.

**Tabla III.4. Fecha de crianza y controles realizados en cada granja.**

	Nº granjas	Fecha crianza	Controles y Ensayos
<b>Ciclo 1</b> <b>(Exp. 1)</b>	3	Abril – mayo 2006	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tasa de ventilación</li> <li>▪ Emisión de NH<sub>3</sub></li> <li>▪ Composición de la yacija</li> </ul>
<b>Ciclo 2</b> <b>(Exp. 2)</b>	3	Febrero – abril 2007	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tasa de ventilación</li> <li>▪ Composición de la yacija</li> </ul>
<b>Ciclo 3</b> <b>(Exp. 3)</b>	4	Noviembre 2007 – enero 2008	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tasa de ventilación</li> <li>▪ Efecto del alum sobre composición de la yacija</li> </ul>

### **III.3. Medida de la tasa de ventilación**

La tasa de ventilación o volumen de aire evacuado por cada granja se ha medido por el método de gas indicador (CIGR, 2002), utilizando como trazador el dióxido de carbono. El principio de este método es el siguiente:

Conociendo la masa en que el gas es introducido o producido en el edificio, se puede usar la ecuación de conservación de la masa para calcular la tasa de ventilación (V):

$$V = \frac{P \text{ CO}_2}{(\text{CO}_2 \text{ dentro} - \text{CO}_2 \text{ fuera}) 10^{-6}}$$

Donde:

V = tasa de ventilación calculada a partir del CO<sub>2</sub> en m<sup>3</sup>/h.

P CO<sub>2</sub> = producción de CO<sub>2</sub> en m<sup>3</sup>/h sobre una base de 24 h.

CO<sub>2</sub> dentro = concentración de CO<sub>2</sub> dentro del aire del edificio en ppm.

CO<sub>2</sub> fuera = concentración de CO<sub>2</sub> fuera del aire del edificio en ppm.

La  $P_{CO_2}$  de la masa animal que hay en el edificio se puede calcular a partir de su relación con la producción total de calor de los animales, ya que ambas están íntimamente relacionadas. La producción total de calor de los animales puede ser estimada a partir de las siguientes ecuaciones en broilers:

$$PTC_{20^\circ} = 10,62 M^{0,75}$$

Donde:

PTC es la producción total de calor en vatios (W) en zona de 20 °C.

M = Masa en kg (es la masa por animal)

Cuando la temperatura no es de 20 °C se aplica una corrección para la temperatura (t) en la PTC según:

$$PTC_t = PTC_{20^\circ} + 0,020(PTC_{20^\circ}) (20-t)$$

Donde:

PTC es la producción total de calor en vatios

M = Masa en kg

t = temperatura real en °C.

En este método se necesita conocer la PTC en el edificio por unidad productora de calor (hpu). Un hpu se define como la unidad productora de calor y equivale a 1000 W de calor total a 20 °C. Por tanto en un edificio para conocer las hpu que hay se aplica:

$$hpu = PTC/1000$$

Producción de  $CO_2$ , se estima entre 0,17-0,20  $m^3/h/hpu$ , en nuestro caso hemos aplicado un valor de 0,185  $m^3/h/hpu$  (CIGR, 2002).

$$P_{CO_2} = 0,185 \times hpu, \text{ en } m^3/h$$

A partir de esta base teórica hemos calculado la tasa de ventilación diaria durante los días de crianza en cada nave. Para ello, hemos usado las siguientes medidas:

- El nivel medio de  $CO_2$  dentro y fuera de los edificios se ha controlado mediante medidores de gases instalados permanentemente dentro y fuera de las naves en las zonas de entrada y salida de aire respectivamente. Los medidores usados fueron X-AM 7000 (Dräger, Alemania, Figura III.3) y estaban dotados de sensores infrarrojos para medir la concentración de  $CO_2$  (0-50000 ppm).

Disponían además de un data logged (unidad para almacenamiento de datos medidos) donde se registró la media de las medidas realizadas cada 10 min. durante las 24 h del día, es decir, 144 medidas al día. Los medidores eran volcados cada 7 días. Para determinar la tasa de ventilación se ha utilizado la media de 24 h. Los sensores de CO<sub>2</sub> fueron calibrados antes de comenzar cada ciclo de crianza.

**Figura III. 3. Medidores utilizados en el trabajo.**



- La temperatura media de cada día fue registrada mediante seis sondas de temperatura localizadas en el interior de cada nave. Los datos quedaban registrados en los controladores de los edificios.
- La masa de pollos en cada nave se estimó diariamente. Para ello, se han controlado las bajas y se ha modelizado el crecimiento de los pollos de cada ciclo aplicando la ecuación de Gompertz. Para dar valores a la ecuación semanalmente eran pesados 100 pollos por granja muestreados aleatoriamente.

#### **III.4. Medida de la emisión de amoniaco**

La emisión de nitrógeno en forma de gas tiene lugar fundamentalmente como amoniaco, por lo tanto para cuantificar estas emisiones es necesario conocer la tasa de ventilación, cuyo cálculo explicamos en el apartado anterior, y el contenido en amoniaco del aire en el interior de las naves. El contenido en amoniaco del aire en el interior de las naves fue controlado cerca de la zona de salida del aire de los edificios, con los mismos medidores descritos anteriormente mediante un sensor catalítico para amoniaco (0-200 ppm). Los medidores fueron colocados a un metro de altura desde el suelo aproximadamente. El



número de medidas diarias y el almacenamiento de los datos fue el mismo que el utilizado para el CO<sub>2</sub>.

### **III.5. Evolución de la composición de la yacija**

Se han realizado dos estudios sobre la yacija de los pollos:

1. En los Experimentos 1 y 2 se estudió de la composición de la yacija mediante muestras semanales para caracterizar la evolución del contenido en materia seca (humedad), nitrógeno y pH.
2. En el Experimento 3 se estudió el efecto de un acidificador de la yacija. Para ello, se utilizaron cuatro naves, en dos de ellas se aplicó manualmente sulfato de aluminio (alum) como corrector de la yacija a razón de 250 g/m<sup>2</sup> el día anterior a la entrada de pollos quedando las otras dos naves como control.

En las dos pruebas, la yacija se muestreó cada semana hasta el fin del experimento, recogiendo 10 muestras de cada media nave, cada muestra de yacija comprendía un área de 17 x 12 cm<sup>2</sup>. Las muestras se recogían de zonas alejadas de ventanas, comederos y bebederos. Las 10 muestras obtenidas de cada media nave y día fueron homogeneizadas, molidas (luz de malla 0,5 cm) y congeladas -20 °C para su posterior análisis.

Las determinaciones analíticas realizadas a las muestras congeladas fueron materia seca (MS), mediante desecación a 80 °C hasta peso constante y nitrógeno (N) total en la muestra fresca, según la AOAC (1990). También fue determinado el pH según Peters et al. (2003). En las muestras de yacija recogidas en el experimento 3 fue determinada además la conductividad eléctrica (CE) según Peters et al. (2003), y el contenido en P total, P soluble, Zn total, Zn soluble, Cu total, Cu soluble y N-NH<sub>4</sub>, tal y como indican Moore et al. (2000).

### **III.6. Tratamiento estadístico**

Los caracteres estudiados estadísticamente fueron los siguientes: MS, N total, pH, CE, P, Cu y Zn total y soluble.

Las variables o caracteres se evaluaron mediante análisis de covarianza (ANCOVA) utilizando el procedimiento GLM del paquete estadístico STATGRAPHICS (2000). El modelo lineal incluía los factores tratamiento (sulfato de aluminio *vs.* control) y días o tiempo de crianza como variables categórica y lineal, respectivamente.

Inicialmente, para seleccionar el modelo se procedió de forma jerárquica ajustando al modelo más complejo. Las pendientes de regresión entre tratamientos fueron comparadas con el Modelo 1, y si éstas no eran significativamente diferentes, una pendiente común era usada y los interceptos comparados (Modelo 2).

#### **Modelo 1**

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_i(X_{ij} - \bar{X}_i) + \varepsilon_{ij}$$

#### **Modelo 2**

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta(X_{ij} - \bar{X}_i) + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  es la variable en estudio.

$\mu$  representa la media o promedio general.

$\alpha_i$  es la diferencia entre la media de cada nivel  $i$  ( $i$ th nivel) de la variable categórica (tratamiento) y la media general.

$\beta_i$  es la pendiente de regresión de  $Y$  sobre el nivel  $i$  ( $i$ th nivel) de la variable categórica.

Para la comparación de los dos modelos, un F-ratio fue calculado de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$F = \frac{(\text{SCR}^{\text{Modelo2}} - \text{SCR}^{\text{Modelo1}}) / (\text{g.l.}^{\text{Modelo2}} - \text{g.l.}^{\text{Modelo1}})}{\text{SCR}^{\text{Modelo1}} / \text{g.l.}^{\text{Modelo1}}}$$

Donde, SCR son las sumas de cuadrados residuales y g.l. los grados de libertad. Este ratio sigue una distribución F con g.l. <sup>Modelo 2</sup> - g.l. <sup>Modelo 1</sup> grados de libertad en el numerador y g.l. <sup>Modelo 1</sup> grados de libertad en el denominador (Lazic, 2008).

## IV. Resultados y Discusión

---

### **IV.1. Tasa de ventilación. Efecto de la temperatura.**

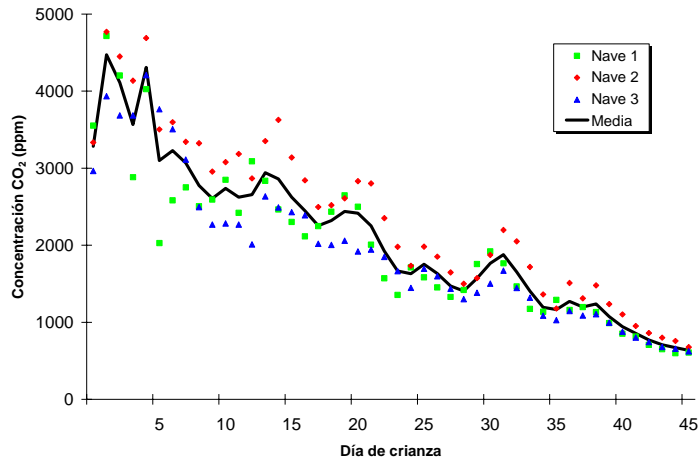
En todos los ciclos de crianza de broilers de este estudio se ha estimado la tasa de ventilación (volumen de aire evacuado por unidad de tiempo) por el método indirecto del gas indicador o “tracer gas” (CIGR, 2002), determinándose el nivel de CO<sub>2</sub> en las naves a lo largo de cada ciclo productivo en las pruebas experimentales. En la Figura IV.1 se exponen los resultados medios obtenidos de la concentración de CO<sub>2</sub> (ppm) durante 3 ciclos de producción en diferentes periodos de tiempo: de abril a mayo en el 2006 (Exp. 1), de febrero a abril en 2007 (Exp. 2) y de noviembre de 2007 a enero de 2008 (Exp. 3).

La tasa de ventilación se puede estimar utilizando dos tipos de métodos: directos o indirectos. Para realizar una medida directa fiable es necesario conocer gran número de datos técnicos de las construcciones ganaderas (número de ventiladores, potencia, tiempo de funcionamiento, etc.), sin embargo estos aspectos a veces son difíciles de determinar, ya que puede haber gran heterogeneidad en la localización, el número de ventiladores, e incluso la ausencia de un registro de funcionamiento. Además, en las construcciones ganaderas que realizan ventilación natural los métodos directos no se pueden utilizar. Estos inconvenientes son superados con los métodos de medición indirectos, los cuales realizan estimaciones basadas en ecuaciones de balances de diversos factores, tales como el CO<sub>2</sub>, la humedad o el calor, para lo cual se miden parámetros como la concentración de CO<sub>2</sub>, el % de humedad y la temperatura, dentro y fuera de la nave que aloja los animales (Blanes y Pedersen, 2005).

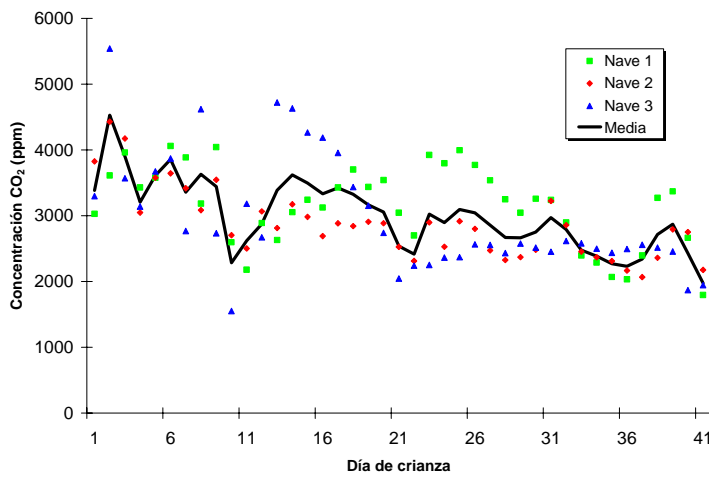
En instalaciones para aves, diversos métodos indirectos han sido evaluados, destacando los trabajos de Pedersen et al. (1998), que en granjas de gallinas ponedoras utilizan las mediciones de CO<sub>2</sub>, % de humedad y temperatura para calcular la tasa de ventilación, aunque no comparan sus resultados con medidas reales; de Pedersen y Thomsen (2000), que utilizaron ecuaciones de balance de humedad y temperatura en granjas de broilers; y de Li et al. (2005), que compararon la tasa de ventilación medida y calculada por balance de CO<sub>2</sub> en gallinas ponedoras, encontrando buenos coeficientes de correlación ( $R^2 = 0,904 - 0,956$ ). Así, autores como Hayes et al. (2006) utilizan en granjas de producción intensiva avícola el método de balance de CO<sub>2</sub> como técnica de elección

para estimar la tasa de ventilación en sus estudios de emisión de gases y olores a la atmósfera.

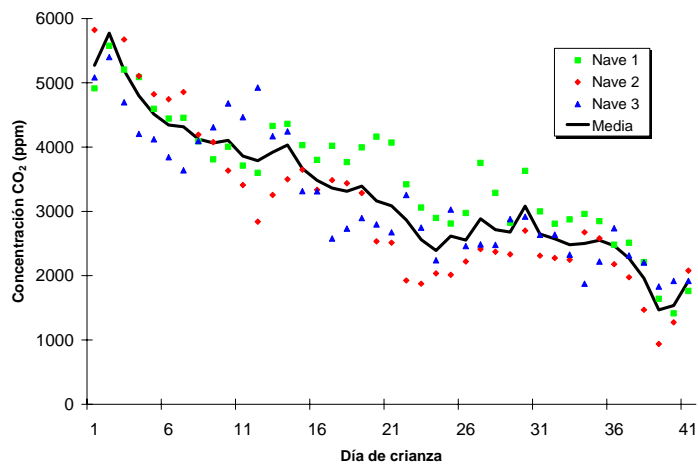
**Figura IV.1. Concentración de CO<sub>2</sub> (ppm) en las naves a lo largo de cada ciclo productivo en las pruebas experimentales.**



Exp. 1



Exp. 2



Exp. 3

Atendiendo a la base teórica del método que nosotros hemos utilizado en nuestro trabajo, éste utiliza el CO<sub>2</sub> como gas indicador. El CO<sub>2</sub> está relacionado con la actividad metabólica del animal, pudiéndose predecir la producción del mismo conociendo ciertos parámetros, como la masa animal dentro de la construcción ganadera en estudio. De tal manera que cabe esperar que a mayor masa animal, mayor actividad metabólica, mayor producción de calor y por tanto, mayor cantidad de CO<sub>2</sub> producido. Sin embargo, aunque la cantidad del CO<sub>2</sub> aumente, la concentración del mismo en la nave dependerá de la tasa de ventilación en la misma, pudiéndose, por este método indirecto, estimar así el volumen de aire evacuado por unidad de tiempo.

En todos los ciclos estudiados de nuestro experimento, la evolución de la concentración de CO<sub>2</sub> encontrada, respondió a un descenso paulatino de los niveles de CO<sub>2</sub> en las naves conforme aumentaba el tiempo de crianza. Por lo que los resultados observados en nuestro estudio, responden a profundos cambios en la tasa de ventilación. Así, al inicio de cada ciclo los niveles de CO<sub>2</sub> fueron altos, próximos a 4000 ppm, e incluso superiores en la Experiencia 3 desarrollada de noviembre a enero de 2008, disminuyendo a concentraciones de CO<sub>2</sub> inferiores, desde los 5-10 días del comienzo de la crianza hasta el final del ciclo en las tres experiencias. La alta concentración de CO<sub>2</sub> al inicio de la crianza se corresponde con la necesidad de mantener una temperatura interior de 32 °C los primeros 5 días de vida de los pollos y 30 °C entre los 5 -10 días, por lo que la tasa de ventilación debió ser baja con el fin de optimizar la temperatura interior, efecto que fue más acusado en la Experiencia 3 desarrollada en meses más fríos.

El dióxido de carbono se encuentra presente en la atmósfera de forma natural (310-330 ppm), aunque actualmente está aumentando su concentración debido a la quema de combustibles fósiles, y se considera un gas con efecto invernadero. En las granjas este gas proviene mayoritariamente de la propia respiración de los animales, aunque también se puede originar por degradación de componentes orgánicos (Miles et al., 2006). En la Directiva 2007/43/CE se establecen las disposiciones mínimas para la protección de los pollos destinados a la producción de carne, estableciendo que la concentración de dióxido de carbono no debe superar las 3000 ppm medidas al nivel de la cabeza de los pollos.

En la Figura IV.2 se presentan los resultados de la tasa de ventilación ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) y la temperatura exterior (máxima y mínima  $^{\circ}\text{C}$ ) a lo largo de cada ciclo productivo en las pruebas experimentales. Así, se observa que la evolución de las tasas de ventilación de las naves para los tres experimentos, responde a un incremento de la ventilación conforme avanza el ciclo de crianza, sin embargo cabe destacar que el ciclo de la Experiencia 1, realizada durante abril a mayo del 2006, estuvo sometido a unas tasas de ventilación que llegaron a ser superiores a  $60 \text{ m}^3/\text{s}$  al final de la crianza, más del doble que en los otros ciclos estudiados (Exp. 2 y 3). Este efecto está relacionado con la temperatura exterior, de tal manera que cuando las temperaturas externas son más bajas la tasa de ventilación disminuye y viceversa. Así, en nuestro experimento los ciclos realizados durante los meses más fríos, de febrero a abril en 2007 (Exp. 2) y de noviembre de 2007 a enero de 2008 (Exp.3), obtuvieron tasas de ventilación inferiores que en el ciclo realizado de abril a mayo del 2006. Por otro lado, el programa de temperatura aplicado para la crianza está regulado por los calefactores y la tasa de ventilación de las naves. Además cuando la temperatura exterior sube por encima de la programada dentro de las naves es necesario enfriar el aire que entra mediante nebulización de agua. A partir de los 40 días de vida la temperatura dentro de la nave debe ser de  $20^{\circ}\text{C}$ , temperatura inferior a la existente en el exterior en las horas de más calor en el mes de mayo.

Li et al. (2005) estiman la tasa de ventilación por balance de  $\text{CO}_2$ , en construcciones para gallinas ponedoras, obteniendo resultados similares a los nuestros; así encuentran que la diferencia entre la concentración de  $\text{CO}_2$  interna y externa varía de 206 a 3089 ppm durante el periodo de medida, determinando la máxima diferencia (mayor concentración de  $\text{CO}_2$  en el interior de la nave) en invierno, estimando una tasa de ventilación de  $0,43 \text{ m}^3/\text{h}$  y ave, mientras que las mínimas diferencias en la concentración interna y externa de  $\text{CO}_2$  las encuentran en verano, estimando las tasas de ventilación e  $5,28 \text{ m}^3/\text{h}$  y ave.

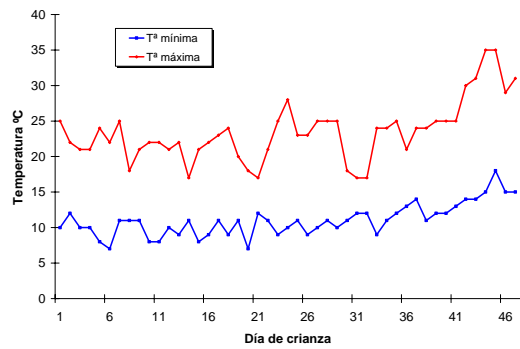
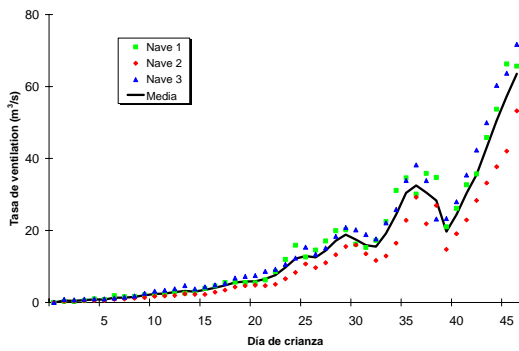
En las naves de nuestro estudio la regulación de la ventilación se basa en la optimización de la temperatura en el interior de la nave, siendo utilizado como el factor de climatización principal. Sin embargo la implantación de sistemas que integren más parámetros para adecuar las condiciones ambientales de las naves supone en la actualidad un nuevo reto ya que, según la Directiva 2007/43/CE, se establece que el



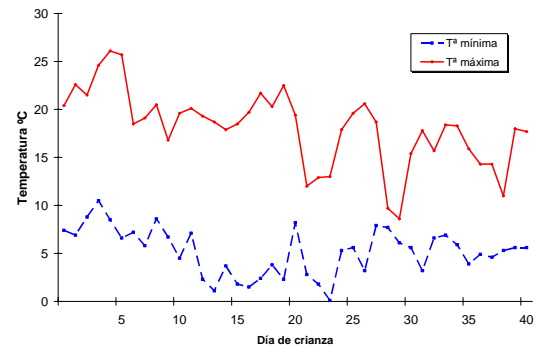
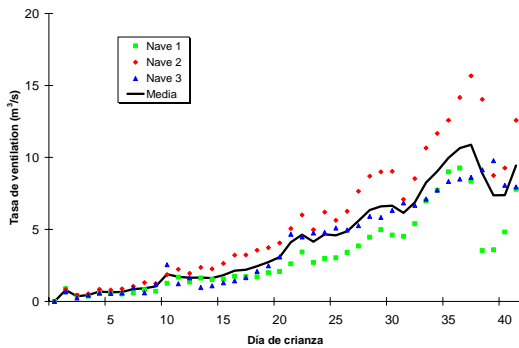
propietario o criador velará por que las explotaciones para pollos estén equipadas con sistemas de ventilación y, si fuese necesario, de calefacción y refrigeración, diseñados, contruidos y utilizados de manera que la concentraciones de gases como  $\text{NH}_3$  y  $\text{CO}_2$ , la temperatura o la humedad se mantengan dentro de los límites establecidos.

**Figura IV. 2. Tasa de ventilación ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) y temperatura exterior (máxima y mínima  $^\circ\text{C}$ ) a lo largo de cada ciclo productivo en las pruebas experimentales.**

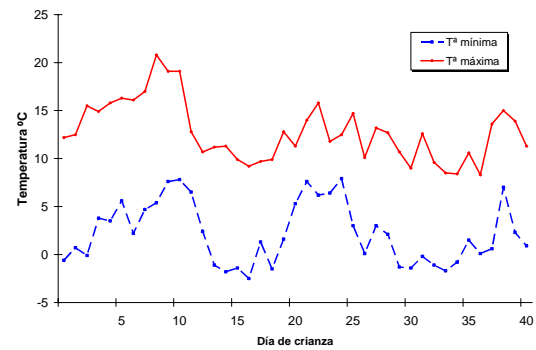
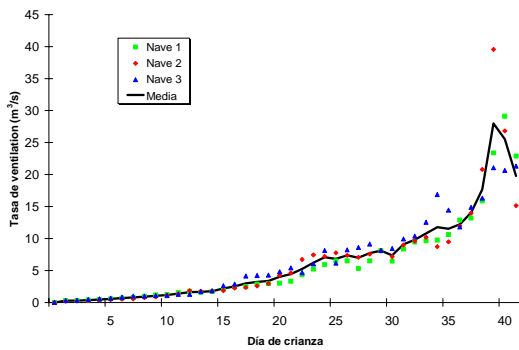
Exp. 1



Exp. 2



Exp. 3



El conocimiento de las tasas de ventilación de una forma fiable se hace necesario en una producción animal sostenible que tenga en cuenta el bienestar animal y el medioambiente, con el fin de conseguir diseñar y programar sistemas de climatización que garanticen el mantenimiento de las condiciones ambientales óptimas. Así, actualmente la necesidad de monitorizar la tasa de ventilación en construcciones ganaderas es un objetivo de gran interés, ya que ésta se relaciona con dos aspectos muy importantes de la producción animal. En primer lugar determina el clima interior y la calidad del aire dentro de la construcción, y por tanto esto afecta al confort de los animales. Y en segundo lugar, la tasa de ventilación también se encuentra ligada con aspectos ambientales, presentando una gran influencia sobre las tasas de emisión de gases de las granjas (Blanes y Pedersen, 2005).

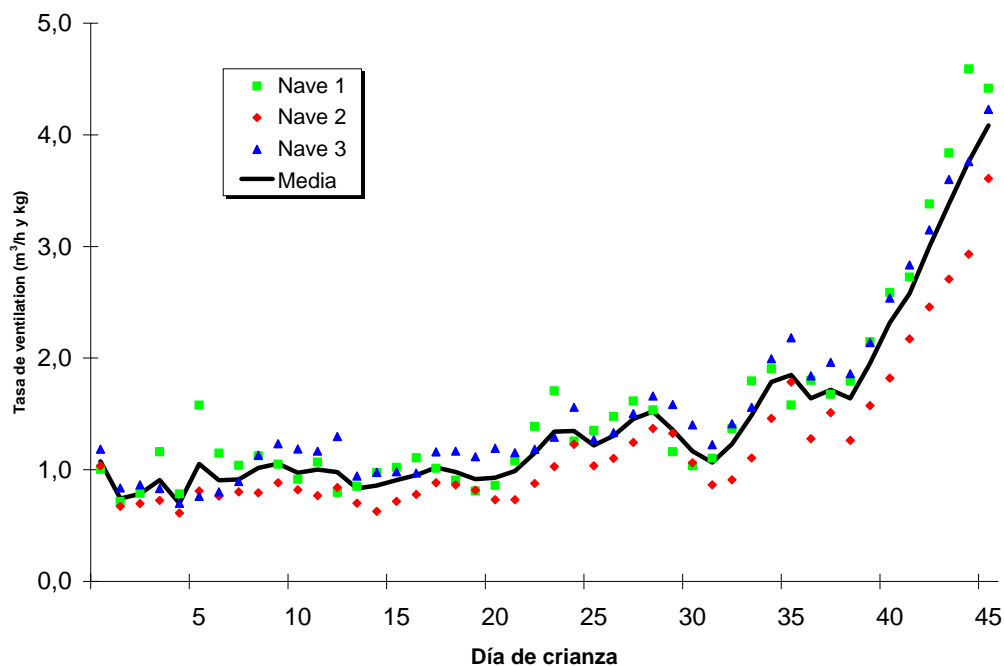
## **IV. 2. Emisión de amoniaco**

Para cuantificar las emisiones de nitrógeno en forma de gas amoniaco de las granjas a la atmósfera es necesario conocer la tasa de ventilación, además de la concentración del amoniaco en el aire evacuado por unidad de tiempo de las construcciones ganaderas. En nuestro estudio, se ha realizado la determinación de ambos parámetros en la experiencia llevada a cabo de abril a mayo del 2006.

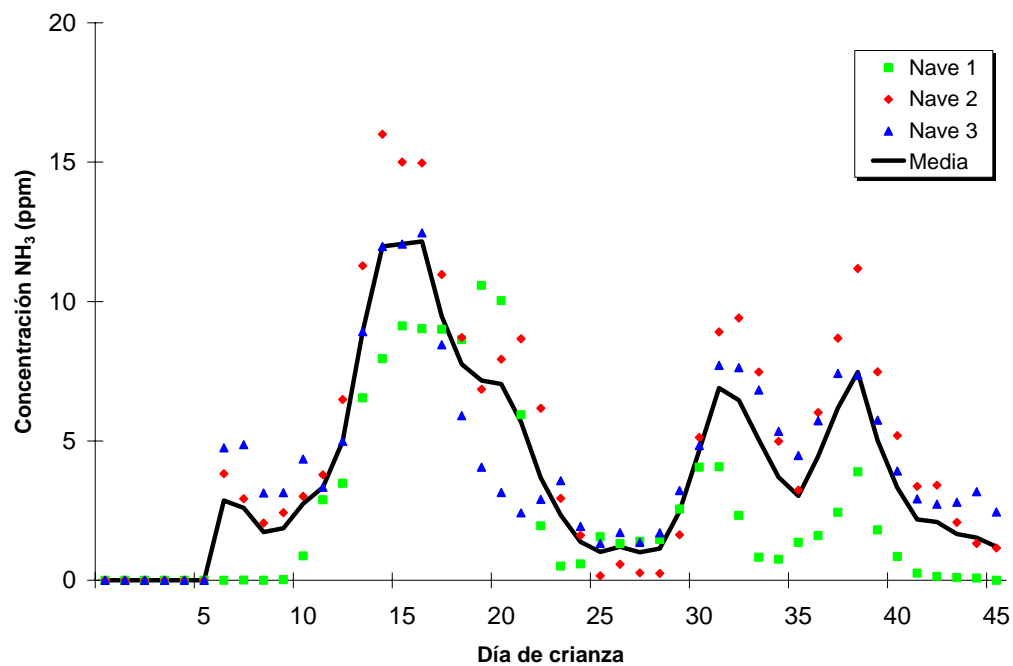
En la Figura IV.3 se presentan los resultados de la evolución de la tasa de ventilación en las naves a lo largo del ciclo de crianza en términos de  $\text{m}^3/\text{h}$  y kg de pollo, estimados a través del método del gas indicador, como hemos comentado anteriormente; y en la Figura IV.4 se exponen los resultados obtenidos de concentración de  $\text{NH}_3$  (ppm) durante un ciclo de producción completo.

La evolución de la concentración de  $\text{NH}_3$  en la nave no superó las 20 ppm ningún día a lo largo del ciclo productivo. Sin embargo, sobre el día 15 de crianza se observaron los mayores niveles de amoniaco ( $> 10$  ppm), posteriormente estas concentraciones descendieron conforme aumentaba la tasa de ventilación, aunque a partir de día 30 se observaron dos picos dentro del rango de 5-10 ppm de amoniaco, a pesar de que la tasa de ventilación aumentó más del doble hacia el final del ciclo.

**Figura IV.3. Tasa de ventilación (media diaria) en las naves a lo largo del ciclo de crianza.**



**Figura IV.4. Niveles medios diarios de amoniaco en las naves de pollos a lo largo del ciclo de crianza.**



Guiziou y Béline (2005) realizaron un estudio para evaluar las emisiones de amoníaco y gases de efecto invernadero en explotaciones de broilers en Francia, observando como la concentración de  $\text{NH}_3$  aumentó hasta alcanzar los valores más elevados sobre la segunda semana (32 ppm), descendiendo posteriormente debido al aumento de la tasa de ventilación, aunque manteniéndose en niveles elevados ( $> 10$  ppm).

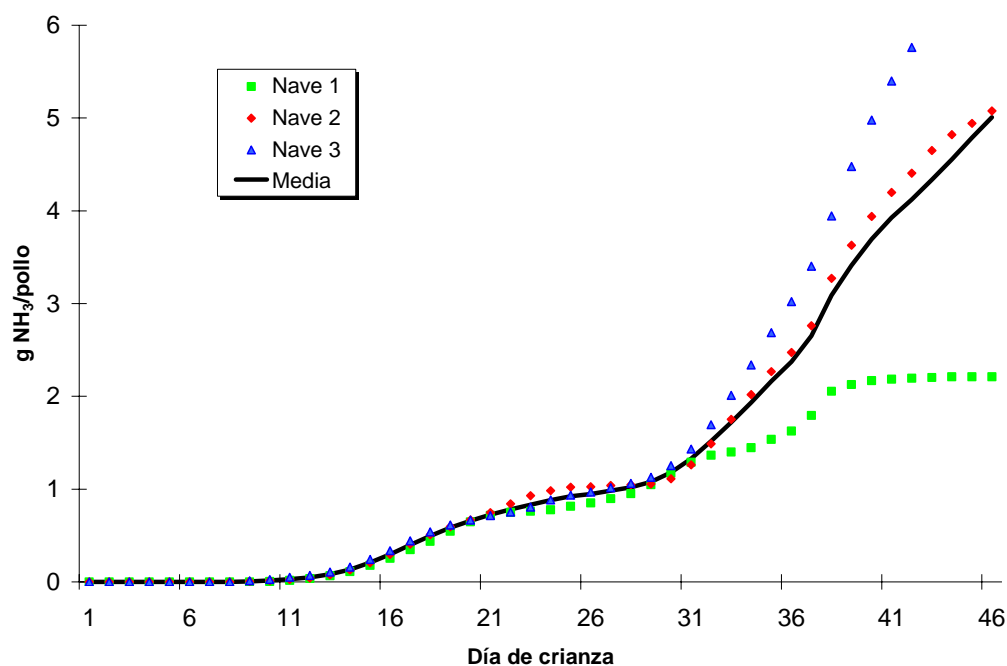
Una de las principales preocupaciones de la calidad del aire en las explotaciones ganaderas es el amoníaco (NRC, 2003). Este gas, incoloro y de olor picante, puede irritar las mucosas y el sistema respiratorio de los pollos, disminuyendo su resistencia a infecciones y perjudicando su crecimiento y la eficiencia de conversión (Miles et al. 2004), además resulta molesto y nocivo para el personal, y es uno de los agentes responsables de los malos olores de las explotaciones ganaderas (Robertson et al., 2002). Así, a concentraciones superiores a 20 ppm de amoníaco pueden comenzar a aparecer efectos indeseados en las aves, siendo especialmente dañinos al rebasar las 50 ppm. La Directiva 2007/43/CE establece las disposiciones mínimas para la protección de los pollos destinados a la producción de carne, señalando que la concentración de amoníaco no debe superar las 20 ppm medidas al nivel de la cabeza de los pollos.

Hayes et al. (2006) en un estudio realizado en explotaciones intensivas de producción de broilers en Irlanda durante tres estaciones, invierno, primavera y verano; encuentran concentraciones medias de amoníaco de 8,8, 9,7 y 9,8 ppm de  $\text{NH}_3$  para cada estación respectivamente, así como máximos y mínimos semejantes a los encontrados en nuestro estudio. También, otros autores como Robertson et al. (2002) en el Reino Unido determinan niveles de  $\text{NH}_3$  inferiores a 15 ppm en la mayoría de las mediciones realizadas durante el ciclo de crianza de broilers en 4 naves que alojaban 34.000 pollos cada una, observando como sus mediciones fueron menores comparadas con otros estudios anteriores en explotaciones con peores condiciones técnicas de climatización. Así, en estudios más antiguos como los de Elwinger y Svensson (1996), Wathes et al. (1997) y Seedorf y Hartung (1999) encuentran concentraciones de 10-43, 12-24 y 21 ppm respectivamente.

En la Figura IV.5 se exponen los resultados obtenidos de la cuantificación de la cantidad de amoníaco acumulado ( $\text{g NH}_3/\text{pollo}$ ) emitido en la crianza de cada pollo en las naves. En la literatura científica es conocido que la emisión de amoníaco aumenta con la edad de las aves (Pescatore et al., 2005), ya que a lo largo del ciclo de crianza la

emisión de amoníaco se incrementa debido a la acumulación de excretas de las aves y al crecimiento microbiano en la yacija. En nuestro estudio la cantidad media acumulada de amoníaco para el ciclo de crianza fue de 5g NH<sub>3</sub>/ pollo (4,11g N-NH<sub>3</sub>/ pollo), resultando inferior al encontrado por otros autores como Demmers et al. (1999) que estima 10 g N-NH<sub>3</sub>/ pollo, o los acumulados estimados por Elwinger y Svenson (1996) de 21,4 g N-NH<sub>3</sub>/ pollo y por Wathes et al. (1997) de 26,2 g N-NH<sub>3</sub>/ pollo, si bien en artículos más recientes como el de Guiziou y Béline (2005) se determinan niveles medios de acumulados más próximos a los obtenidos en nuestro estudio (5,74 g N-NH<sub>3</sub>/ pollo) para sistemas de producción de broilers.

**Figura IV.5. Cantidad media de amoníaco acumulado (g NH<sub>3</sub> / pollo) emitido en la crianza de cada pollo en las naves.**



Las diferencias observadas en los trabajos se deben a numerosos factores tales como la duración del ciclo productivo, la alimentación, las condiciones de climatización, instalaciones, el tipo de yacija e incluso el manejo. Así existen trabajos que estudian varios de estos factores con el fin de optimizar las condiciones de producción para mitigar las emisiones de amoníaco en los alojamientos en los sistemas de producción intensivos de aves. Robetson et al. (2002) estudia como afecta, a la emisión de amoníaco, la manipulación del nivel de proteína en dietas de broilers, en proporción de un 85, 90, 100 o 110 % en referencia a un control comercial, encontrando que el ratio de

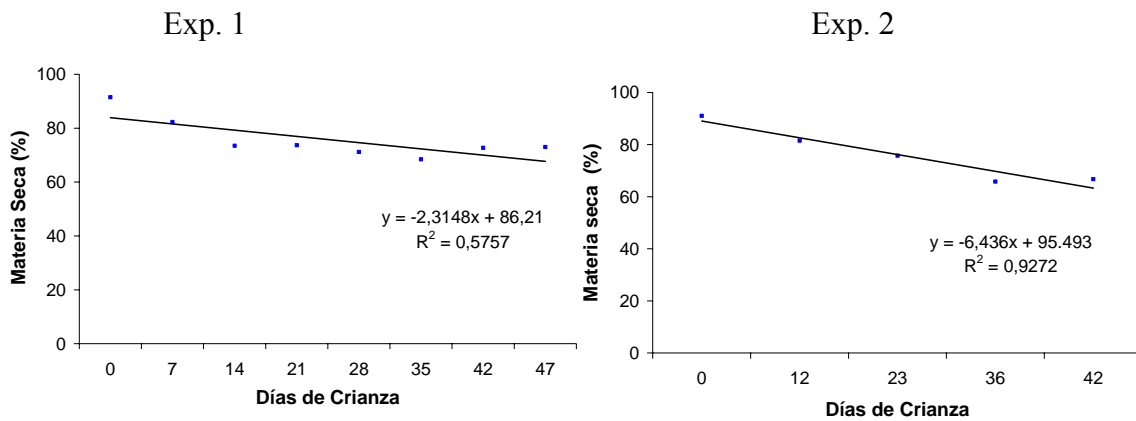
emisión de amoniaco se incrementa más rápidamente en las naves que consumían mayores niveles de proteína. Otros autores estudian el efecto de la estación en la emisión de amoniaco, observando que en los meses de verano la emisión de amoniaco es mayor (Nicholson et al., 2004; Hayes et al., 2006), efecto debido posiblemente a la mayor tasa de ventilación en las naves. Asimismo, la yacija (tipo y cantidad), el bebedero y otros elementos condicionan la emisión de amoniaco.

En la actualidad, las decisiones para optimizar el ambiente de los sistemas de producción intensiva de aves deben basarse en una información completa y fiable que abarque la monitorización del ciclo productivo, por lo que la determinación de las emisiones de gases, como el amoniaco, pueden suponer un gran avance para mejorar los aspectos de diseño de programas de mejora en los sistemas de producción, así como cumplir las normativas ambientales. Además, en el presente contexto, la cuantificación de las emisiones de gases contaminantes debe realizarse de forma sistemática en aras de obtener informaciones más directas sobre las emisiones de gases.

### **IV. 3. Evolución de la composición de la yacija**

Para completar el control de contaminantes al medioambiente de las granjas de cría de pollo de carne se realizó el estudio sobre la evolución de la composición de la yacija en dos ciclos de cría (Exp. 1 y Exp. 2). El material utilizado de cama en todos los experimentos fue viruta de pino limpia, con una composición media aproximada del 90% de MS, 0,19% de N y un pH de 6.

El contenido en materia seca de la cama de las naves (Figura IV. 6) fue disminuyendo conforme avanzaba la edad de los pollos. En el experimento 1, la disminución fue más o menos constante hasta los 35 días de vida (68,4% de MS; 31,6% de humedad) de los animales, a partir de los cuales, subió el contenido en materia seca de la yacija alcanzando un 73% de MS la yacija a los 47 días o fin del experimento. En el experimento 2, la evolución del contenido en materia seca de la yacija fue similar, pero en esta prueba, los valores se ajustaron mejor a un modelo lineal decreciente ( $R^2 = 0,5757$  vs  $0,9272$ , para el Exp. 1 y Exp. 2, respectivamente). En cualquier caso, en el Exp. 2, también a partir de los 35 días, el nivel de materia seca de la yacija no aumentó (65,8% y 66,7% MS los días 35 y 42 respectivamente).

**Figura IV. 6. Evolución de la cantidad de materia seca (%) de la yacija de pollo.**

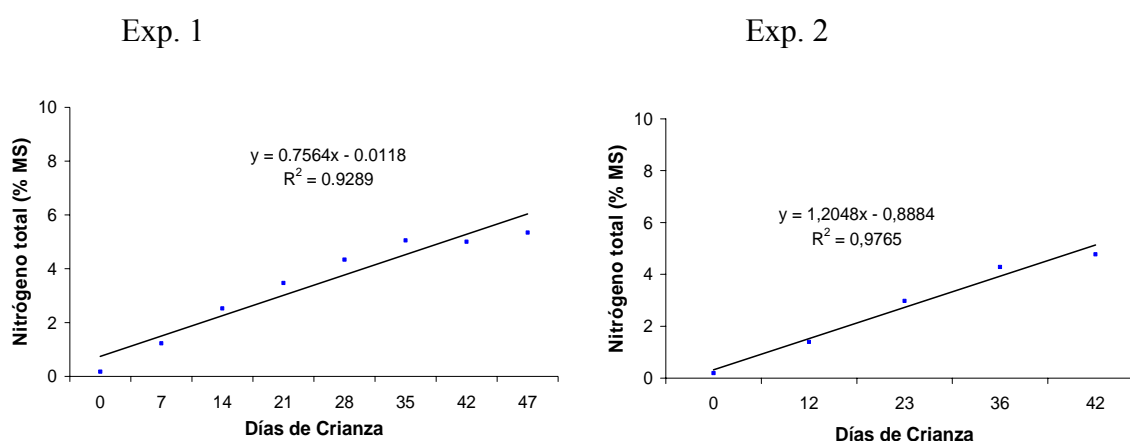
Así, en ambos experimentos se observó una disminución del contenido en materia seca de la yacija hasta los 35 días de vida. Después de ese día, la yacija mantuvo la misma humedad (Exp. 2: 33,2% de humedad a 42 días) o incluso se desecó (Exp. 1: 26,9% de humedad a 47 d), dependiendo de la magnitud de la subida de la tasa de ventilación en cada ciclo (Figura IV. 2).

Nuestros datos fueron similares a los indicados por Coufal et al. (2006) para crianzas de broilers de 40 a 42 días sobre cascarilla de arroz, donde los niveles de humedad en la yacija fluctuaron entre 23,4 y 29,1% (76,6 y 70,8% de MS).

El contenido en humedad de la yacija es extremadamente variable en función de tipo y cantidad de cama usada, cambio de cama entre crianzas, densidad de animales, sistemas de bebederos, tasa de ventilación, alimentación, etc.; por ello, el rango de valores publicados es muy amplio (Henuk y Dingle, 2003). Sin embargo, es un criterio unánime que el contenido en humedad de la yacija de pollos es uno de sus principales parámetros de calidad. Por un lado, un mayor contenido en humedad empeora el bienestar y condiciones sanitarias en los animales, provocando una mayor incidencia del mal de patas, problemas respiratorios, mayor supervivencia de los virus, etc. Por otro, cuanto más humedad contenga la yacija, mayor impacto medioambiental causará por varias razones: aumenta el peso y volumen de la cantidad de cama a eliminar, almacenar y reutilizar, lo que causa más impacto y supone más gasto económico; promueve un mayor desarrollo de insectos voladores e incrementa la velocidad de emisión de amoníaco al aire (Francesch y Brufau, 2004).

El contenido en N de la yacija se incrementó linealmente (Figura IV. 7) a medida que avanzaba la crianza ( $R^2 = 0,9289$  y  $0,9765$  para el Exp. 1 y 2, respectivamente), alcanzando unos niveles medios finales de 5,34 % de la MS a los 47d en el Exp. 1 y 4,78 % de la MS a los 42d en el Exp. 2. Estos valores son inferiores al 6,5% de la MS indicado por López et al. (2008) en granjas del noroeste de España con cascarilla de arroz como cama, probablemente debido a que la yacija analizada por estos autores procedía de ciclos de crianza de 60 días y la densidad de pollos fue muy elevada (20 pollo/ m<sup>2</sup>). Sin embargo, los mismos autores indican que el contenido de N de la yacija publicado en otros trabajos (14 en total) varió entre 2,6 y 5,3 % de la MS, rango en el que están comprendidos nuestros resultados.

**Figura IV. 7. Evolución de la cantidad de nitrógeno (% MS) de la yacija de pollo.**



El N excretado por los pollos es mayoritariamente en forma de ácido úrico (70%) procedente de la orina y como proteínas no digeridas presentes en heces. El ácido úrico posteriormente es degradado por las uricasas de los microorganismos presentes en la yacija, dando como producto final amoniaco. El ritmo de degradación del ácido úrico es variable y es afectado por el pH (pH óptimo para actividad uricasa es 9) y la humedad entre otros factores. Por otro lado, como resultado de la degradación habrá amonio (no volátil,  $\text{NH}_4^+$ ) a pH más ácidos o cercanos a la neutralidad o amoniaco (volátil,  $\text{NH}_3$ ) cuando el pH es alcalino (Nahm, 2005).

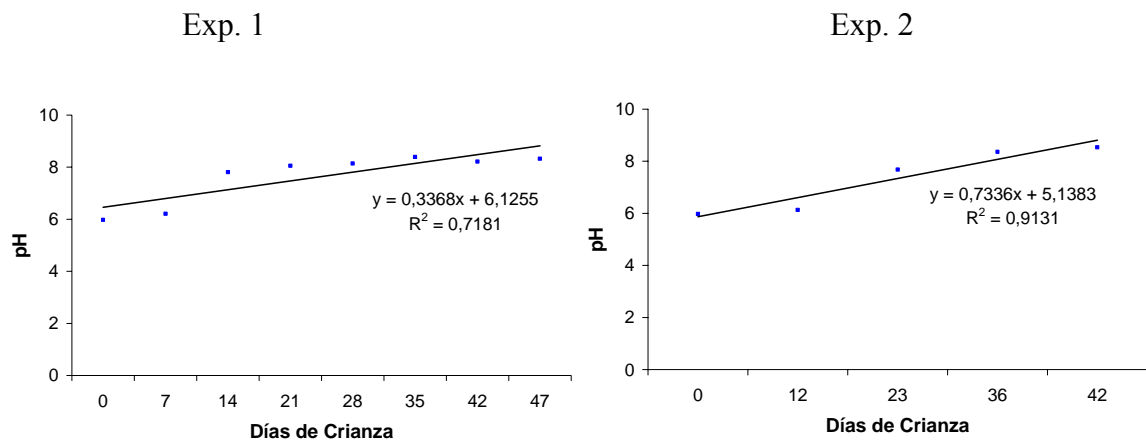
En la Figura IV.8 se presenta la evolución del valor de pH de la yacija en las dos experiencias estudiadas. El valor inicial estuvo cercano a 6, valor típico de la cama de virutas de pino e inferior al de otros materiales como la cascarilla de arroz que tiene un pH cercano a 7 (Nahm, 2003). Conforme avanzó la crianza el pH fue incrementándose



linealmente ( $R^2 = 0,7181$  y  $0,9131$  para la Exp. 1 y Exp. 2 respectivamente), alcanzándose los niveles máximos en el Exp. 1 a los 35 d (pH = 8,40) y en la Exp. 2 a los 42 d (pH = 8,57). La subida del pH de la yacija es el resultado de las deyecciones de las aves y de la actividad microbiana en la yacija; en este último apartado la degradación del ácido úrico hasta amoníaco es uno de los principales agentes alcalinizantes.

En ambas experiencias se observa como la evolución del pH fue similar a la del contenido en materia seca. Así en la Exp. 1, después del día 35 el pH y la humedad de la yacija bajaron, fenómenos no observados en la Exp. 2. Estos hechos pudieron ser debidos a que la reducción en la humedad de la cama en la Exp. 1, afectó negativamente a la actividad microbiana y por tanto a la formación de amoníaco de naturaleza alcalina. De este modo, la tasa de ventilación de las naves también afecta el pH de la yacija, hecho que ya había sido descrito por otros autores (Francesch y Brufau, 2004).

**Figura IV. 8. Evolución del valor de pH de la yacija de pollo.**



#### **IV. 4. Efecto de la adición de sulfato de aluminio (alum) sobre la composición de la yacija.**

El impacto medioambiental de las deyecciones animales es doble. Por un lado, las emisiones en granja, que afectarán a animales, trabajadores y al aire en general; y por otro, al aplicarlas al suelo como abono. Los aditivos de la yacija, como el alum, fueron diseñados inicialmente para prevenir las primeras, pero según los trabajos realizados en

la última década sus ventajas afectan a las dos (Moore et al., 1999; Moore et al., 2000; Miles et al., 2003; Choi y Nahm, 2005; Choi y Moore, 2008; Rothrock et al., 2008; Guo y Song, 2009).

Sin embargo, no existen trabajos sobre la adición de alum en sistemas de crianza como los españoles, donde la yacija se renueva para cada ciclo productivo. Las ventajas de la utilización del alum como aditivo de la cama de pollos de carne son múltiples:

- Decrece la concentración de P soluble en la yacija y en la tierra donde se aplica como fertilizante, esto supone una mayor fijación de nutrientes en el suelo y menor pérdida por lixiviación.
- Reduce la emisión de  $\text{NH}_3$  en las granjas, con lo que se reducen los posibles problemas sanitarios sobre animales y trabajadores, y además se baja la emisión de amoníaco al medioambiente.
- Mejora los parámetros productivos de los animales, incrementado la ganancia de peso y el índice de conversión. Además un menor nivel de amoníaco en granja requiere una menor tasa de ventilación para mantener la calidad del ambiente, bajando los gastos asociados de calefacción y electricidad.
- Incrementa la concentración de N y S en la yacija, y de este modo aumenta su valor fertilizante.
- Reduce las pérdidas por lixiviación de carbono disuelto y elementos traza cuando la yacija es usada como fertilizante.

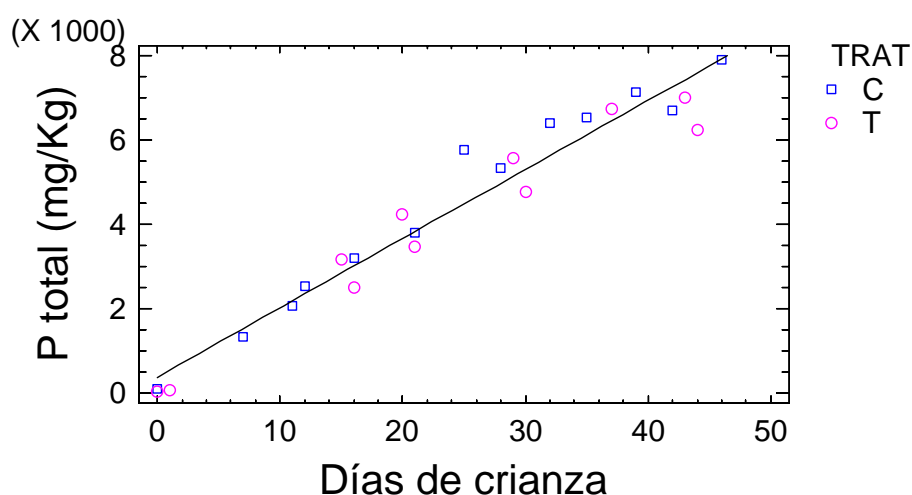
El presente trabajo se ha realizado en las condiciones comerciales españolas, adicionando alum a cama limpia de viruta de pino. El estudio realizado sobre la composición química de la yacija y el efecto de la adición de sulfato de aluminio, comprende dos partes: un estudio de la evolución de estos componentes durante toda la crianza y un análisis final de la composición de las yacijas.

El estudio del efecto de la adición de alum sobre la composición química de la yacija a lo largo del ciclo de crianza, se ha realizado utilizando un modelo lineal, comparando las pendientes de las rectas de los dos tratamientos en el caso de que se encontraran

diferencias. Por tanto las variables estudiadas han sido la adición de alum y el tiempo o edad de la yacija.

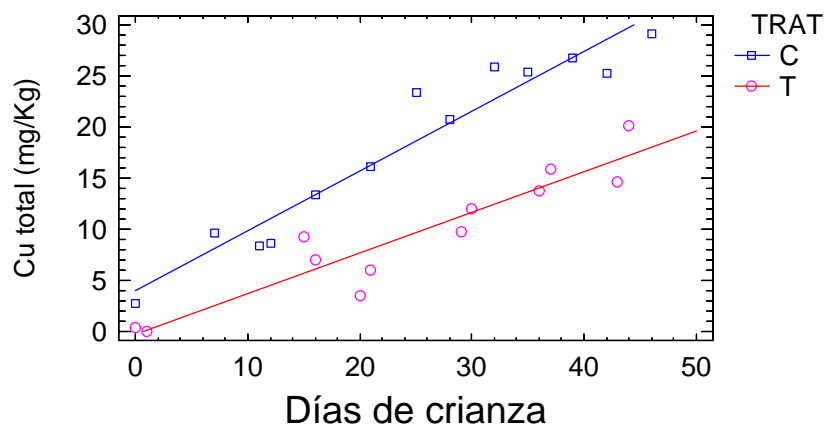
La evolución del contenido en MS, N total y P total, y los valores medios de estos parámetros en la yacija no fueron afectados por la adición de alum ( $P > 0,05$ ). Sin embargo, si fueron afectados por el tiempo ( $P < 0,001$ ). El total de N y P en la yacija aumentó con el tiempo a una tasa del 0,062 % de la MS/día y 163,7 ppm/día (Figura IV.9) respectivamente, mientras que el contenido en materia seca disminuyó a razón de 0,614 %/día, independientemente de que estuviera tratada con alum o no.

**Figura IV.9. Evolución del contenido en P total (mg/ kg de MS) en las yacijas control (C) y con adición de alum (T).**

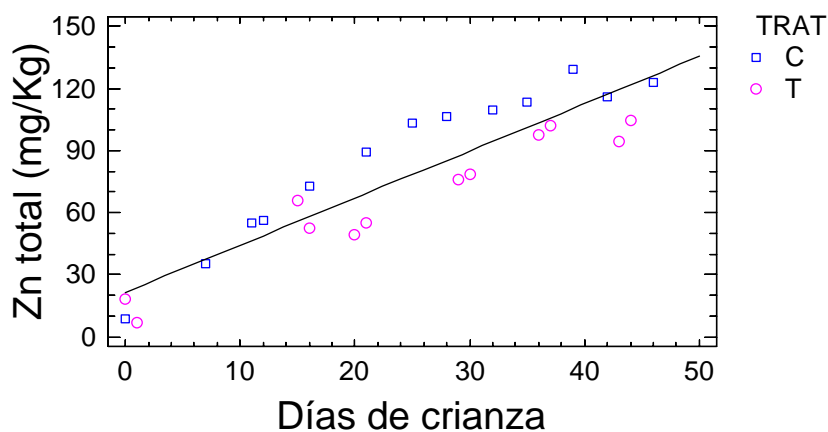


De los minerales analizados el contenido en Cu total fue afectado por el tiempo y el tratamiento ( $P < 0,01$ ), ajustándose a las ecuaciones  $\text{Cu total alum} = -0,278 + 0,396 * \text{tiempo de muestreo (días)}$  y  $\text{Cu control} = 3,966 + 0,585 * \text{tiempo de muestreo}$ , respectivamente (Figura IV.10). La adición de alum a la cama redujo el Cu total en yacija ( $P < 0,001$ ) con una diferencia promedio de 8,82 ppm, respecto al control. El nivel de Zn (Figura IV.11) en la yacija fue menor ( $P < 0,05$ ) al adicionar alum (un promedio de 19,8 mg/kg) aunque en ambas yacijas (con o sin alum) aumentó con el tiempo a un ritmo similar ( $P > 0,05$ , para las pendientes).

**Figura IV.10. Evolución del contenido en Cu total (mg/ kg de MS) en las yacijas control (C) y con adición de alum (T).**

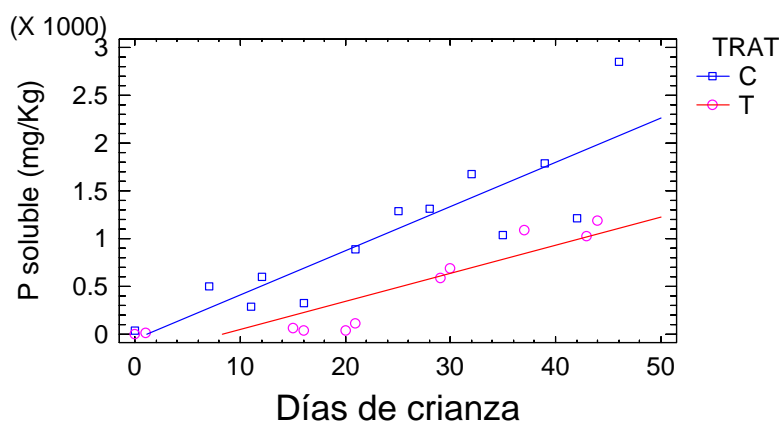


**Figura IV.11. Evolución del contenido en Zn total (mg/ kg de MS) en las yacijas control (C) y con adición de alum (T).**

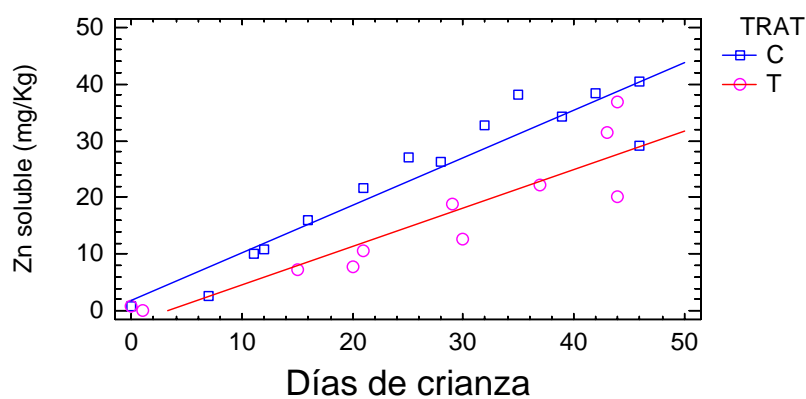


La adición de alum redujo los minerales solubles ( $P < 0,05$ ) en la yacija, como media en 591, 8,1 y 3,0 mg/kg para el P, Zn y Cu solubles respectivamente. Sin embargo, este tratamiento sólo tendió a modificar la evolución del contenido P soluble ( $P = 0,08$ ; Figura IV.12) y el Zn soluble ( $P = 0,07$ ; Figura IV.13) de la yacija, no observándose este efecto el nivel de Cu soluble (Figura IV.14;  $P < 0,05$ ).

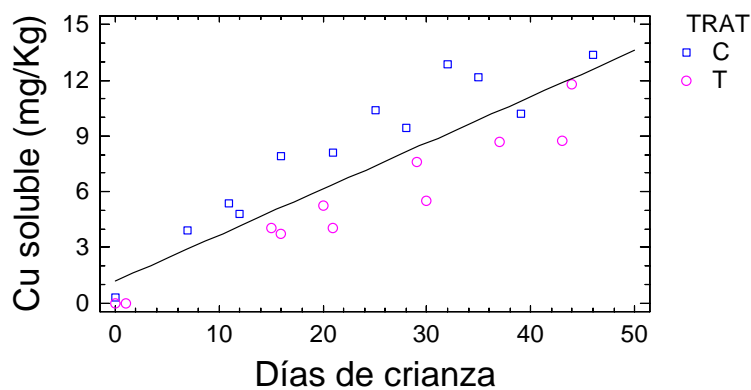
**Figura IV.12. Evolución del contenido en P soluble (mg/ kg de MS) en las yacijas control (C) y con adición de alum (T).**



**Figura IV.13. Evolución del contenido en Zn soluble (mg/ kg de MS) en las yacijas control (C) y con adición de alum (T).**

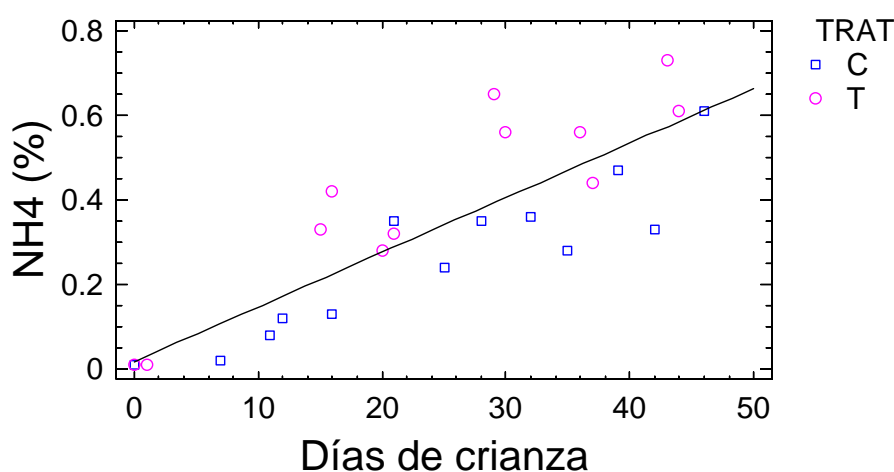


**Figura IV.14. Evolución del contenido en Cu soluble (mg/ kg de MS) en las yacijas control (C) y con adición de alum (T).**



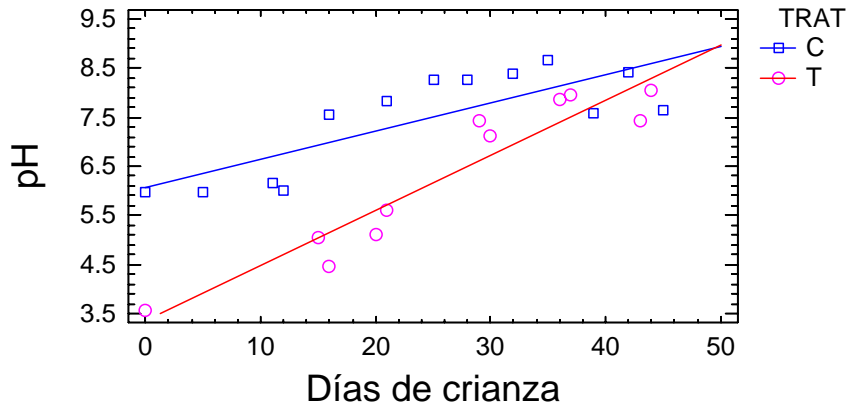
Los valores medios de N-NH<sub>4</sub> en la yacija fueron aumentados ( $P < 0,05$ ) por la adición de alum a la cama, pasando de 0,25 a 0,40 % de la MS para las yacijas control y con alum respectivamente. Como era de esperar, con el avance de la crianza aumentó el contenido N-NH<sub>4</sub> de la yacija, no existiendo diferencias ( $P > 0,05$ ) entre las rectas de ambos tratamientos (Figura IV.15).

**Figura IV.15. Evolución del contenido N-NH<sub>4</sub> (% MS) en las yacijas control (C) y con adición de alum (T).**



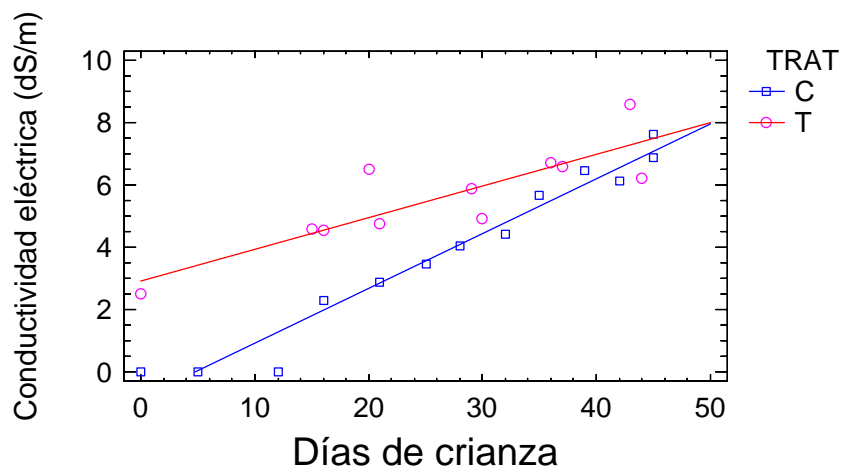
La evolución del pH en la yacija con el tiempo fue diferente según el tratamiento ( $P < 0,01$ ), ajustándose a las ecuaciones de regresión:  $\text{pH alum} = 3,358 + 0,112 * \text{tiempo de muestreo}$  y  $\text{pH control} = 6,080 + 0,056 * \text{tiempo de muestreo}$ , respectivamente (Figura IV. 16). A lo largo del estudio, la adición de alum a la cama redujo el nivel de pH de la yacija ( $P < 0,001$ ) con una diferencia promedio de  $1,32 \pm 0,24$  unidades, respecto al control.

**Figura IV.16. Evolución del pH en las yacijas control (C) y con adición de alum (T).**



La conductividad eléctrica de la yajija (Figura IV.17) también fue afectada por la adición de alum y el tiempo ( $P < 0,01$ ). Las camas tratadas con alum mostraron una mayor CE que las control (5,52 vs 3,63 dS/m). La CE aumentó linealmente con la edad de las aves en ambos grupos, a razón de 0,100 y 0,171 dS/m para yacijas con alum y control respectivamente.

**Figura IV.17. Evolución de la conductividad eléctrica en las yacijas control (C) y con adición de alum (T).**



La composición media de la yacija al final de la experiencia está recogida en la Tabla IV.1. Entre los parámetros analizados no se encontraron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) al final de la experiencia probablemente debido a que cada nave fue considerada una réplica, teniendo por tanto un bajo número de datos por tratamiento. En cualquier caso se observaron tendencias ( $P \leq 0,1$ ) para el contenido en N-NH<sub>4</sub>, Zn y Cu total.

El contenido en N-NH<sub>4</sub> aumentó del 14,3 al 23,1% en base a N total en las yacijas acidificadas, aunque no se observaron efectos sobre el contenido en N total. Sim y Luka-McCafferty (2002) observaron un aumento en ambos parámetros (como media el N total incrementó un 0,22% y el N-NH<sub>4</sub> un 0,27%) en yacijas tratadas con alum, e indican que fue debido probablemente a la acidificación de la yacija por el alum. Esto provoca la conversión de NH<sub>3</sub> a NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y la formación de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en la yacija, reduciéndose así las pérdidas gaseosas de N.

**Tabla IV.1. Composición media de la yacija control y tratada con alum al final de la crianza de 42 días (\*).**

	<b>Control</b>	<b>Alum</b>
MS (%)	60,0 ± 2,2	62,3 ± 3,1
N (% MS)	2,99 ± 0,36	2,90 ± 0,18
N-NH <sub>4</sub> (% MS)	0,43 ± 0,13	0,67 ± 0,08
pH (H <sub>2</sub> O)	8,02 ± 0,54	7,73 ± 0,43
CE (dS/m)	6,50 ± 0,55	7,39 ± 1,67
P total (mg/ kg MS)	7293 ± 840	6605 ± 534
P soluble (mg/ kg MS)	2031 ± 1155	1107 ± 117
Zn total (mg/ kg MS)	119,6 ± 5,0	99,4 ± 7,5
Zn soluble (mg/ kg MS)	39,3 ± 1,3	34,1 ± 3,8
Cu total (mg/ kg MS)	27,2 ± 2,7	17,4 ± 3,9
Cu soluble (mg/ kg MS)	12,7 ± 0,8	10,2 ± 2,1

(\*) Las medias no fueron diferentes ( $P > 0,05$ ).



Otros autores también han encontrado una reducción del contenido en P, Zn y Cu total de las yacijas tratadas con alum (Sim y Luka-McCafferty, 2002), siendo este hecho probablemente debido al efecto dilución al añadir alum a la cama (Moore et al., 2000).

El contenido final de P soluble en la yacija fue numéricamente menor en las camas tratadas con alum (2031 vs 1107 mg/ kg MS). La bajada del contenido en P soluble de la yacija al ser tratada con alum se debe a la formación de hidróxidos insolubles de  $\text{AlPO}_4$  y adsorción de fosfatos por hidróxidos ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) amorfos de aluminio que se formaron cuando se disolvió el alum hidrolizado en la yacija alcalina (Guo y Song, 2009). Moore y Miller (1994) observaron una reducción en el contenido en P soluble de la yacija de  $> 2000$  mg /kg a  $< 1$  mg/ kg, cuando se añadió alum a la yacija a razón del 10 % en peso.

El alum aplicado sobre yacija utilizada en varios ciclos a razón de 90,7 g/ pollo ( $0,424 \text{ kg/m}^2$ ), redujo la volatilización de amoníaco durante las primeras 3 semanas de crianza con respecto a camas no tratadas (6-20 ppm de amoníaco frente a 28-43 ppm), mejorando el peso final (4%) y el índice de conversión (3%); asimismo, la ventilación necesaria para controlar el ambiente disminuyó por lo que se redujo el consumo de electricidad y propano, comprobándose también que disminuía el P soluble presente en la yacija en un 73% (Moore et al., 2000). Otros trabajos estudiaron el efecto del alum a diferentes dosis, así Worley et al. (2000) concluyó que la aplicación de  $0,149 \text{ kg/m}^2$  era una dosis suficiente para reducir la concentración de amoníaco en el aire de la nave de cría de pollos. McWard y Taylor (2000) a dosis de  $0,167 \text{ kg/m}^2$ , también comprobaron una reducción de amoníaco y mejora en el crecimiento y calidad de la canal, así como una menor incidencia de pododermatitis y lesiones en sacos aéreos. Otros estudios (Sims and Luka-McCafferty, 2002) con alum a  $0,427 \text{ kg/m}^2$  constataron un aumento del valor fertilizante de la yacija (aumenta el contenido en N en  $0,026 \text{ kg/m}^2$ ) y una reducción del poder contaminante de ésta al disminuir el P soluble (67%) y metales pesados, tales como el arsénico (63%), cobre (37%) y zinc (48%). Además, como media, el abonado con yacijas tratadas con alum reduce las pérdidas de P soluble por lixiviación en un 87% respecto a las no tratadas (Guo y Song, 2009).

# V. Conclusiones

---

1. La utilización del método indirecto del gas indicador para medir la tasa de ventilación usando como gas indicador el CO<sub>2</sub> producido por los animales, posibilita la monitorización de las tasas de ventilación en naves comerciales españolas de broilers de forma fiable.
2. La tasa de ventilación aumenta conforme se incrementa el ciclo productivo, y este aumento es más acusado cuando las temperaturas externas son más altas. Así, en épocas frías la tasa de ventilación puede llegar hasta 30 m<sup>3</sup>/s, mientras que en épocas calurosas supera los 60 m<sup>3</sup>/s, hacia final del ciclo productivo.
3. La evolución de la concentración de NH<sub>3</sub> en las naves de broilers no superó las 20 ppm ningún día a lo largo del ciclo productivo. En nuestro estudio la cantidad media acumulada de amoníaco para el ciclo de crianza fue de 5g NH<sub>3</sub>/ pollo (4,11g N-NH<sub>3</sub>/ pollo).
4. Conforme avanzó la crianza, la yacija aumentó su contenido en humedad, nitrógeno y nivel de pH; sin embargo, al final del ciclo de crianza disminuyó la humedad y el pH de la yacija en condiciones de altas tasas de ventilación consecuencia de altas temperaturas externas.
5. La adición de alum a la cama tendió (P < 0,1) a bajar el contenido final de Zn y Cu, y aumentar el N-NH<sub>4</sub>. En los demás parámetros analizados no se observaron diferencias (P > 0,1), aunque numéricamente se constató un descenso en los niveles de minerales solubles P, Zn y Cu.
6. La adición de alum modificó (P < 0,1) el patrón de fijación de P y Zn soluble, y la evolución de pH y CE en la yacija durante la crianza. Además, se observó una reducción significativa de todos los minerales solubles analizados y del contenido en Cu y Zn total; y un aumento del N-NH<sub>4</sub> cuando se añadió el acidificante.

# VI. Resumen

---

En las últimas décadas la intensificación de los sistemas de producción animal para satisfacer la demanda alimentaria a precios accesibles ha incrementado los **problemas medioambientales**. La elevada concentración de ganado en determinadas áreas geográficas ha provocado graves efectos contaminantes sobre tierra, agua y aire. En este contexto, la protección y conservación del medio ambiente se ha situado en la actualidad como una de las principales inquietudes en la Unión Europea.

La Directiva 96/61/CE conocida como IPPC (“Integrated Prevention of Pollution Control”) se incorpora al ordenamiento jurídico español con carácter básico mediante la Ley 16/2002 de 1 de julio, de Prevención y Control Integrado de la Contaminación, estableciendo un nuevo enfoque en la concepción del medio ambiente. Estas normativas definen importantes actuaciones como son la concesión de la Autorización Ambiental Integrada (AAI), el concepto de las Mejores Técnicas Disponibles y la Transparencia informativa. Así, el Real Decreto 509/2007, de 20 de abril, aprueba el Reglamento para el desarrollo y ejecución de la Ley 16/2002, el cual en su anexo I incluye en la categoría 9.3 a) las instalaciones ganaderas dedicadas a la cría y engorde de todo tipo de aves, con capacidad superior a 85.000 pollos de engorde y 40.000 en el caso de pavos de engorde. Asimismo, el Real Decreto 508/2007, de 20 de abril, regula el suministro de información sobre emisiones del Reglamento E-PRTR (siglas en inglés de “Pollutant Release and Transfer Registers,” registros de emisiones y transferencias de contaminantes) y de las AAI.

Dentro de este marco legal y teniendo en cuenta los escasos trabajos realizados en este campo, los objetivos del presente trabajo se centran en monitorizar las emisiones que actualmente se están produciendo en las explotaciones avícolas de producción de broilers en España en forma de amoníaco, y de N y otras sustancias en la yacija; así como estudiar el efecto de la adición de un corrector de yacija, el sulfato de aluminio, en los componentes de la misma.

Para realizar este estudio se han controlado tres ciclos completos de crianza de pollos de carne en naves comerciales del sureste español y en diferentes épocas del año:

- Experiencia 1: En este ciclo se han controlado tres granjas. El periodo estudiado fue del 4 de abril al 20 de mayo de 2006.
- Experiencia 2: En este ciclo se han controlado tres granjas. El periodo fue del 26 de febrero al 8 de abril de 2007.
- Experiencia 3: En este ciclo se han controlado cuatro granjas. El periodo fue del 28 de noviembre de 2007 al 17 de enero de 2008. Además, en este ciclo en dos granjas se aplicó sulfato de aluminio (alum) como aditivo corrector de la yacija a razón de 250 g/m<sup>2</sup> el día anterior a la entrada de pollos quedando las otras dos naves como control.

En todos los ciclos de crianza de broilers de este estudio se ha estimado la tasa de ventilación (volumen de aire evacuado por unidad de tiempo) por el método indirecto del gas indicador o “tracer gas” (CIGR, 2002), determinándose el nivel de CO<sub>2</sub> en las naves a lo largo de cada ciclo productivo en las pruebas experimentales. En todos los ciclos estudiados de nuestro experimento, la evolución de la concentración de CO<sub>2</sub> encontrada, respondió a un descenso paulatino de los niveles de CO<sub>2</sub> en las naves conforme aumentaba el tiempo de crianza. Por lo que los resultados observados en nuestro estudio, responden a profundos cambios en la tasa de ventilación.

Así, al inicio de cada ciclo los niveles de CO<sub>2</sub> fueron altos, próximos a 4000 ppm, e incluso superiores en la experiencia 3 desarrollada de noviembre a enero de 2008, disminuyendo a concentraciones de CO<sub>2</sub> inferiores, desde los 5-10 días del comienzo de la crianza hasta el final del ciclo en las tres experiencias. La alta concentración de CO<sub>2</sub> al inicio de la crianza se corresponde con la necesidad de mantener una temperatura interior de 32 °C los primeros 5 días de vida de los pollos y 30 °C entre los 5 -10 días, por lo que la tasa de ventilación debió ser baja con el fin de optimizar la temperatura interior, efecto que fue más acusado en la experiencia 3 desarrollada en meses más fríos.

En consonancia con los resultados de la concentración de CO<sub>2</sub>, la evolución de las tasas de ventilación de las naves para los tres experimentos, responde a un incremento de la ventilación conforme avanza el ciclo de crianza, sin embargo cabe destacar que el ciclo de la experiencia 1, realizada durante abril a mayo del 2006, estuvo sometido a unas tasas de ventilación que llegaron a ser superiores a 60 m<sup>3</sup>/s al final de la crianza, más del doble que en los otros ciclos estudiados (Exp. 2 y 3). Este efecto está relacionado con la

temperatura exterior, de tal manera que cuando las temperaturas externas son más bajas la tasa de ventilación disminuye y viceversa. Así, en nuestro experimento los ciclos realizados durante los meses más fríos, de febrero a abril en 2007 (Exp. 2) y de noviembre de 2007 a enero de 2008 (Exp.3), obtuvieron tasas de ventilación inferiores que en el ciclo realizado de abril a mayo del 2006.

Para cuantificar las emisiones de nitrógeno en forma de gas amoníaco de las granjas a la atmósfera es necesario conocer la tasa de ventilación, además de la concentración del amoníaco en el aire evacuado por unidad de tiempo de las construcciones ganaderas. En nuestro estudio, se ha realizado la determinación de ambos parámetros en la experiencia llevada a cabo de abril a mayo del 2006.

La evolución de la concentración de  $\text{NH}_3$  en las naves no superó las 20 ppm ningún día a lo largo del ciclo productivo (no excediendo los niveles máximos legales). Sin embargo, sobre el día 15 de crianza se observaron los mayores niveles de amoníaco ( $> 10$  ppm), posteriormente estas concentraciones descendieron conforme aumentaba la tasa de ventilación, aunque a partir de día 30 se observaron dos picos dentro del rango de 5-10 ppm de amoníaco, a pesar de que la tasa de ventilación aumentó más del doble hacia el final del ciclo.

Es conocido que la emisión de amoníaco aumenta con la edad de las aves, ya que a lo largo del ciclo de crianza la emisión de amoníaco se incrementa debido a la acumulación de excretas de las aves y al crecimiento microbiano en la yacija. En nuestro estudio la cantidad media acumulada de amoníaco para el ciclo de crianza fue de 5g  $\text{NH}_3$ / pollo (4,11g N- $\text{NH}_3$ / pollo), resultando inferior al encontrado por otros trabajos realizados anteriormente, lo que parece estar relacionado con modelos de producción técnicamente más modernos.

Para completar el control de contaminantes al medioambiente de las granjas de cría de pollo de carne se realizó el estudio sobre la evolución de la composición de la yacija en dos ciclos de cría (Exp. 1 y Exp. 2). En ambos experimentos se observó una disminución del contenido en materia seca de la yacija hasta los 35 días de vida. Después de ese día, la yacija mantuvo la misma humedad (Exp. 2: 33,2% de humedad a 42 días) o incluso se desecó (Exp. 1: 26,9% de humedad a 47 d), dependiendo de la magnitud de la subida de la tasa de ventilación en cada ciclo.

El contenido en N de la yacija se incrementó linealmente a medida que avanzaba la crianza ( $R^2= 0,9289$  y  $0,9765$  para el Exp. 1 y 2, respectivamente), alcanzando unos niveles medios finales de  $5,34\%$  de la MS a los 47d en el Exp. 1 y  $4,78\%$  de la MS a los 42d en el Exp. 2. En ambas experiencias se observa como la evolución del pH fue similar a la del contenido en materia seca. Así en la Exp. 1, después del día 35 el pH y la humedad de la yacija bajaron, fenómenos no observados en la Exp. 2. Estos hechos pudieron ser debidos a que la reducción en la humedad de la cama en la Exp. 1, por la alta tasa de ventilación, afectó negativamente a la actividad microbiana y por tanto a la formación de amoníaco de naturaleza alcalina.

El estudio del efecto de la adición de alum sobre la composición química de la yacija a lo largo del ciclo de crianza realizado en la Exp. 3, se analiza utilizando un modelo lineal, comparando las pendientes de las rectas de los dos tratamientos en el caso de que se encontraran diferencias. Por lo que las variables estudiadas han sido la adición de alum y el tiempo o edad de la yacija.

La evolución del contenido en MS, N total y P total no mostró diferencias significativas entre tratamientos ( $P > 0,05$ ). Sin embargo, si fueron afectados por el tiempo ( $P < 0,001$ ). El total de N y P en la yacija aumentó con el tiempo a una tasa del  $0,062\%$  de la MS/ día y  $163,7$  ppm/ día, respectivamente, mientras que el contenido en materia seca disminuyó a razón de  $0,614\%$ / día. La adición de alum redujo los minerales solubles ( $P < 0,05$ ) en la yacija, como media en  $591$ ,  $8,1$  y  $3,0$  mg/kg para el P, Zn y Cu solubles respectivamente.

La variación del pH en la yacija con el tiempo fue diferente según el tratamiento ( $P < 0,01$ ), ajustándose a las ecuaciones de regresión:  $\text{pH alum} = 3,358 + 0,112 * \text{tiempo de muestreo (días)}$  y  $\text{pH control} = 6,080 + 0,056 * \text{tiempo de muestreo}$ , respectivamente. A lo largo del estudio, la adición de alum a la cama redujo el nivel de pH de la yacija ( $P < 0,001$ ) con una diferencia promedio de  $1,32 \pm 0,24$  unidades, respecto al control.

En cuanto, la conductividad eléctrica de la yacija también fue afectada por la adición de alum y el tiempo ( $P < 0,01$ ). Las camas tratadas con alum mostraron una mayor CE que las control ( $5,52$  vs  $3,63$  dS / m). La CE aumentó linealmente con la edad de las aves en ambos grupos, a razón de  $0,100$  y  $0,171$  dS/m para yacijas con alum y control respectivamente.



Entre los parámetros de composición media de la yacija al final de la Exp.3 no se encontraron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ), sólo fueron observadas tendencias ( $P \leq 0,1$ ) para el contenido en N-NH<sub>4</sub>, Zn y Cu total. Así, el contenido en N-NH<sub>4</sub> aumentó del 14,3 al 23,1% en las yacijas acidificadas, aunque no se observaron efectos sobre el contenido en N total. Y el contenido final de P soluble en la yacija fue numéricamente menor en las camas tratadas con alum (2031 vs 1107 mg/ kg MS).

Como conclusiones del presente estudio cabe señalar que el conocimiento de las tasas de ventilación de una forma fiable se hace necesario en una producción animal sostenible, que tenga en cuenta el bienestar animal y el medioambiente, con el fin de conseguir diseñar y programar sistemas de climatización que garanticen el mantenimiento de las condiciones ambientales óptimas y legalmente exigidas. Además, la composición de la yacija no solo puede estar influenciada por la naturaleza de la cama y de las excretas de los animales y otros restos, sino también por la tasa de ventilación, y por los correctores de yacija.

## VII. Bibliografía

---

- European Environment Agency. 2005. <http://www.eea.europa.eu/es>.
- Abad, J. C. 2004. Legislación ambiental y control de residuos en granjas de pollos. Jornadas profesionales de avicultura de carne 2004. Real Escuela de Avicultura.
- Amon, M., Dobeic, M., Sneath, R. W., Phillips, V. R., Misselbrook, T. H., Pain, B. F. 1997. A farm-scale study on the use of clinoptilolite zeolite and De-odorase for reducing odour and ammonia emissions from broiler houses. *Bioresource Technology*, 61: 229-237.
- Association of Official Analytical Chemists. 1990. Official methods of analysis. 15<sup>th</sup> ed., Washington, DC.
- Blanes, V., Pedersen S. 2005. Ventilation flow in pig houses measured and calculated by carbon dioxide, moisture and heat balance equations. *Biosystems Eng.* 92(4): 483-493.
- 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.
- BREF. 2003. Reference document on best available techniques for intensive rearing of poultry and pigs. Integrated pollution prevention and control. European Commission.
- Castelló, J. A. 1993. Construcciones y equipos avícolas. Real Escuela de Avicultura.
- Castelló, J. A. 2002. Economía de la producción en la cría del broiler. Real Escuela de Avicultura.
- Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial. 2009. <http://www.cdti.es>.
- Choi, I. H., Nahm, K. H. 2005. Recent studies on protecting the environmental pollutants from animal houses. *TALS*, 3: 8-18.
- Choi, I. H., Moore, P. A. Jr. 2008. Effect of various litter amendments on ammonia volatilization and nitrogen content of poultry litter. *J. Appl. Poult. Res.* 17: 454-462.

- CIGR. 2002. Climatization of animal houses. Heat and moisture production at animal and house levels. Commission Internationale du Génie Rural. 4<sup>th</sup> Report of Working Group. Res. Centre Bygholm, Horsens (Denmark).
- Coma, J., Bonet, J. 2004. Producción ganadera y contaminación ambiental. XX Curso de Especialización FEDNA, pp. 237-272.
- Confederación Española de Fabricantes de Alimentos Compuestos para Animales. Mercados Estadística. <http://www.cesfac.com>.
- Coufal, C. D., Chavez, C., Niemeyer, P. R., Carey, J. B. 2006. Measurement of broiler litter production rates and nutrient content using recycled litter. *Poult. Sci.* 85: 398-403.
- Demmers, T. G. M., Burgess, L. R., Short, J. L., Phillips, V. R., Clark, J. A., Wathes, C. M. 1999. Ammonia emissions from two mechanically ventilated UK livestock buildings. *Atmospheric Environment*, 33: 217–227.
- Elwinger, K., Svensson, L. 1996. Effect of dietary protein content, litter and drinker type on ammonia emission from broiler houses. *J. Agric. Eng. Res.* 64: 197-208.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org>.
- Federación Europea de Fabricantes de Alimentos Compuestos para Animales. <http://www.fefac.org>.
- Francesch, M., Brufau, J. 2004. Nutritional factors affecting excreta/litter moisture and quality. *World's Poultry Science Journal*, 60: 64-76.
- Guiziou, F., Béline, F. 2005. In situ measurement of ammonia and greenhouse gas emissions from broiler houses in France. *Bioresource Technology*, 96: 203-207.
- Guo, M., Song, W. 2009. Nutrient value of alum-treated poultry litter for land application. *Poult. Sci.* 88: 1782-1792.
- Havenstein, G. B., Ferket, P. R., Scheideler, S. E., Larson, B. T. 1994. Growth, livability and feed conversion of 1991 vs. 1957 broilers when fed "typical" 1957 and 1991 broiler diets. *Poult. Sci.* 73: 1785–1794.

- Havenstein, G. B., Ferket, P. R., Qureshi, M. A. 2003. Growth, livability, and feed conversion of 1957 versus 2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diets. *Poult. Sci.* 82: 1500–1508.
- Hayes, E. T., Curran, T. P., Dodd, V. A. 2006. Odour and ammonia emissions from intensive poultry units in Ireland. *Bioresource Technology*, 97: 933-939.
- Henuk, Y. L., Dingle, J. G. 2003. Poultry manure: source of fertilizer, fuel and feed. *World's Poultry Science Journal*, 59: 350-360.
- Instituto Nacional de Estadística. 2009. <http://www.ine.es>
- Lazic, S. E. 2008. Why we should use simpler models if the data allow this: relevance for ANOVA designs in experimental biology. *BMC Physiol.* 21: 8-16.
- Li, H., Xin, H., Liang, Y., Gates, R. S., Wheeler, E. F., Heber, A. J. 2005. Comparison of direct and indirect ventilation rate determinations in layer barns using manure belts. *Transactions of the ASAE*, 48: 367-372.
- Line, J. E. 2002. *Campylobacter* and *Salmonella* populations associated with chickens raised on acidified litter. *Poult. Sci.* 81: 1473-1477.
- López, M. E., Cabaleiro, F., Sainz, M. J., López, A., Carral, E. 2008. Fertilizing value of broiler litter: effects of drying and pelletizing. *Bioresource Technology*, 99: 5626-5633.
- Materechera, S. A., Mkhabela, T. S. 2002. The effectiveness of lime, chicken manure and leaf litter ash in ameliorating acidity in a soil previously under black wattle (*Acacia mearnsii*) plantation. *Bioresource Technology*, 85: 9-16.
- McCrorry, D. F., Hobbs, P. J. 2001. Additives to reduce ammonia and odor emissions from livestock wastes: A review. *J. Environ. Qual.* 30: 345-355.
- McWard, G. W., D. R. Taylor. 2000. Acidified clay litter amendment. *J. Appl. Poult. Res.* 9: 518-529.
- Mercia, L. S. 2001. *Storey's guide to raising poultry*. Storey books, Vermont.

- Miles, D. M., Moore, P. A. Jr., Smith, D. R., Rice, D. W., Stilborn, H. L., Rowe, D. R., Lott, B. D., Branton, S. L., Simmons, J. D. 2003. Total and water-soluble phosphorus in broiler litter over three flocks with alum litter treatment and dietary inclusion of high available phosphorus corn and phytase supplementation. *Poult. Sci.* 82: 1544-1549.
- Miles, D. M., Branton, S. L., Lott, B. D. 2004. Atmospheric ammonia is detrimental to the performance of modern commercial broilers. *Poult. Sci.* 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.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 2006. Documento técnico sobre mejores técnicas disponibles en España para el sector de la avicultura de carne. MAPA, Madrid.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 2009. <http://www.marm.es>.
- Moore, P. A. Jr., Miller, D. M. 1994. Decreasing phosphorus solubility in poultry litter with aluminum, calcium, and iron amendments. *J. Environ. Qual.* 23: 325-330.
- Moore, P. A., Daniel, T. C., Edwards, D. R. 1999. Reducing phosphorus runoff and improving poultry production with alum. *Poult. Sci.* 78: 692-698.
- Moore, P. A. Jr., T. C. Daniel, D. R. Edwards. 2000. Reducing phosphorus runoff and inhibiting ammonia loss from poultry manure with aluminum sulfate. *J. Environ. Qual.* 29: 37-49.
- Müller, H.-J., Möller, B., Gläser, M. 2000. The determination of air change rate in naturally ventilated cattle barns. *ROOMVENT 2000. Volume 1: 505-510.*
- Müller, H.-J., Brunsch, R., Hörnig, G., Jelinek, A. 2003. Odour and ammonia emissions from poultry houses with different keeping and ventilation systems. In *International Symposium on gaseous and odour emissions from animal production facilities, 1-4 June 2003, 172-179.* Horsens, Denmark: CIGR, EurAgEng, NJF.

- Nahm, K. H. 2003. Evaluation of the nitrogen content in poultry manure. *World's Poult. Sci. J.* 59: 77–88.
- Nahm, K. H., 2005. Factors influencing nitrogen mineralization during poultry litter composting and calculations for available nitrogen. *World's Poultry Science Journal*, 61: 238–255.
- Nakaue, H. S., Koelliker J. K., Pierson M. L. 1981. Studies with clinoptilolite in poultry: II. Effect of feeding broilers and the direct application of clinoptilolite (zeolite) on clean and reused broiler litter on broiler performance and house environment. *Poult. Sci.* 60: 1221-1228.
- National Research Council. 2003. Air emissions from animal feeding operations: Current Knowledge, Future Needs. *Natl. Acad. Press.* Washington, DC.
- Nicholson, F. A., Chambers, B. J., Walker, A. W. 2004. Ammonia emissions from broiler litter and laying hen manure management systems. *Biosystems Eng.* 89: 175-185.
- Oenema, O., Tamminga, S. 2005. Nitrogen in global animal production and management options from improving nitrogen use efficiency. *Sci. China, Ser. C*, 48: 871-887.
- Oenema, O., Oudendag, D., Velthof, G. L. 2007. Nutrient losses from manure management in the European Union. *Livest. Sci.* 112: 261-272.
- Patterson, P. H., Adrizal. 2005. Management strategies to reduce air emissions: emphasis-dust and ammonia. *J. Appl. Poult. Res.* 14: 638-650.
- Pedersen, S., Takai, H., Johnsen, J. O., Metz, J. H. M., Groot Koerkamp, P. W. G., Uenk, G. H., Phillips, V. R., Holden, M. R., Sneath, R. W., Short, J. L., White, R. P., Hartung, J., Seedorf, J., Schröder, M., Linkert, K. H. H., Wathes, C. M. 1998. A comparison of three balance methods for calculating ventilation rates in livestock buildings. *J. Agric. Eng. Res.* 70: 25-37.
- Pedersen, S., Thomsen, G. M. 2000. Heat and moisture production of broilers kept on straw bedding. *J. Agric. Eng. Res.* 75: 177-187.

- Pescatore, A. J., Casey, K. D., Gates, R. S. 2005. Ammonia emissions from broiler houses. *J. Appl. Poult. Res.* 14: 635-637.
- Peters, J., Combs, S. M., Hoskins, B., Jarman, J., Kovar, J. L., Watson, M. E., Wolf, A. M., Wolf, N. 2003. Recommended methods of manure analysis. University of Wisconsin-Extension, U.S. Department of Agriculture and Wisconsin counties cooperating. Wisconsin, USA.
- Petersen, S. O., Lind, A.M., Sommer, S. G. 1998. Nitrogen and organic matter losses during storage of cattle and pig manure. *J. Agric. Sci. (Cambridge)*, 130: 69-79.
- Powers, W., Angel, R. 2008. A review of the capacity for nutritional strategies to address environmental challenges in poultry production. *Poult. Sci.* 87: 1929-1938.
- PRTR-España. Registro europeo de emisiones y transferencias de contaminantes. 2009. <http://www.prtr-es.es/>.
- Real Decreto 508/2007, de 20 de abril, por el que regula el suministro de información sobre emisiones del Reglamento E-PRTR y de las autorizaciones ambientales integradas. *Boletín Oficial del Estado*, 96: 17686-17703.
- Real Decreto 509/2007, de 20 de abril, por el que se aprueba el Reglamento para el desarrollo y ejecución de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación. *Boletín Oficial del Estado*, 96: 17704-17717.
- Reglamento (CE) 166/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de enero de 2006, relativo al establecimiento de un registro europeo de emisiones y transferencia de contaminantes o registro E-PRTR y por el que se modifican las Directivas 91/689/CEE y 96/61/CE del Consejo.
- Robertson, A. P., Hoxey, R. P., Demmers, T. G. M., Welch, S. K., Sneath, R. W., Stacey, K. F., Fothergill, A., Filmer, D., Fisher, C. 2002. Commercial-scale studies of the effect of broiler-protein intake on aerial pollutant emissions. *Biosystems Eng.* 82: 217-225.



- Rothrock, M. J. Jr., Cook, K. L., Warren, J. G., Sistani, K. 2008. The effect of alum addition on microbial communities in poultry litter. *Poult. Sci.* 87: 1493-1503.
- Schauberger, G., Piringer, M., Petz, E. 2000. Steady-state balance model to calculate the indoor climate of livestock buildings, demonstrated for finishing pigs. *International Journal of Biometeorology*, 43: 154-162.
- Seedorf, J., Hartung, J. 1999. Survey of ammonia concentrations in livestock buildings. *J. Agric. Sci. (Cambridge)*, 133: 433-437.
- Selle, P. H., V. Ravindran. 2007. Microbial phytase in poultry nutrition. Review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 135: 1-41.
- Sheldrick, W. F., Syers, J. K., Lingard, J. 2003. Contribution of livestock excreta to nutrient balances. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 66: 119-131.
- Sims, J. T., Luka-McCafferty, N. J. 2002. On-farm evaluation of aluminum sulfate (alum) as a poultry litter amendment: Effects on litter properties. *J. Environ. Qual.* 31: 2066-2073.
- Sommer, S. G. 2001. Effect of composting on nutrient loss and nitrogen availability of cattle deep litter. *Eur. J. Agron.* 14: 123-133.
- Sparks, D. L. 2003. *Environmental Soil Chemistry*, 2<sup>nd</sup> Ed. Acad. Press. 352 pp.
- Statgraphics Plus 5.1 2000. Manugistics, Inc.. Rockville, MD.
- Sugiura S. H., Raboy V., Young K. A. Dong F. M., Hardy R. W. 1999. Availability of phosphorus and trace-elements in low-phytate varieties of barley and corn for rainbow-trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 170: 285-296.
- Tamminga, S., H. Schulze, J. Van Bruchem, and J. Huisman. 1995. The nutritional significance of endogenous N-losses along the gastro-intestinal tract of farm animals. *Arch. Anim. Nutr.* 48: 1-9.

- Wathes, C. M., Holden, M. R., Sneath, R. P., White, R. P., Phillips V. R. 1997. Concentrations and emission rates of aerial ammonia, nitrous oxide, methane, carbon dioxide, dust and endotoxin in UK broiler and layer houses. *Poult. Sci.* 38: 14-28.
- Watkins, S. E., Southerland, R., Hunt, L. 2002. Impact of the litter amendment, Poultry Guard, on the recovery of salmonella in poultry litter 24 to 96 hours post application. *Poult. Sci.* 81(Suppl. 1): 154.
- Worley, J. W., M. L. Cabrera, Risse, L. M.. 2000. Reduced levels of alum to amend broiler litter. *Appl. Eng. Agric.* 16: 441-444.
- Wyatt, C. J., Triana-Tejas. 1994. Soluble and insoluble Fe, Zn, Ca y phytates in foods commonly consumed in Northern Mexico. *J. Agric. Food Chem.* 42: 2204-2209.
- Zhou, J. R., Erdman J. W. Jr. 1995. Phytic acid in health and disease C. R. C. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 35: 495-508.