

## PRODUCCIÓN GANADERA Y CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

J. Coma y J. Bonet  
Grupo Vall Companys

### 1.- INTRODUCCIÓN

La producción ganadera intensiva puede conllevar una serie de efectos perjudiciales para el medio ambiente. En ciertas áreas geográficas con alta concentración de ganado, la contaminación ambiental es una seria preocupación que en los últimos años ha sido foco de la atención pública y materia de numerosa legislación. Los aspectos medioambientales pueden tener un papel muy relevante en la aceptación pública, ubicación, crecimiento y productividad económica de la producción animal. La alimentación de los animales juega un papel importante en la cantidad de contaminantes generados en una granja, existiendo diferentes estrategias nutricionales que pueden reducir la magnitud de la contaminación. Este artículo es una revisión de aquellos aspectos más directamente relacionados con el sector porcino, con la excepción de la contaminación por microminerales (especialmente zinc y cobre) que se tratan en otro capítulo de este curso.

### 2.- PROBLEMÁTICA MEDIOAMBIENTAL

La problemática medioambiental de la producción ganadera en general y del sector porcino en particular es debida a que:

- La explotación ganadera se ha desligado de la explotación agrícola. Por tanto, en zonas de alta producción intensiva, existen numerosas explotaciones ganaderas sin una base territorial suficiente para reutilizar los purines generados.
- El censo porcino ha aumentado notablemente durante los últimos años, mientras que la superficie agraria útil ha ido disminuyendo por distintos motivos como el crecimiento urbanístico y de infraestructuras o el abandono de tierras marginales.
- La dimensión media de las explotaciones ganaderas ha aumentado notablemente.

Las emisiones al medio ambiente generadas por una granja de porcino se pueden originar en la propia granja, o bien durante el almacenamiento, tratamiento o aplicación del purín. Pueden ser:

- Emisiones directas al suelo, aguas subterráneas y superficiales, básicamente en forma de purín.
- Emisiones al aire, en forma de gases, olores, polvo o ruido.

Los compuestos emitidos pueden potencialmente contribuir a distintos fenómenos perjudiciales para el medio ambiente (cuadro 1).

**Cuadro 1.- Fenómenos perjudiciales para el medio ambiente (BREF 2003)**

<b>Fenómeno</b>	<b>Compuesto</b>
Eutrofización	Nitrógeno (N), Fósforo (P)
Acidificación	Amoníaco (NH <sub>3</sub> ), Oxidos de N (NO <sub>x</sub> ), Compuestos con azufre (S)
Aumento del efecto invernadero	Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ), Metano (CH <sub>4</sub> ), Oxidos de N (N <sub>2</sub> O)
Reducción de la capa de ozono	Bromometano (CH <sub>3</sub> Br)
Desecación por uso de aguas subterráneas	
Difusión de metales pesados y plaguicidas	
Molestias locales por olor o ruido	

Las emisiones más importantes son las relacionadas con el nitrógeno (N) y el fósforo (P) los cuáles contribuyen especialmente a los fenómenos de:

- Eutrofización o enriquecimiento excesivo de nutrientes en el agua. El aumento de la concentración de compuestos de N y P provoca un crecimiento acelerado de las algas o las plantas acuáticas superiores, causando trastornos negativos en el equilibrio de las poblaciones biológicas presentes en el medio acuático y en la propia calidad del agua.
- Acidificación de suelos y aguas. Por la reacción ácida de distintos compuestos al combinarse con el agua, se producen variaciones en el pH que afectan al ecosistema acuático y a la vegetación.

Además del efecto directo sobre el medioambiente, la contaminación ambiental por ciertos compuestos perjudica la salud de las personas y de los animales tal como se detalla en el siguiente apartado.

### 3.- CONTAMINACIÓN POR COMPUESTOS NITROGENADOS

Dada la incidencia del N sobre el medioambiente y la salud, así como su relevancia en el aspecto legislativo, es importante conocer las interrelaciones entre los distintos compuestos nitrogenados. El ciclo del N y su utilización se detallan en las figuras 1 y 2.

Del total de N suministrado a los cerdos en forma de proteína de la dieta, únicamente entre un 20 y un 40% es retenido por el animal. La cantidad de N excretado depende del nivel de proteína bruta en el pienso, la digestibilidad de esta proteína y su valor biológico. Se elimina por dos rutas: mayoritariamente como urea a través de la orina, o también como compuestos nitrogenados a través de las heces, básicamente proteicos. La contaminación final al medio ambiente puede ser en forma de emisión aérea de amoniaco ( $\text{NH}_3$ ) o bien en forma de contaminación de aguas por exceso de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ).

La acción de la ureasa sobre la urea del purín produce el ión amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). Este ión amonio se puede liberar como gas amoniaco o una vez aplicado al suelo oxidarse a nitritos y nitratos. El amoniaco se libera lentamente del purín de la fosa y se esparce por la instalación, siendo en parte eliminado por los sistemas de ventilación. Es soluble en agua, o sea que cuanto más líquidos sean los purines menor presencia de amoniaco vamos a encontrar. Por ejemplo, un purín con un 6% de materia seca (MS) pierde un 20% menos de N que un purín con un 2% de MS. Existen múltiples factores que condicionan la emisión por volatilización del amoniaco en una granja: porcentaje de proteína del pienso, edad del cerdo, la densidad animal, tipo de cama, ventilación, condiciones climáticas ( $T^a$ , humedad relativa, velocidad del aire), características del purín ( $T^a$ , pH, MS), tipo de almacenamiento (superficie expuesta) y condiciones durante la aplicación (cuadro 2).

**Cuadro 2.- Factores que influyen en la emisión de amoniaco durante la aplicación del purín**

Factor	Característica	Influencia
Suelo	pH	Un pH bajo disminuye la emisión
	Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo	Si es alta disminuye la emisión
	Humedad del suelo	No claro
Clima	$T^a$	Alta $T^a$ aumenta la emisión
	Precipitación	Provoca dilución y una mejor infiltración y por tanto menor emisión al área, pero incrementa la emisión al suelo.
	Velocidad del viento	Si es alta se aumenta la emisión
	Humedad del aire	Si es baja se aumenta la emisión
Manejo	Sistema de aplicación	Emisión alta si no se entierra. Menor si se inyecta
	Tipo de deyección	Varía según la MS, pH y concentración de amonio
	Momento y dosis	Varía según condiciones climáticas

Figura 1.- Ciclo del nitrógeno (N)

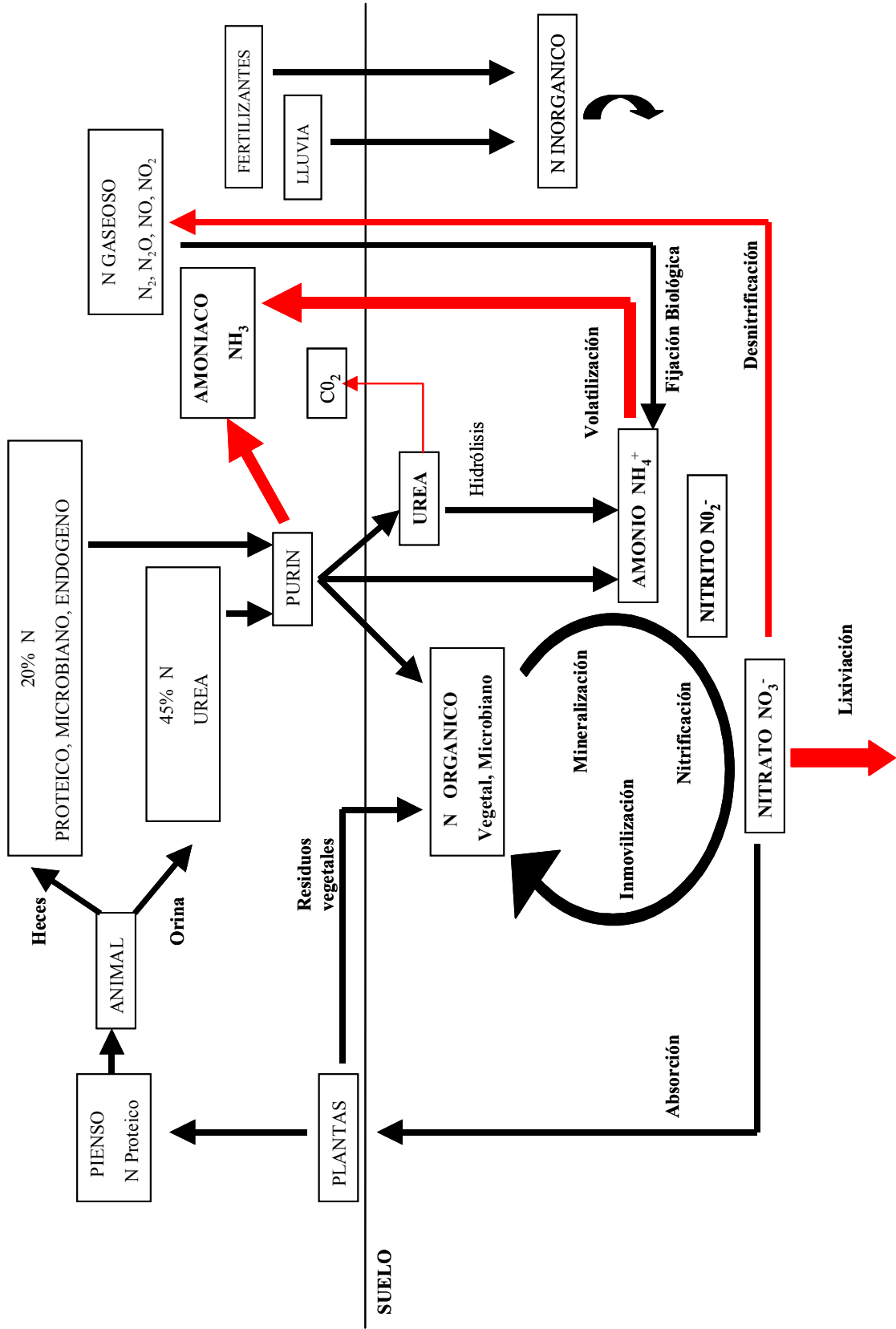
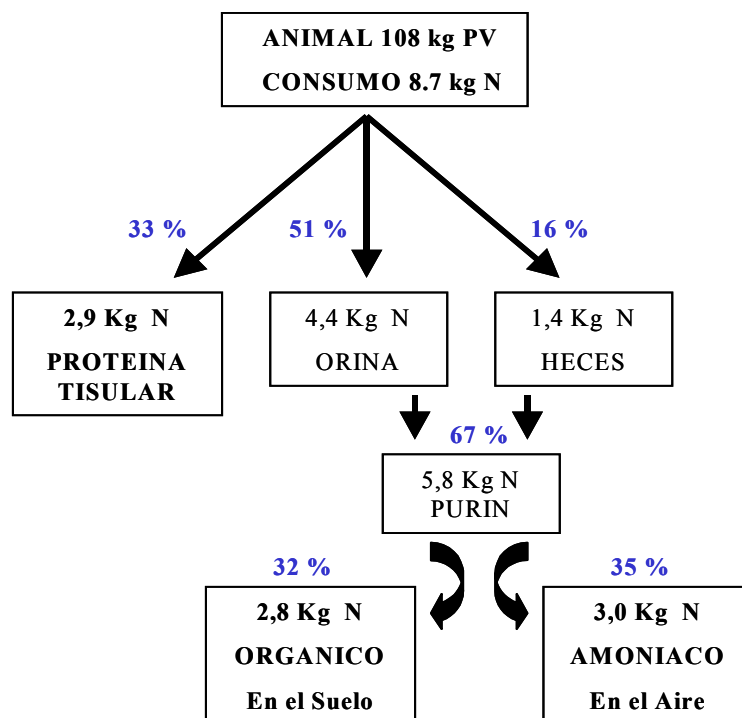


Figura 2.- Retención y excreción de nitrógeno (N) en el cerdo (Dourmad y Seve, 1997)



Una vez el purín es aplicado al suelo, continúa la hidrólisis de la urea y producción de amonio. El N en forma de  $\text{NH}_4^+$  es estable en el suelo, siendo retenido en los sitios de intercambio (Capacidad de Intercambio Catiónico) de las arcillas y materia orgánica, por tanto no se pierde por lixiviación. El N amoniacal del suelo sufre una serie de transformaciones químicas y biológicas formándose en primer lugar nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) y en un segundo paso nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ). Este proceso es la nitrificación y está regulado por bacterias aerobias del suelo. La desnitrificación se presentaría en suelos con condiciones de déficit de oxígeno (por ejemplo en suelos encharcados) donde microorganismos anaerobios transformarían los nitratos a formas reducidas de N ( $\text{N}_2$  o Óxido de N) que se eliminarían a la atmósfera. Las plantas absorben el N inorgánico principalmente como ión nitrato y en menor medida como ión amonio para la síntesis de proteínas vegetales. En el suelo existe un equilibrio entre el N orgánico y el N inorgánico. El factor principal que determina la dirección del proceso es la relación C/N de la materia orgánica que se está descomponiendo. Relaciones de C/N altas (por encima de 30:1) favorecen la inmovilización (transformación de N inorgánico a orgánico) mientras que materiales como los purines con relaciones C/N bajas (menos de 20:1) tienden a una más rápida mineralización (descomposición de la materia orgánica y formación de ión amonio).

Los nitratos son la forma de N más soluble y son altamente móviles, por tanto la posibilidad de que se produzcan pérdidas por lixiviación son importantes. La cantidad de nitratos que se lixivian hacia el subsuelo dependerá del régimen de pluviosidad y del tipo

de suelo. Cuando se efectúen sobrefertilizaciones nitrogenadas con fertilizantes orgánicos o inorgánicos, los  $\text{NO}_3^-$  no aprovechados por los cultivos se acumulan y quedan disponibles para ser transportados por el agua percolante contaminando las aguas y acuíferos subterráneos o bien son arrastrados hacia los cauces y reservorios superficiales. En ausencia de contaminación, la concentración de nitratos en agua es normalmente baja (0-18 mg/l).

La emisión del exceso de N puede ocasionar una serie de **efectos perjudiciales** sobre el medio ambiente, la sanidad de los animales y la salud de las personas. Los efectos sobre el medioambiente son básicamente debidos a la acción del **amoniaco**. Una vez el gas es emitido a la atmósfera, puede tener una deposición seca (cercana) o húmeda (lejana) en suelos y plantas, pudiendo causar los ya mencionados procesos de eutrofización y acidificación. En las granjas de porcino, es el gas más común, tiene un fuerte olor, y en concentraciones altas, puede irritar ojos, garganta y membranas mucosas de personas y animales. Al ser más ligero que el aire, cuando se mide su presencia, se debe hacer a la altura de los animales y en dos o tres lugares diferentes de la granja. Provoca distintos efectos negativos sobre los animales (ISU, 2002):

- Empeora la productividad. A 50 ppm no se observan lesiones respiratorias pero si un menor crecimiento (hasta un 15%). Entre 50 y 75 ppm se observa una reducción en la capacidad del cerdo para eliminar bacterias de los pulmones. Entre 100 y 150 ppm ya se observan lesiones en las mucosas con un notable empeoramiento del crecimiento (30%).
- Disminuye la resistencia a enfermedades. Hay correlaciones positivas de la concentración de amoniaco con la prevalencia de PRRS, artritis y abscesos en cerdos de transición. Tiene un efecto muy claro sobre procesos respiratorios, aumentado el riesgo de contraer pulmonías. Produce daño en los epitelios respiratorios en forma de metaplasia, menor número de células caliciformes y pérdida de cilios en cornetes, traquea y bronquios. El resultado es un menor transporte mucociliar y disminución de las funciones de los macrófagos alveolares. Por tanto, se reducen los mecanismos de protección del pulmón a la entrada de bacterias. Se necesitan menos dosis de patógeno para causar neumonía. Tiene un claro efecto complicante de las infecciones por *Mycoplasma / Pasteurella*. A partir de 5 ppm complica notablemente la severidad de la rinitis inducida por *Pasteurella multocida* en animales destetados.
- Retrasa la pubertad. A partir de 5 ppm se observa un retraso que puede ser debido a la desensibilización del sentido del olfato.
- Empeora el bienestar del animal: En un experimento en que se dejó elegir libremente a los cerdos entre 4 ambientes con 0, 10, 20 y 40 ppm, estuvieron un 53%, 27%, 7 y 5% de su tiempo en cada ambiente, respectivamente.

El otro gran efecto indeseable de la contaminación por N es la emisión de **nitratos** a aguas superficiales y subterráneas y el incremento de su concentración en el agua de bebida o en los alimentos. La toxicidad de los nitratos fue ampliamente revisada por Antón y Lizaso (2003). Se puede resumir en dos efectos tóxicos:

1.- Aumento de metahemoglobinemia o “síndrome del bebé azul”. Es una cianosis debida a la transformación de la hemoglobina a metahemoglobina. La población infantil es especialmente sensible debido a:

- Acidez gástrica disminuida, lo que favorece la proliferación de microorganismos reductores de nitratos a nitritos antes de su total absorción.
- La ingesta de agua en niños por unidad de peso corporal es 10 veces superior a la de los adultos.
- La hemoglobina fetal (60-80% en recién nacidos) se oxida más fácilmente a metahemoglobina.
- Desarrollo incompleto del sistema NADH-metahemoglobina reductasa en recién nacidos y pequeños, que salvo casos raros de deficiencia enzimática hereditaria, parece desaparecer al cabo de los 3-4 meses de vida.

También existen otros grupos de población de riesgo como embarazadas, ya que el nitrito atraviesa la placenta, causando metahemoglobinemia fetal, o personas con acidez gástrica disminuida o con déficit de glucosa-6P-deshidrogenasa.

2.- Formación de N-nitrosocompuestos (especialmente nitrosaminas) en adultos. Los N-nitrosocompuestos son agentes teratógenos, mutágenos y probables carcinógenos, altamente peligrosos para la salud humana. Se ha sugerido su intervención en el desarrollo del cáncer nasofaríngeo, esofágico y gástrico. Pueden tener un origen endógeno o exógeno. La formación endógena comienza cuando los nitratos son reducidos a nitritos por los microorganismos de la cavidad bucal y estos nitritos, que en condiciones normales se transformarían en óxido nítrico en el estómago, bajo circunstancias específicas, como la gastritis crónica, pueden oxidarse a agentes nitrosantes y reaccionar para formar N-nitrosocompuestos. Sin embargo, la toxicidad de los N-nitrosocompuestos endógenos no parece ser muy importante. Son los N-nitrosocompuestos exógenos los que aparecen en los estudios de investigación clínica como causantes de tumores. Las fuentes principales de éstos N-nitrosocompuestos exógenos son el humo del tabaco, los cosméticos y los productos alimenticios.

Es importante resaltar que los nitratos no son compuestos tóxicos “per se” sino que la toxicidad es debida a una ingesta excesiva. Nitritos o nitratos están autorizados como aditivos alimentarios en la fabricación de productos cárnicos curados, en la conservación del pescado y en la producción de queso. Normalmente forman parte de salazones para contrarrestar el efecto de la sal sobre el color de los productos (la formación de

nitrosohemoglobina o nitrosohemocromógeno de color rojo oscuro contrarresta el color pardo-verdoso indeseable). Además, los nitratos como sustancias de origen natural pueden encontrarse en productos cárnicos frescos, leche y productos lácteos, cereales, frutas, bebidas alcohólicas y verduras. En la mayoría de estos alimentos se encuentran en bajas concentraciones, generalmente inferiores a 10 mg/kg y rara vez exceden los 100 mg/kg. La verduras y los embutidos tienen un mayor contenido que oscila entre 200 y 2.500 mg/kg, según el procesado del alimento, uso de fertilizantes y condiciones de crecimiento. En general, la principal fuente de ingestión de nitratos son los vegetales, siempre que el agua de bebida se mantenga a niveles de concentración de nitratos inferiores a 10 mg/l. Habitualmente, la contribución de los nitratos contenidos en el agua de bebida supone aproximadamente un 14% de la ingesta total de nitratos. La ingesta total de nitratos de los alimentos oscila normalmente entre 50 y 150 mg/persona/día, dependiendo del tipo de dieta y del contenido en el agua potable. Las dietas vegetarianas presentan un valor más elevado, del orden de 200 mg/persona/día. La Ingesta Diaria Aceptable (IDA) de nitratos recomendada por FAO/OMS es de 0-3,7 mg/kg peso corporal y la de nitritos es de 0-0,06 mg/kg de peso corporal.

#### 4.- CONTAMINACIÓN POR FÓSFORO

El P es un elemento esencial en agricultura y juega un papel esencial en cualquier forma de vida. La mayoría del P vegetal está en forma de ácido fítico (entre un tercio y una cuarta parte) poco disponible para los monogástricos. Esta baja digestibilidad del P resulta en una baja retención en el animal (cuadro 3) y una alta excreción a través de las heces donde es liberado por los microorganismos presente en el suelo. En los suelos, el P aparece en menores proporciones que el N y el K. Con frecuencia su riqueza es insuficiente para asegurar un correcto desarrollo de las cosechas, siendo preciso recurrir a un aporte extra al suelo mediante abonados minerales u orgánicos (purines). Las plantas lo absorben en forma de iones fosfato monobásicos ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) y dibásicos ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ). Es uno de los nutrientes menos móviles en el suelo, por tanto las pérdidas se producen principalmente por erosión o por arrastre superficial afectando básicamente a las aguas superficiales. Al contrario que con el N, la contaminación de las aguas subterráneas es más difícil debido a que los fosfatos forman compuestos insolubles con iones  $\text{Fe}^{+3}$  y  $\text{Al}^{+3}$  en suelos ácidos y con  $\text{Ca}^{++}$  en suelos alcalinos. Tan solo existe un rango de pH (alrededor de 6,5) en que el fosfato se mantiene soluble, en esta situación puede haber pérdidas por lixiviación. Tal como se ha comentado anteriormente, la presencia de P también contribuye a la eutrofización y acidificación (lluvia ácida). Concentraciones de 20-30  $\mu\text{g/l}$  de P en lagos o ríos lentos pueden causar la eutrofización con el riesgo de crecimiento de algas azules tóxicas P-dependientes. En España, no existe una regulación específica sobre P. En zonas concretas de Francia, la cantidad máxima permitida es de 100 kg/ha de unidades fertilizantes de P (pentóxido de di-P:  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) equivalente a 44 kg/ha de P. En Holanda, el límite máximo es 110 kg de  $\text{P}_2\text{O}_5$  en zona de cultivos y 135 kg en pastos para todo el país,



con una reducción progresiva hasta llegar a 20 kg de P/ha en el 2008 (regulado por MINAS: MINeral Accounting System). Dada la alta contaminación existente, el objetivo de la legislación holandesa es que la concentración de P en el agua del subsuelo y en las aguas superficiales no exceda 0,15 mg/l.

Las diferencias en P digestible entre distintas materias primas, el diferente aporte de los distintos fosfatos minerales, el incremento de digestibilidad producido por las fitasas, así como los requerimientos en las distintas fases del animal han sido extensamente revisados en anteriores cursos FEDNA (Dourmad y Seve, 1997. Jongbloed y Kemme, 1997. Rebollar y Mateos, 1999).

**Cuadro 3.- Ejemplo de consumo, retención y excreción de P (kg/animal) en cerdos (BREF, 2003)**

	Días	Consumo	Retención	Excreción			
				Heces	Orina	Total	%
<b>Cerdas:</b>							
Lactación	27	0,78	0,35	0,34	0,09	0,43	55
Gestación	133	1,58	0,24	0,79	0,55	1,34	85
Total/ciclo	160	2,36	0,59	1,13	0,64	1,77	75
Total/año	365	5,38	1,35	2,58	1,46	4,04	75
<b>Cerdos:</b>							
Lechón (1,5-7,5 kg)	27	0,25	0,06	0,12	0,07	0,19	75
Destete (7,5-26 kg)	48	0,157	0,097	0,053	0,007	0,06	38
Cebo (26-113 kg)	119	1,16	0,43	0,65	0,08	0,73	63

## 5.- EMISIONES A TRAVÉS DEL PURÍN

La eliminación de heces y orina en forma de purín constituye la emisión más importante de la producción porcina. El purín contiene una serie de elementos que le confieren un gran valor como fertilizante si se aplica adecuadamente (N, P, K, Ca, Mg, Na, Cu, Zn, Fe y Mn, entre otros). La extracción de nutrientes del suelo depende del tipo de cultivo y su rendimiento, siendo por lo tanto difícil de estimar. La naturaleza orgánica (total o parcial) de algunos elementos y su evolución una vez incorporados al suelo es difícil de prever. Referente al N, se debe tener cuenta que parte de este elemento se encuentra en forma orgánica en el purín y por tanto, tiene un efecto residual en el suelo, liberándose progresivamente en años sucesivos a la aplicación. La aplicación de la misma dosis cada año puede suponer una aportación deficitaria los primeros años pero excesiva a largo plazo. Los riesgos son desequilibrios nutricionales del cultivo, acúmulo de metales

pesados (Cu y Zn), salinización, concentración de microorganismos patógenos (en especial, coliformes fecales y *Salmonella*) y las ya citadas eutrofización y contaminación de aguas freáticas. Desde el punto de vista del N, sería necesaria una aplicación a dosis decrecientes. El P del purín tiene la misma eficiencia que el P procedente de abonos inorgánicos. El cálculo de la dosis de abono orgánico se puede realizar en función de la aportación de P o de N. La legislación vigente en el estado Español únicamente contempla el N como elemento limitante. Existe gran variación en la **cantidad** del purín generado en distintas explotaciones (cuadro 4). Su **composición** también varía enormemente en función del tipo de producción, la composición del pienso y la eficiencia productiva del animal (índice de conversión). Ejemplos de composición se detallan en los cuadros 5, 6 y 7.

**Cuadro 4.- Cantidad de purín. Rango de niveles publicados sobre producción de purín en distintos etapas de la producción porcina (Adaptado de BREF, 2003)**

Categoría	Producción (kg/animal/día)			Producción (m <sup>3</sup> /animal)	
	Heces	Orina	Purín	Por mes	Por año
Gestación	2,4	2,8 – 6,6	5,2 – 9,0	0,16 – 0,28	1,9 – 3,3
Lactación	5,7	10,2	10,9 – 15,9	0,43	5,1 – 5,8
Destete	1,0	0,4 – 0,6	1,4 – 2,3	0,04 – 0,05	0,5 – 0,9
Cebo	2,0	1,0 – 2,1	3,0 – 7,2	0,09 – 0,13	1,1 – 1,9
Cebo (>130 kg)	-	-	10,0 – 13,0	-	-
Recría	2,0	1,6	3,6	0,11	1,3

**Cuadro 5.- Composición del purín. Valores medios y variación.**

	Composición, kg/m <sup>3</sup>	Desviación Estándar
Materia Seca	110	
Materia Orgánica	73	
N Total	7,6	1,8
N orgánico	1,9	0,7
N amoniacal	5,7	1,7
Fosfatos (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	6,5	1,5
Potasio (K <sub>2</sub> O)	7,2	1,9
Óxido de Magnesio (MgO)	1,8	0,7
Óxido de Sodio (Na <sub>2</sub> O)	0,9	0,3
DQO	47	
DBO5	25	
Densidad	1,04	

**Cuadro 6.- Reparto de N entre la fracción líquida y sólida del purín.**

	<b>Fracción líquida</b>	<b>Fracción sólida</b>
N orgánico	10% (0,76 kg/m <sup>3</sup> )	15% (1,14 kg/m <sup>3</sup> )
N NH <sub>4</sub>	75% (5,70 kg/m <sup>3</sup> )	0%

**Cuadro 7.- Rango de concentración de metales pesados en el purín.**

<b>Metales pesados</b>	<b>mg/kg MS</b>
Cobre (Cu)	250 - 759
Zinc (Zn)	691 - 1187
Cadmio (Cd)	0,50 - 1,80
Cromo (Cr)	2,20 - 14,0
Niquel (Ni)	11,0 - 32,5
Plomo (Pb)	7,0 - 18,0

Teniendo en cuenta la cantidad de purín generado por cada tipo de animal y su composición, se calcula la cantidad de nutrientes excretados por animal. El resultado puede variar sustancialmente en función del tipo de producción, alimentación y grado de eficiencia. En los cuadros 8 y 9 se especifican cifras de distintos países sobre la excreción de N y P, respectivamente. Las cifras oficiales en España sobre cantidad de purín y contenido en N se detallan en el cuadro 10. Los aspectos de la aplicación de la legislación para calcular la superficie necesaria para un determinado número de animales se cubre en un apartado posterior de este capítulo.

**Cuadro 8.- Niveles estándares de excreción de N en distintos países (BREF 2003).**

<b>Especie Animal</b>	<b>Bélgica (kg/plaza/año)</b>	<b>Francia<sup>1</sup> (g/animal)</b>	<b>Alemania<sup>2</sup> (kg/plaza/año)</b>
Lechón	2,46	440	4,3
Cerdo	13,0	2880-3520	13,0
Cerdas	24,0	16,5 kg/plaza/año	27,0 - 36,0
Broilers	0,62	25 - 70	0,29
Ponedoras	0,69	0,45 kg/plaza/año	0,74
Pavos	2,2	205	1,64

<sup>1</sup>Pérdidas al aire (25%) en el edificio y pérdidas al aire durante el almacenaje (5%) ya están restadas de estas cifras. Las pérdidas durante la aplicación de purín no están incluidas.

<sup>2</sup>Pérdidas al aire (10%) durante almacenamiento y las pérdidas al aire (20%) durante la aplicación no están restadas de estas cifras.

**Cuadro 9.- Niveles estándares de excreción de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en distintos países (BREF 2003)**

<b>Especie Animal</b>	<b>Bélgica (kg/plaza/año)</b>	<b>Francia (kg/animal)</b>	<b>Alemania (kg/plaza/año)</b>
Lechón	2,02	0,28	2,3
Cerdo	6,5	1,87 - 2,31	6,3
Cerdas	14,5	14,5 kg/plaza/año	14,0 -19,0
Broilers	0,29		0,16
Ponedoras	0,49		0,41
Pavos	0,79		0,52

**Cuadro 10.- Equivalencias en UGM de los tipos de ganado porcino y el contenido en N de sus estiércoles al inicio del periodo de almacenamiento (BOE 8/3/00)**

<b>Tipo de ganado (plaza)</b>	<b>Estiércol líquido y semilíquido (m<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Contenido en N (kg/plaza/año)</b>	<b>Equivalencia en UGM<sup>a</sup></b>
Cerda en ciclo cerrado <sup>b</sup>	17,75	57,60	0,98
Cerda con lechones hasta destete (0 a 6 kg)	5,10	15,00	0,25
Cerda con lechones hasta 20 kg	6,12	18,00	0,30
Cerda de reposición	2,50	8,50	0,14
Lechones de 6 a 20 kg	0,41	1,19	0,02
Cerdo de 20 a 50 kg	1,80	6,00	0,10
Cerdo de 50 a 100 kg	2,50	8,50	0,14
Cerdo de cebo de 20 a 100 kg	2,15	7,25	0,12
Verracos	6,12	18,00	0,30

<sup>a</sup>UGM es Unidad Ganadera Mayor (equivale a un bovino adulto).

<sup>b</sup>Incluye la madre y su descendencia hasta la finalización del cebo.

## 6.- EMISIONES AL AIRE

Después del purín, las emisiones al aire son el principal problema medioambiental. Los distintos contaminantes y sus efectos perjudiciales han sido extensamente revisados en distintos trabajos (Degre et al., 2001; ISU, 2002; Revilla, 2004; Quiles y Hevia, 2004). Las principales emisiones son distintos tipos de gases tóxicos, el polvo, los olores y el ruido. Es interesante reducir este tipo de emisiones por distintos motivos:

- La emisión de ciertos gases contribuyen negativamente a la contaminación atmosférica. A parte de los efectos ya mencionados del amoniaco, la emisión del metano contribuye al efecto invernadero.
- La alta concentración de gases tóxicos en la granja ocasionan un estrés ambiental en los animales pudiendo afectar su salud y bienestar. El cerdo es un animal con un aparato respiratorio insuficiente en relación a su masa muscular. Por tanto, ambientes inadecuados repercuten en los parámetros de crecimiento y reproductivos.
- Los gases también tienen un efecto negativo sobre las instalaciones. Se aumenta la humedad y la corrosión, disminuyendo la vida útil de los metales y sistemas eléctricos.
- Las emisiones aéreas son un factor de riesgo para la seguridad y salud laboral de los trabajadores de una granja. La presencia de gases tóxicos y nocivos es especialmente importante en el momento de la manipulación del purín o limpieza de las fosas. La acumulación de sulfuro de hidrógeno puede provocar asfixia y muerte de los trabajadores. Otros gases tienen menor riesgo, pero también pueden provocar molestias. Las proteínas presentes en el polvo pueden generar cuadros alérgicos.
- La presencia de olores no genera un problema muy grave para los animales y el personal de la granja debido al gran poder de adaptación del olfato. Sin embargo, es un factor clave para la aceptación social de la producción porcina por parte de la opinión pública.
- El ruido también es un factor a tener en cuenta especialmente en granjas próximas a núcleos urbanos, así como también por su posible influencia sobre la capacidad auditiva del personal de la granja.

Existen grandes variaciones en el nivel de emisiones al aire desde las explotaciones ganaderas debido a los múltiples factores que influyen: diseño de las instalaciones y sistemas de recolección del purín, sistema de ventilación y calefacción ( $T^a$  y velocidad del aire), tipo de bebederos, densidad animal y también la alimentación de los animales.

### 6.1.- Gases tóxicos

La principal emisión es la de amoniaco, pero otros gases como el sulfuro de hidrógeno ( $SH_2$ ), el metano ( $CH_4$ ), el dióxido de carbono ( $CO_2$ ), el monóxido de carbono (CO) y el óxido nitroso ( $N_2O$ ) también son importantes, y posiblemente adquirirán una mayor importancia en el futuro. Sus características, efectos fisiológicos y rango de emisiones en un granja de porcino se detallan en los cuadros 11 y 12.

**Cuadro 11.- Característica y efectos fisiológicos de distintos gases (Adaptado de Quiles y Hevia, 2004)**

Gas	NH <sub>3</sub>	SH <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	CO
Tipo	Irritante	Veneno	Asfixiante	Asfixiante	Veneno
Densidad (g/l)	0,77	1,54	0,72	1,98	1,25
Gravedad específica*	0,58	1,19	0,58	1,53	0,97
Color	Incoloro	Incoloro	Incoloro	Incoloro	Incoloro
Olor	Picante	+ Huevos ++ Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodoro
Concentración máxima aceptable	50 ppm	10 ppm	1000 ppm	5000 ppm	50 ppm

\*Proporción del peso del gas en el aire atmosférico.

+Baja concentración. ++Alta concentración.

**Cuadro 12.- Rango de emisiones áreas (kg/animal/año) en sistemas de alojamiento de porcino (BREF, 2003)**

Etapa	Tipo de Alojamiento	NH <sub>3</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Cerdas	Gestación	0,4 - 4,2	21,1	
	Lactación	0,8 - 9,0		
Destete		0,06 - 0,8	3,9	
Cebo	Slat total	1,35 - 3,0	2,8 - 4,5	0,02 - 0,15
	Slat parcial	0,9 - 2,4	4,2 - 11,1	0,59 - 3,44
	Sin slat / Cama	2,1 - 4,0	0,9 - 1,1	0,05 - 2,40

Los aspectos relacionados con el **amoníaco** ya se han mencionado en un apartado anterior. El **sulfuro de hidrógeno** se genera en condiciones de anaerobiosis por descomposición bacteriana de materia orgánica con azufre (e.g. aminoácidos azufrados) en las heces. Se produce continuamente, pero al ser más pesado que el aire, se retiene en la fosa del purín; al vaciar la fosa y agitarse el purín, se libera rápidamente. En el hombre, hasta 10 ppm no representa un problema. A partir de 100 ppm el olfato se desensibiliza y no es capaz de detectar el típico olor a huevos podridos. A dosis bajas es irritante de los epitelios, pero a partir de 200 ppm es letal ya que provoca edema pulmonar, inconsciencia, coma y muerte. La sensibilidad a dosis tóxica puede variar según la especie, siendo parecida en mamíferos (entre 500 y 700 ppm), mientras que las aves son mucho más

resistentes (hasta 4000 ppm). En el caso del porcino, entre 50-100 ppm no se observa sintomatología, a partir de 250 ppm se observa discomfort, entre 500-700 ppm, semicomma, y a 1000 ppm se produce la muerte de los animales.

Amoníaco y sulfuro de hidrógeno son los dos gases más relevantes como causantes de malos olores. Para regular las posibles molestias de una granja de porcino a viviendas próximas, en Estados Unidos se han establecido las siguientes recomendaciones.

Para el SH<sub>2</sub>:

- Un máximo de 70 ppb medidas durante 1 hora en los límites de la parcela de la granja.
- Un máximo de 15 ppb medidas durante 1 hora en la zona residencial.

Para el NH<sub>3</sub>:

- Un máximo de 500 ppb medidas durante 1 hora en los límites de la parcela de la granja.
- Un máximo de 150 ppb medidas durante 1 hora en la zona residencial.

El **metano** se genera en la estabilización anaeróbica de los purines, como consecuencia de degradación de ácidos orgánicos. También ocurre como resultado de fermentaciones microbianas en el ciego e intestino grueso. Sin embargo, esta contribución es muy pequeña comparada con la de los rumiantes debido a las diferencias en el sistema digestivo. La cantidad de metano generado por kg de MS es un 5-10% del generado en rumiantes. Es explosivo a concentraciones de un 5 y un 15%.

El **dióxido de carbono** proviene de la propia respiración de los animales, aunque también se puede originar por degradación de los ácidos orgánicos. Un cerdo genera 450 kg/año (un coche medio produce 5500 kg/año). En la atmósfera tiene una concentración de 30 ppm. En granja no se debe sobrepasar los 2000 ppm. Entre 5000 ppm y un 1% predispone a mordeduras de colas. Por encima de un 4% puede producir asfixia ya que desplaza al oxígeno.

El **monóxido de carbono** se puede originar en fallos de combustión de los sistemas de calefacción o bien en procesos catabólicos. En casos de fallos en el sistema de calefacción, puede ser causa de mortalidad en lechones. Entre 200 y 300 ppm, reduce la tasa de crecimiento (en un 25%). Causa la muerte de lechones a 4000 ppm.

## 6.2.- Olor

Los compuestos responsables del olor son muy variados. Se han descrito cerca de 170 compuestos volátiles. A parte de los mencionados amoníaco, metano y sulfuro de hidrogeno, gran número de otros compuestos se originan por la degradación anaeróbica incompleta de carbohidratos, ácidos grasos y proteína excretados (cuadro 13).

**Cuadro 13.- Origen y límite de detección de componentes del olor en porcino (van Kempen y van Heugten, 2003)**

Compuesto	Origen	Límite de detección olfatoria ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Ácido acético	Fibra: degradación en heces	25-25000
Ácido propanoico	Fibra: degradación en heces	3-890
Ácido butanoico	Fibra: degradación en heces, Histidina	4-3000
Ácido 3-metilbutanoico	Fibra: degradación en heces	5
Ácido pentanoico	Fibra: degradación en heces	0,8-70
Fenol	Fenilalanina, Tirosina	22-4000
4-metilfenol (p-cresol)	Triptófano, Tirosina	0,22-35
Indol	Triptófano	0,6
3-metilindol (escatol)	Triptófano	0,4-0,8
Metanetiol	Metionina, Cisteína, Sulfatos	0,5
Dimetilsulfuro	Metionina, Cisteína, Sulfatos	2-30
Dimetildisulfuro	Metionina, Cisteína, Sulfatos	3-14
Dimetiltrisulfuro	Metionina, Cisteína, Sulfatos	7,3
Sulfuro de hidrógeno	Metionina, Cisteína, Sulfatos	0,1-180

A partir de los carbohidratos se producen ácidos grasos volátiles. Compuestos fenólicos como el para-cresol, indol y escatol se generan a partir de la proteína, así como distintas aminas (putrescina y cadaverina, las más importantes). Compuestos con azufre (S) dan lugar a mercaptanos. Muchos de estos compuestos tienen un valor umbral de detección superior a  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , pero cuando se combinan entre sí puede haber sinergias que los hacen detectables a concentraciones inferiores. Entre distintas explotaciones puede haber diferencias muy importantes en función de las estrategias utilizadas (cuadro 14).

### 6.3.- Polvo

La emisión de polvo por parte de una granja no genera un problema de contaminación ambiental, pero puede contribuir a la difusión de olores. Su importancia es mayor en el interior de las naves por su efecto sobre la respiración de animales y personas. Una adecuada presentación del pienso y un sistema de alimentación correcto, así como unas buenas medidas de limpieza y un buen funcionamiento del sistema de ventilación contribuyen a minimizar el problema de la formación de polvo.



**Cuadro 14.- Análisis de compuestos odoríferos en el aire (mg/m<sup>3</sup>) del sistema de ventilación en granjas de porcino. Resultados de dos estudios (ISU, 2002)**

		<b>Estudio 1</b>	<b>Estudio 2</b>
<b>Ácidos Grasos</b>	Acético	0,189	0,281
	Propiónico	0,156	0,126
	n-butírico	0,318	0,142
	I-butírico	0,040	0,023
	n-valerico	0,035	0,043
	I-valérico	0,049	0,073
	n-hexanoico	0,010	
	I-hexanoico	0,004	
	Heptanoico	0,003	
	Ocotanoico	0,005	
Pelargonico	0,004		
<b>Fenoles / Indoles</b>	Fenol	0,023	0,009
	Cresol	0,039	0,085
	Indol	0,0011	
	Escatol	0,0011	0,0005
<b>Metilamina</b>	Dimetilamina	2	
	Trimetilamina	2,2	
<b>Otros gases</b>	Acetona	0,33	
	Amoniaco	8,5	9,6
	Sulfuro de Hidrógeno	2	0,054
	Metano	0,004	5

El polvo se puede generar del pienso, de descamaciones epidérmicas, heces desecadas, cama de los animales y productos resultantes de la acción microbiana sobre heces y pienso. En destetes y granjas de cerdas predomina el polvo de origen fecal, mientras que en granjas de engorde predomina el polvo originado por el pienso. En función del tamaño, puede ser inhalable (partículas de 10-15 µm se quedan en la traquea, y de > 15 µm se quedan en la nariz) o respirable (partículas de < 5 µm llegan a los alvéolos). Un 40% del polvo generado de heces es inhalable. Es evidente que altas concentraciones de polvo están relacionadas con problemas respiratorios, pero también pueden incidir en otros tipos de problemáticas dada su relación con los bioaerosoles.

#### 6.4.- Bioaerosoles

Los bioaerosoles son partículas de origen biológico que están suspendidas en el aire. Incluyen bacterias, hongos esporas, virus, restos de células, productos de los microorganismos, polen y aeroalergenos. Los microorganismos pueden ser saprófitos de origen epidérmico y fecal, pero también pueden ser patógenos (e.g. *Salmonella*). Por tanto, los bioaerosoles pueden contribuir a la diseminación de enfermedades. Los productos bacterianos y fúngicos pueden ser endotoxinas, exotoxinas, peptidoglicanos, micotoxinas y glucanos. Endotoxinas y peptidoglucanos pueden ser altamente inflamatorios. Las endotoxinas son lipolisacáridos componentes de la pared celular externa de bacterias Gram-. Son potentes agentes inflamatorios que causan efectos sistémicos y obstrucción pulmonar. Los peptidoglicanos también son parte de pared celular de cualquier bacteria, algunos hongos y levaduras. Se ha demostrado una correlación positiva entre el n° de bacterias y la presencia de patología respiratoria, procesos inflamatorios, abscesos, artritis, nematodosis hepática, y mayor mortalidad. La concentración microbiana en las granjas oscila entre 100.000 y 10.000.000 cfu/m<sup>3</sup>. A partir de 430.000 ya es nocivo para la salud de los cerdos. La concentración de endotoxinas oscila entre 150-1000 unidades (EU/m<sup>3</sup>), siendo ya potencialmente dañina a partir de 150 unidades. En general, cuando la exposición a contaminante aéreos es negativa para la productividad y salud del cerdo, también lo es para la salud de la personas (cuadro 15).

**Cuadro 15.- Valores máximos a componentes que afectan a la productividad y salud del cerdo y del hombre**

Componente	Salud del Hombre	Salud del Cerdo
Polvo, mg/m <sup>3</sup>	2,4	3,7
Polvo respirable, mg/m <sup>3</sup>	0,23	0,23
Endotoxina EU/m <sup>3</sup>	100	150
Dióxido de carbono (ppm)	1540	1540
Amoniaco (ppm)	7,0	11,0
Bacterias totales, cfu/m <sup>3</sup>	4,3 x 10 <sup>5</sup>	4,3 x 10 <sup>5</sup>

#### 6.5.- Ruido

Es un factor a tener en cuenta, especialmente en granjas próximas a núcleos urbanos, así como también por su posible influencia sobre la capacidad auditiva del personal de la granja. Las fuentes de ruido en una granja dependen de la actividad que se esté realizando (cuadro 16).

**Cuadro 16.- Fuentes de ruido en una granja de porcino**

Descripción	Duración	Frecuencia	Día / Noche	Presión acústica (dB) <sup>a</sup>	
Normal	Continuo	Continuo	Día	67	
Comidas					
- Cebo	1 hora	Diario	Día	93	87 <sup>b</sup>
- Cerdas				99	91 <sup>b</sup>
Sistema alimentación	3 horas	Diario	Día	90	85 <sup>b</sup>
Movimiento de animales	2 horas	Diario	Día	90-110	
Suministro de piensos	2 horas	Semanal	Día	92	
Limpieza	2 horas	Diario	Día	88	
Aplicación de purín	8 h/día	Semanal	Día	95	
Sistema de ventilación	Continuo	Continuo	Día / Noche	43	

<sup>a</sup>Niveles de 80 dB provocan una sensación molesta. Serían propios del interior del metro, una calle ruidosa, un bar animado, o una cadena de montaje. Niveles de 90 dB se obtendrían en un taller mecánico, en una imprenta, o en un túnel de limpieza de coches. En una discoteca los niveles están alrededor de 100 dB.

<sup>b</sup>Presión acústica equivalente a un ruido continuado (dB).

## 7.- LEGISLACIÓN MEDIOAMBIENTAL

En los últimos años, se ha publicado numerosa legislación sobre temática medioambiental que afecta directa o indirectamente la producción ganadera. En el cuadro 17 se detallan algunas de las normativas más relevantes. Se establecen unos valores máximos permitidos en el medio ambiente de distintos compuestos generados por la producción ganadera:

- Contenido máximo de nitratos en el agua potable es de 50 mg/l. El valor máximo de nitritos es de 0,5 mg/l.
- Contenido máximo de N aportado en forma de estiércol de 210 kg/año/hectárea. A reducir a 170 kg/año a través de programas cuatrienales.
- Emisión máxima de amoníaco a la atmósfera de 105 kilotoneladas por parte de España en el año 2010. Esta cifra representa una reducción del 23% de la emitida en el año 2000. Se estima que el sector agrario representa un 91% de la emisión total de amoníaco.

**Cuadro 17.- Resumen de la legislación medioambiental vigente**

<b>Directiva</b>	<b>BOE</b>	<b>Tema</b>
91/676/CE	RD 261/1996	Protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias.
	RD 324/2000	Normas básicas de ordenación de las explotaciones porcinas.
96/61/CE	Ley 16/2002	Prevención y Control Integrados de la Contaminación (IPPC).
98/83/CE 2000/60/CE	RD 140/2003	Criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.
2001/81/CE	Resolución 11-9-03	Programa nacional de reducción progresiva de las emisiones nacionales de dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ), óxidos de N (NO <sub>x</sub> ), compuestos orgánicos volátiles (COV) y amoníaco (NH <sub>3</sub> ).

A fin de evitar la contaminación producida de las aguas por los nitratos procedentes de fuentes agrarias, se establecen las siguientes acciones:

- Definición de Zonas Vulnerables. Son aquellas superficies territoriales cuyas escorrentía o filtración afecte o pueda afectar a la contaminación por nitratos de las aguas (aguas superficiales, aguas subterráneas, embalses, lagos naturales, charcas, estuarios y aguas litorales). La designación es competencia de las Comunidades Autónomas.
- Adopción por parte de todas las Comunidades Autónomas de un Código de Buenas Prácticas Agrarias que deben contener disposiciones que contemplen los siguientes aspectos:
  - Períodos en que no es conveniente la aplicación de fertilizantes a las tierras.
  - Prohibición en la aplicación de estiércoles, purines, lodos y similares en caso de suelos inundados o nevados.
  - Regulación de la aplicación en terrenos inclinados o escarpados.
  - Almacenamiento de estiércoles y purines.
  - Medidas de gestión de residuos de cosecha.
  - Condiciones de las instalaciones ganaderas.
  - Aplicación de purines.
- Cantidad máxima de estiércol aplicada al terreno. La cantidad específica por hectárea es la cantidad de estiércol que contiene 170 kg/año de N. No obstante, durante los primeros programas de actuación cuatrienal se puede permitir una cantidad de estiércol que contiene hasta 210 kg/año de N. Estas cantidades se calculan basándose en el número de animales de la explotación agraria. Una vez transcurrido el primer programa

de actuación cuatrienal, los órganos competentes de las Comunidades Autónomas podrán establecer cantidades distintas a las mencionadas anteriormente.

- Las explotaciones deben acreditar, ante el órgano competente de la Comunidad Autónoma, que disponen de superficie agrícola suficiente, propia o concertada, para la utilización de los estiércoles como fertilizantes, cumpliendo lo siguiente:
  - En las zonas vulnerables, se debe presentar un plan de gestión y producción de estiércoles que cumpla los máximos permitidos en cantidad de estiércoles, procedente o no del porcino, y su contenido en N, calculado según las cifras oficiales (cuadro 10).
  - Para el resto del territorio (zonas no vulnerables), los titulares de explotaciones únicamente presentarán el plan de gestión y producción agrícola de estiércoles cuando el contenido del N, aplicado con el estiércol, procedente o no del porcino, supere el valor de 210 kilos de N por hectárea y año.

La producción ganadera a escala industrial está incluida en la ley que define estrategias para reducir la contaminación industrial: Ley 16/2002 sobre Prevención y Control Integrados de la Contaminación más conocida por las siglas IPPC, acrónimo de su título en inglés (Integrated Pollution Prevention and Control). Es aplicable a todas aquellas actividades e instalaciones agroindustriales que se detallan en el cuadro 18.

**Cuadro 18.- Actividades e instalaciones de la industria agroalimentaria y explotaciones ganaderas a las cuales les es aplicable la Ley 16/2002**

<b>Actividades afectadas</b>	<b>Límite a partir del cual las instalaciones están afectadas</b>
Mataderos	Capacidad producción de canales > 50 T/d
Tratamiento y transformación para la fabricación de productos alimenticios a partir de materia prima animal (que no sea leche)	Capacidad de producción de productos acabados > 75 T/día.
Tratamiento y transformación destinados a la fabricación de productos alimenticios a partir de materia prima vegetal	Capacidad de producción de productos acabados > 300 T/día (valor medio trimestral).
Tratamiento y transformación destinados a la fabricación de productos alimenticios a partir de la leche	Cantidad de leche recibida > 200 T/día (valor medio anual).
Instalaciones para la eliminación o el aprovechamiento de canales o desechos de animales	Capacidad de tratamiento > 10 T/día
Instalaciones dedicadas a la cría intensiva de aves de corral	>40.000 plazas para aves de corral.
Instalaciones dedicadas a la cría intensiva de cerdos	>2.000 plazas para cerdos de cría (>30 kg) >750 plazas para cerdas.

En esta Ley, se introduce el término de Mejores Técnicas Disponibles (MTD's), o en inglés Best Available Techniques (BAT's), que corresponde a aquellas técnicas más eficaces para alcanzar un alto nivel de protección del medio ambiente y de la salud de las personas. Para que una técnica se considere MTD deberá estar desarrollada a escala industrial y ser económica y técnicamente viables. Para determinar las MTD's, se ha recopilado información de los distintos miembros de cada sector y redactado un documento de referencia para cada actividad afectada (también llamados BREF's.). Este documento no tiene carácter impositivo, sino que se sirve como marco de referencia para las administraciones competentes en la concesión de la autorización medioambiental integrada. El documento BREF sobre explotaciones ganaderas intensivas se finalizó en 2003 y recoge un conjunto de estrategias nutricionales que se detallan en el siguiente apartado de este capítulo. El documento también define estrategias en el alojamiento de los animales, almacenaje y aplicación del purín. El conjunto de MTD's disponibles fue recientemente revisado por Piñeiro (2004).

## **8.- ESTRATEGIAS NUTRICIONALES PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES**

Las estrategias nutricionales para reducir la emisión de los distintos elementos contaminantes van básicamente encaminadas a minimizar la cantidad de nutriente no digerido o catabolizado. En la mayoría de casos son un conjunto de prácticas que actualmente ya se llevan a cabo por sus ventajas productivas. En muchos casos, tienen un interés económico porque su implementación supone un menor coste de producción. Así pues, la ventaja medioambiental es colateral, pero no por ello, menos importante. A continuación se detallan las más significativas:

- Utilización de bajos niveles de proteína y suplementación con aminoácidos sintéticos.
- Formulación en base a energía neta (cerdo / cerda) y aminoácidos digeribles estandarizados.
- Proteína ideal.
- Programas de alimentación adecuados a la productividad, genética y sexo de los animales.
- Alimentación por fases.
- Minimizar los márgenes de seguridad.
- Utilización de bajos niveles de P.
- Formulación con P digerible.
- Utilización de fuentes inorgánicas de P de mayor digestibilidad.
- Suplementación con fitasas.
- Utilización de otros aditivos.

Desde un punto de vista práctico, no hay que olvidar que cualquier práctica que reduzca el índice de transformación también conlleva una mejora medioambiental. A parte de las estrategias de formulación, existen otros aspectos relacionados con la alimentación que tienen una gran importancia y que, por tanto, también deberían contribuir a la valoración medioambiental de una explotación (van Heugten y van Kempen, 2003):

- Granulación de los piensos. La utilización de pienso granulado disminuye en un 5% la excreción de nutrientes.
- Minimizar el desperdicio del pienso durante la fabricación, el transporte, el almacenaje en silos y la distribución en la granja. La cantidad de pienso que se desperdicia en una granja puede ser muy variable, siendo en el mejor de los casos un 5%. Teniendo en cuenta la eficiencia de utilización, un 5% de desperdicio en pienso supone aprox. un 7,5% más de N y P en el purín, mientras que el incremento en carbohidratos emitidos es de más de un 35%. Tal como se ha comentado, la presencia de carbohidratos en el purín favorece la formación de olores (degradación anaerobia).

Los puntos críticos más importantes son:

- En el momento de la descarga de la cuba de pienso en la granja, vaciados rápidos de las celdas producen pérdidas de pienso y una mayor rotura del gránulo que conlleva un peor índice de transformación. Si se produce mucho polvo (0,3 a 0,5%) la pérdida de pienso es evidente.
  - Las entradas de agua al silo, sea por fisuras, tapas mal cerradas, o por la simple condensación tiene un efecto nefasto debido a los crecimientos fúngicos y bacterianos. Por un lado, se producen pérdidas por deterioro del pienso y por otro, la producción de micotoxinas también resulta en merma de pienso sea por rechazos o por procesos subclínicos en los animales.
  - Un correcto mantenimiento de los tubos del sistema de distribución y un diseño de tolvas que permita una regulación fácil es esencial para evitar las pérdidas de pienso al suelo o al enrejillado.
  - El polvo generado en una granja, a parte de los efectos nocivos descritos anteriormente, representa una pérdida directa de pienso que puede ser de un 1% del pienso.
  - El control de roedores y pájaros también tiene su importancia. Una rata adulta consume diariamente el 10% de su peso en alimento. O sea, para una rata de 250 g, representa unos 25 g de alimento. Por tanto, 20 ratas consumen casi 200 kg pienso por año. Una pareja de palomas y su descendencia consumen 50 kg de pienso al año. A parte de la merma en pienso, se incrementa también la cantidad desperdiciada.
- Utilización eficiente del agua de la granja para reducir el volumen de purín generado. Es interesante por el menor coste que supone el tener un menor volumen de purín a tratar, pero también porque a mayor sustancia seca del purín, mayor calidad

fertilizante. A parte del menor consumo de agua en función de las características del pienso, se consigue una utilización eficiente del agua (-40%) mediante un correcto diseño de las instalaciones y del sistema de alimentación: tipos de comederos (canal vs. tolva holandesa), tipos de bebederos (chupetes con recogedor) o alimentación seca vs. húmeda.

### 8.1.- Reducción de la emisión de N y P en el purín

El documento BREF (2003) reconoce distintas estrategias nutricionales como MTD's para la reducción en la excreción de N y P. Esto facilita la incorporación de dichas técnicas en el marco legislativo para poder modificar las cifras oficiales sobre cantidad de nutrientes excretados y la superficie agrícola necesaria para aplicar el purín generado en una explotación. El documento presta especial atención a:

- Reducción de los niveles de proteína bruta.
- Reducción de los niveles de P y utilización de fitasas.
- Alimentación por fases.

La utilización de dietas bajas en proteína y la suplementación con aminoácidos industriales ha sido extensamente evaluada (figura 3) y ampliamente revisada (Degussa-Hüls, 2000; Ajinomoto, 2001; Cirera et al. 2001; Le Bellego et al., 2001, 2002; Capdevila, 2003). Probablemente, es la técnica más efectiva en el contexto actual de la problemática ambiental. El conjunto de efectos beneficiosos sobre el medioambiente se resumen en el cuadro 19.

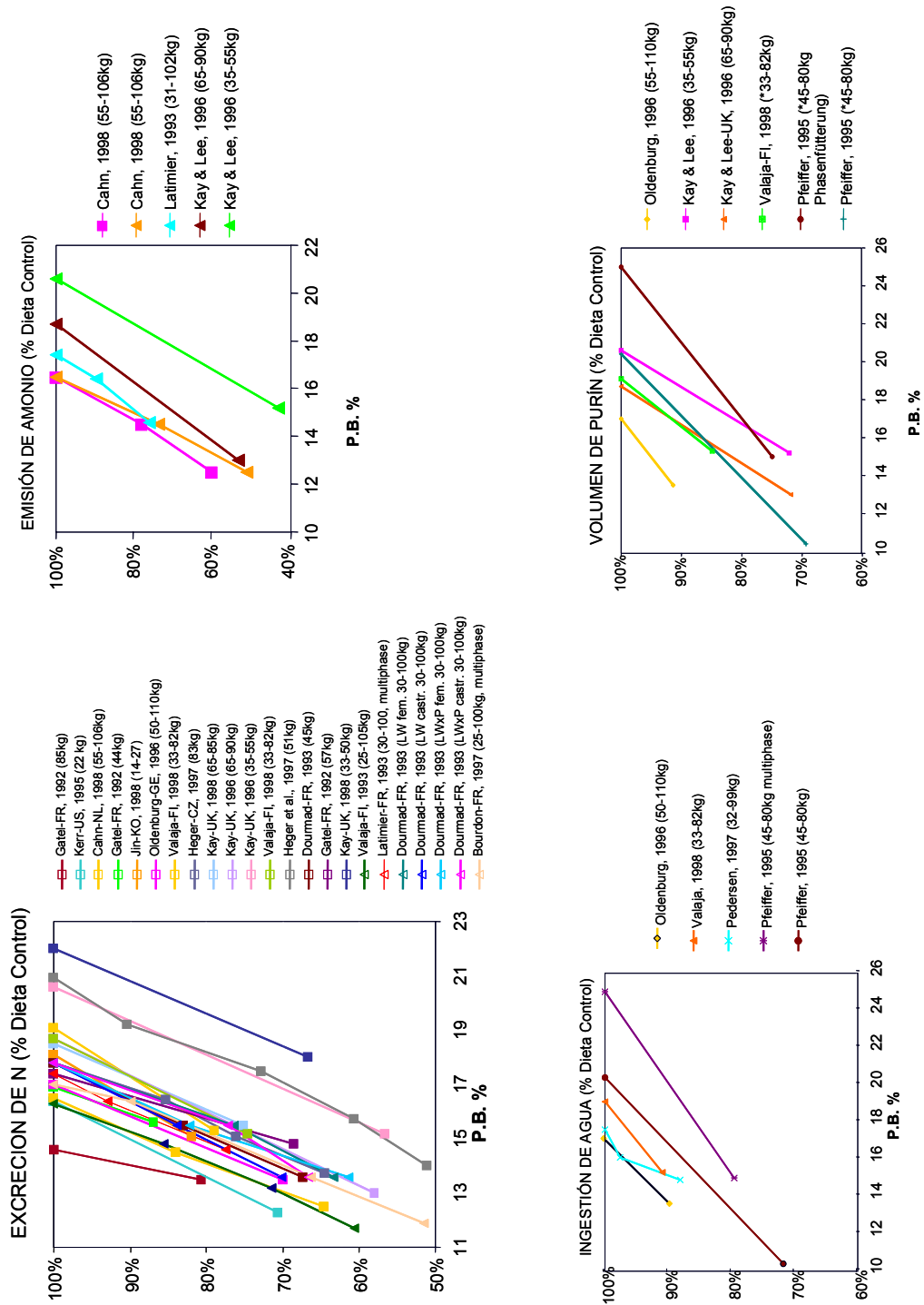
**Cuadro 19.- Efectos de la reducción de proteína en pienso (Ajinomoto, 2001)**

	<b>Efecto de reducción de 1 punto de proteína (%)</b>	<b>Efecto acumulativo medio (%)</b>
Excreción de N	-10	- 25
Contenido de NH <sub>3</sub> en purín	-10	- 30
pH del purín	-0,14 unidades	- 0,5 unidades
Emisión de NH <sub>3</sub> al aire	-10	-40
Sobre el consumo de agua	- 2 a -3	-10
Sobre el volumen de purín	- 3 a - 5	- 20

Cuando se reduce el porcentaje de proteína en las dietas es importante considerar ciertos aspectos:



**Figura 3.- Resumen de los efectos de dietas bajas en proteína bruta (% PB) sobre la excreción de nitrógeno (N), emisión de amonio, consumo de agua y volumen de purín (Adaptado de Ajinomoto, 2001).**



- La reducción de la proteína da lugar a una mejor utilización de la energía debido al gasto energético asociado al catabolismo proteico. Por tanto, es importante revisar los requerimientos energéticos en formulación para evitar posibles engrasamientos de la canal:
  - La reducción de la excreción de energía urinaria se puede estimar en 0,837 kcal/g de reducción de la proteína ingerida.
  - La disminución de la pérdida energética por el calor es de 1,673 kcal/g de reducción de la proteína ingerida. El menor incremento térmico es especialmente ventajoso en época de alta T<sup>a</sup>.
- Se debe asegurar el equilibrio entre los aminoácidos esenciales. Dietas con un bajo contenido en proteína pueden ser limitantes en valina e isoleucina dada su falta de disponibilidad comercial.

Las ventajas de una alimentación por múltiples fases son claras desde un punto de vista económico y medioambiental. El diseño de programas de alimentación adecuados a la productividad, genética, sexo y peso de los animales permite ajustar al máximo el aporte a los requerimientos reales y por tanto minimizar los márgenes de seguridad. Los programas de modelización pueden ser una herramienta útil para el diseño de estos programas. Las limitaciones de esta estrategia son más de tipo logístico: difícil aplicación en granjas de ciclo cerrado, mayor nº de silos en las granjas, disminución de la cantidad de pienso por pedido, aumento del nº de referencias en la fábrica de pienso y menor cantidad de pienso a fabricar en cada serie de fabricación.

La utilización de dietas bajas en P mediante la valoración del P digestible de las materias primas y la utilización de fosfatos minerales de mayor digestibilidad también supone importantes reducciones en el consumo de P. Una indicación de los niveles recomendados como MTD's en el documento BREF (2003) se recogen en el cuadro 20.

En algunas áreas de Europa donde existe una problemática medioambiental severa se han desarrollado programas oficiales o recomendaciones sobre las estrategias nutricionales a utilizar para minimizar la excreción de N y P. En el cuadro 21 se detallan los sistemas acordados en Bélgica (MAP), en Francia (CORPEN) y en Alemania (RAM). Mediante la implementación de estos sistemas se estiman las reducciones de excreción detalladas en los cuadros 22 y 23.

Recientemente, en Cataluña también se han publicado unas recomendaciones oficiales que pueden ser incluidas en el plan de gestión de purines de la explotación (cuadro 24).

**Cuadro 20.- Niveles indicativos de % de proteína (PB) y P total en pienso definidos como MTD's (BREF 2003)**

Especie	Fase	% PB	% P	Notas
Broilers	Arranque	20-22	0,65-0,75	1.- Con el adecuado balance de aminoácidos y aporte de aminoácidos digestibles  2.- Con el adecuado P digestible mediante la utilización de fosfatos de alta digestibilidad y/o fitasa
	Crecimiento	19-21	0,60-0,70	
	Finalización	18-20	0,57-0,67	
Pavos	< 4 semanas	24-27	1,00-1,10	
	5-8 semanas	22-24	0,95-1,05	
	9-12 semanas	19-21	0,85-0,95	
	>13 semanas	16-19	0,80-0,90	
	>16 semanas	14-17	0,75-0,85	
Ponedoras	18-40 semanas	15,5-16,5	0,45-0,55	
	>40 semanas	14,5-15,5	0,41-0,51	
Cerdos	Destete	< 10 kg	19-21	
	Lechón	< 25 kg	17,5-19,5	
	Cebo	25- 50 kg	15-17	
		50-110 kg	14-15	
	Cerde	Gestación	13-15	
		Lactación	16-17	

**Cuadro 22.- Porcentajes de reducción de N obtenido con distintos programas de alimentación de referencia.**

Especie	Francia (CORPEN 1)	Francia (CORPEN 2)	Alemania (RAM)
Lechón	- 9	- 18	- 14
Cerdo	- 17	- 30	- 19
Cerdas	- 17	- 27	-19 a -22
Broilers			- 10
Ponedoras			- 4
Pavos			- 9

**Cuadro 23.- Porcentajes de reducción de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> obtenido con distintos programas de alimentación de referencia.**

Especie	Bélgica	Francia (CORPEN 1)	Francia (CORPEN 2)	Alemania (RAM)
Lechón	- 31	- 11	- 29	- 22
Cerdo	- 18	- 31	- 44	- 29
Cerdas	- 19	- 21	- 35	- 21
Broilers	- 38			- 25
Ponedoras	- 24			- 24
Pavos				- 36

Cuadro 21.- Estrategia nutricional en Bélgica, Francia y Alemania: características de los piensos de referencia

Especie	Bélgica (MAP)	Francia (CORPEN 1)	Francia (CORPEN 2)	Alemania (RAM)
Lechones	Estrategia	Dos fases	Dos fases	
	Proteína Bruta	1ª edad: 20,0% <28 kg: 18,0%	1ª edad: 20,0% <28 kg: 17,0%	<30 kg: 18,0%
	P	1ª edad: 0,85% <28 kg: 0,70%	1ª edad: 0,77% + fitasa <28 kg: 0,60% + fitasa	<30 kg: 0,55%
Cerdos Engorde	Estrategia	Dos fases	Dos fases	Dos fases
	Proteína Bruta	28-60 kg: 16,5% 60-108 kg: 15,0%	28-60 kg: 15,5% 60-108 kg: 13,0%	<60 kg: 17,0% >60 kg: 14,0%
	P	20-40 kg: 0,55% 40-110 kg: 0,50%	28-60 kg: 0,47%+ fitasa 60-108 kg: 0,40%+ fitasa	<60 kg: 0,55% >60 kg: 0,45%
Cerdas	Estrategia	Bajo contenido en P	Dos fases	Dos fases
	Proteína Bruta		Lactación: 16,5% Gestación: 14,0%	Lactación: 16,5% Gestación: 14,0%
	P	0,60%	Lactación: 0,65% Gestación: 0,50%	Lactación: 0,55% Gestación: 0,45%
Broilers	Estrategia	Dos fases		
	Proteína Bruta			1-10 días: 22,0% 11-29 días: 20,5% 30-40 días: 19,5%
	P	< 2 sem.: 0,60% > 2 sem.: 0,55%		1-10 días: 0,70% 11-29 días: 0,55% 30-40 días: 0,50%
Ponedoras	Estrategia	Bajo contenido en P		
	P	0,50%		

MAP: (Manure Action Plan). Plan de acción para el purín. Legislado desde Marzo del 2000.

CORPEN. Comité francés para el estudio de opciones para la reducción de la polución por N y P generado por la agricultura.

RAM: Pienso con el nivel de proteína adaptado.

**Cuadro 24.- Programa de alimentación para reducir la carga contaminante de los purines en Cataluña (Acuerdo DARP-ASFAC-DMA, 2003)**

Nivel	Estrategia	Máximo % Proteína (PB)	Porcentaje de reducción de N <sup>a</sup>
0	Ninguna		0%
1	3 fases en engorde con % PB libre elección	Libre	5%
2	3 fases en Engorde con máximo % PB <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lechones hasta 20 kg</li> <li>▪ Cerdo de 20 a 40 kg</li> <li>▪ Cerdo de 40 a 70 kg</li> <li>▪ Cerdo de 70 a sacrificio</li> <li>▪ Gestación</li> <li>▪ Lactación</li> </ul>	18 16,5 15 14 14 16,5	12%
3	Multifases	Libre	Cálculo Individualizado

<sup>a</sup>Reducción respecto a una excreción de 17,5 kg N/plaza en caso de cerdas reproductoras (camada incluida), 2,87 kg N/ plaza en caso de lechones de 6 a 20 kg (5,5 ciclos/año/plaza) y 8,4 kg N/plaza para cerdos de engorde de 20 a 100 kgs (2,2 ciclos/año/plaza) según Orden CAT-22-10-98.

## 8.2.- Reducción de la emisión al aire

Las estrategias nutricionales pueden ser especialmente efectivas en reducir la emisión de amoníaco. Se trata de medidas que afectan a la cantidad y forma del N excretado, así como a la formación de amoníaco en el purín:

- Dietas bajas en proteína. Tal como se ha detallado en el apartado anterior, disminuyen la cantidad de N excretado y, por tanto, de amoníaco emitido. Además, también resultan en una menor eliminación de compuestos aromáticos (mercaptanos / SH<sub>2</sub>) y un menor ensuciamiento de los cerdos (Hobbs et al., 1996). El resultado es un claro efecto sobre los olores generados en la granja (cuadro 25).

**Cuadro 25.- Influencia del porcentaje de proteína sobre el olor y la emisión de amoníaco de granjas de engorde (Hayes et al., 2004)**

Emisión de olor	Proteína bruta			
	13%	16%	19%	22%
Ou <sub>E</sub> /seg./animal	12,1	13,2	19,6	17,6
Ou <sub>E</sub> /seg./UG	77,6	80,0	115,8	102,9
Emisión de amoníaco (g/d/animal)	3,11	3,89	5,89	8,27

Ou<sub>E</sub>: Unidades olfativas. UG : Unidad Ganadera (500 kg)

- Acidificación de la orina. En el purín, el ión amonio está en equilibrio con el amoniaco. Por tanto, una disminución del pH desplaza el equilibrio hacia el amonio, reduciéndose la formación de amoniaco. Cada disminución de 0,1 puntos de pH puede disminuir la emisión de amoniaco entre un 5 y un 20% (en función de la Tª). La disminución del pH del purín se puede conseguir por acidificación directa en la fosa del purín, pero la emisión del amoniaco ya ocurre en la misma superficie del slat. Por tanto, para ser realmente efectiva, la acidificación debe ocurrir en la orina del animal. La disminución del pH de la orina se puede conseguir al disminuir el balance electrolítico de la dieta, o a través del uso de sales acidificantes (Canh et al., 1997, 1998a; Mroz et al., 2000). La sustitución de carbonato cálcico por sulfato cálcico, cloruro cálcico o benzoato cálcico es efectiva para disminuir el pH de la orina (hasta 2,2 unidades) en dietas prácticamente comerciales (cuadro 26). El efecto más importante es el del benzoato/ácido benzoico. El ácido benzoico se metaboliza a ácido hipúrico, que es un ácido débil que aumenta la capacidad tampón de la orina. La reducción de la emisión de amoniaco puede ser de superior a un 30% (SCAN, 2002). A nivel experimental, el ácido adípico también se ha mostrado muy eficiente (van Kempen, 2001). La combinación de fosfórico con sulfato cálcico como fuentes de P y Ca, respectivamente, redujo la emisión de amoniaco en un 25%, sin embargo afectó negativamente al olor por el aporte extra de compuestos con azufre y el poder laxante de los sulfatos (van Kempen y van Eugten, 2003).

**Cuadro 26.- Efecto del balance electrolítico y la fuente de calcio sobre el pH de la orina y la emisión de amoniaco (Jongbloed y Lenis, 1998)**

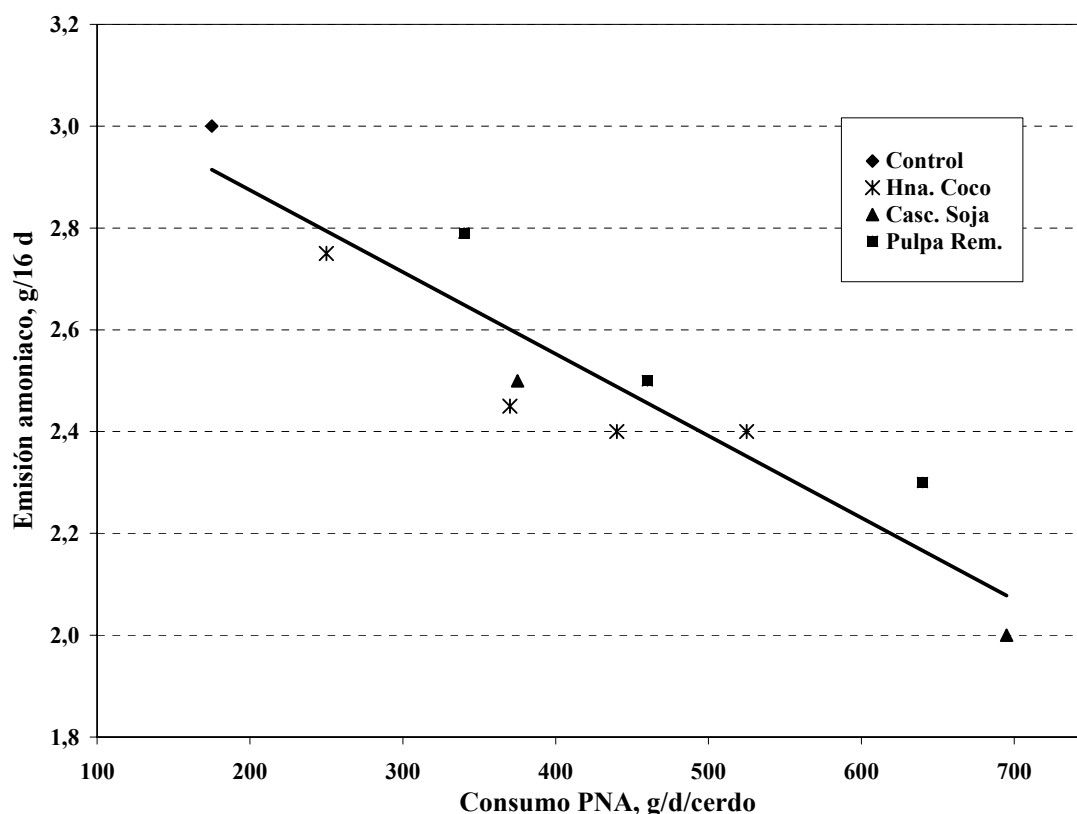
	Balance electrolítico, mEq/kg MS		Fuente de calcio			
	320	100	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Benzoato	Cl <sub>2</sub> <sup>-</sup>
pH orina	7,34	6,75	7,05	5,44	5,25	5,39
Emisión de NH <sub>3</sub> del purín, %	100	81	100	79	56	78

- Ingredientes fibrosos. La utilización de fuentes de fibra fermentable cambia la excreción de N que de ser eliminado vía orina (urea) pasa a ser eliminado vía heces (N ligado a proteína microbiana). Este último es menos susceptible de ser descompuesto a amonio que el N en forma de urea. Además, la utilización de fuentes de fibra fermentable también resulta en la producción de ácidos grasos volátiles (AGV) que reducen el pH de las heces (Cahn et al., 1998b). Por cada 100 g de consumo diario de polisacáridos no amiláceos (PNA) el pH disminuye 0,12 unidades y se reduce la emisión de amoniaco en un 5,1% (figura 4). La incorporación de un 15% de cascarilla de soja o de un 20% de pulpa de remolacha redujo la eliminación de N urinario en un 8 y 10% respectivamente (Zervas y Zijlstra, 2002). La adición de un 5% de celulosa

también redujo la emisión de forma muy significativa (Hankins et al., 2000). En caso de altos contenidos en ingredientes fibrosos, también se debe tener en cuenta su efecto sobre la digestibilidad de la dieta.

- Algunos aditivos pueden influir en la emisión de amoníaco y la producción de olores. El mecanismo de acción puede ser la adsorción o absorción del compuesto (e.g. yucca, la zeolita y sepiolita) o las modificaciones en la flora intestinal por probióticos o prebióticos, como el caso de los fructooligosacáridos/inulina (Rideout et al. 2004). La utilización de extractos de yucca se ha mostrado especialmente efectiva (reducción >25% en la emisión de amoníaco). El efecto puede ser debido a la captación de gases por los glicocomponentes de la planta y a su contenido en sustancias (sarsaponina) que inhiben la actividad de la ureasa (Amon et al., 1995; Colina et al., 2001).

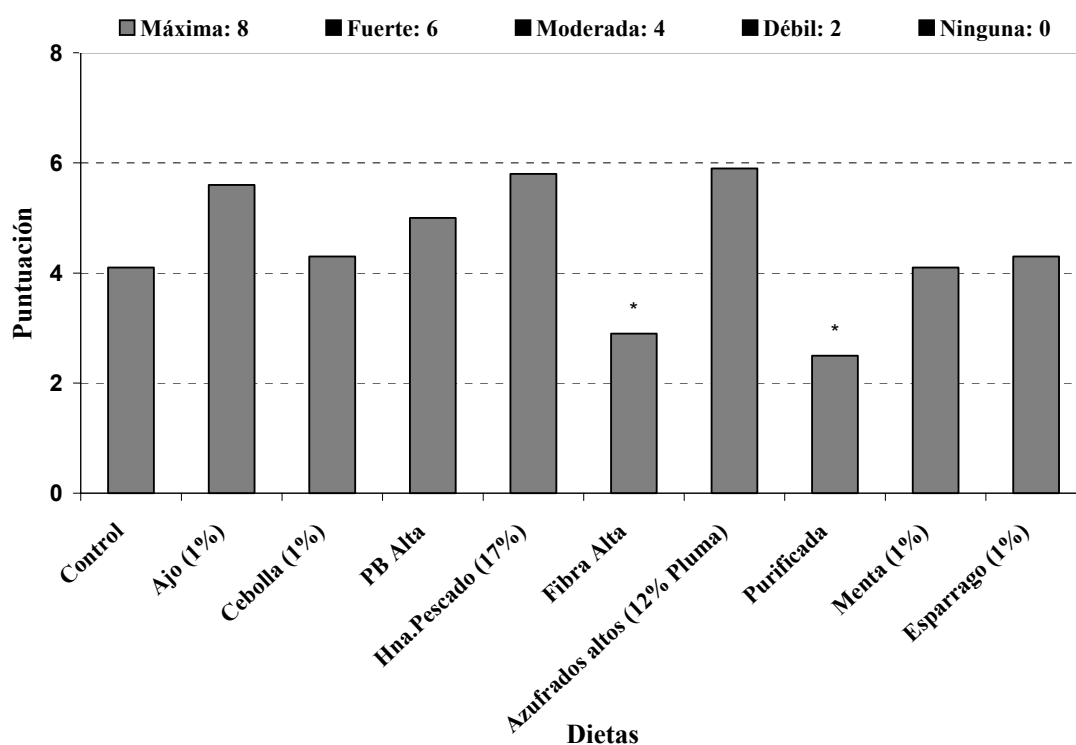
**Figura 4.- Efecto del consumo de polisacáridos no amiláceos (PNA) sobre la emisión de amoníaco (Canh et al., 1998b)**



La emisión de olores también se puede disminuir a través de la reducción en la ingesta de compuestos con azufre (S) debido al papel del SH<sub>2</sub> y los mercaptanos como componentes de la sensación del mal olor. Tal como se ha comentado, la utilización de dietas bajas en proteína y con un bajo contenido de productos con S puede reducir esta sensación en un 40%. Dietas bajas en proteína también reducen la excreción de ácidos grasos volátiles, p-cresol, indol y escatol. En caso de utilizar premezclas vitamínico-

minerales con bajo contenido de S también se reduce la cantidad de mercaptanos generados. La sustitución de sulfato ferroso y sulfato de cobre por cloruro férrico y óxido de cobre como fuentes minerales en el corrector redujo en un 49% la excreción de compuestos orgánicos volátiles a base de S (Hobbs et al., 1996; Sutton et al., 1998, 1999; van Kempen y van Eugten, 2003). El efecto de las dietas altas en compuestos con S fueron muy evidentes en una prueba realizada por Moeser et al. (2001). El purín de animales alimentados con dietas a base de harina de pescado (17%) o a base de harina de pluma (12%) y con sulfato cálcico tuvo un olor significativamente más desagradable que la dieta control. Las dietas altas en fibra (25% de cascarilla de soja) prácticamente dieron un resultado similar a dietas purificadas (figura 5). Los efectos negativos del hidrolizado de plumas también fueron evidentes a menor concentración (8%) en un estudio posterior de van Heugten y van Kempen (2002).

**Figura 5.- Efecto de diferentes compuestos en el pienso sobre la sensación de mal olor (Moeser et al., 2001)**



## 9.- COSTES DE LA IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA

La necesidad de implementar estrategias nutricionales para reducir la emisión de contaminantes depende básicamente de la ubicación de la explotación. En zonas con extensa superficie agraria, deficitarias en estiércol y alejadas de núcleos urbanos, seguramente no es necesaria la implementación de estrategias costosas, a menos que las ventajas productivo-económicas compensen el sobre coste. En explotaciones ubicadas en



zonas vulnerables, dichas estrategias pueden ser la única opción para mantener el censo ganadero en una limitada superficie agraria, así como una válida alternativa a costes elevados de transporte y tratamiento de purines.

El cálculo del coste de una estrategia nutricional para minimizar la problemática medioambiental es extremadamente complejo ya que depende de múltiples factores. El coste puede ser muy diferente según el contexto de precios de las distintas materias primas que componen el pienso. Por tanto, pueden existir notables diferencias según la zona geográfica y la época del año. A grandes rasgos, el coste depende de la relación entre los precios de:

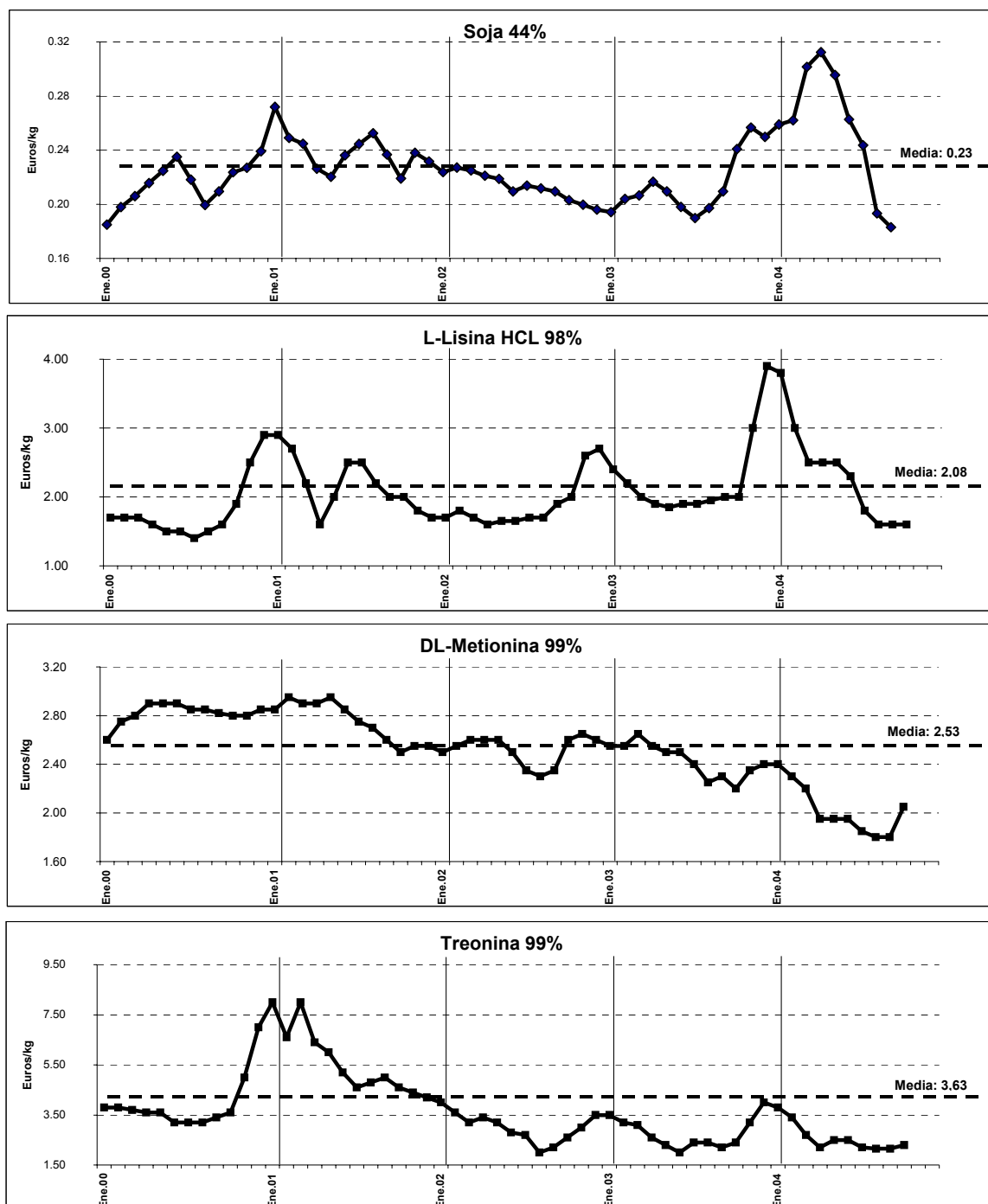
- Soja
- Cereales / sustitutivos de cereales
- Aminoácidos industriales

Un contexto de mercado con bajo precio del cereal y aminoácidos sintéticos, junto con un alto precio de la soja, supondrá un bajo o nulo sobrecoste de la estrategia nutricional medioambiental. Un contexto de poca disponibilidad y altos precios de cereal, junto con precios bajos de soja conlleva la utilización de sustitutivos de cereales (e.g. mandioca) y un alto contenido de proteína bruta en los piensos. La aplicación de una estrategia nutricional medioambiental en ese contexto será costosa. Por tanto, la aplicación de la PAC puede resultar en un tipo de mercado donde la implementación de este tipo de estrategias tenga poco sobrecoste. A nivel europeo (BREF, 2003) se ha estimado que el sobrecoste de este tipos de estrategias está entre un 0 y un 3% del coste del pienso. Se estima un incremento de un 2-3% en avicultura y de un 1-1,5% en porcino, aunque en un contexto de precios desfavorables el sobrecoste puede ser de un 5%. En resumen, la alta volatilidad del precio de las distintas materias primas (figura 6) puede provocar que en ciertas épocas la implementación de determinadas estrategias resulte en un importante incremento del coste de producción.

## 10.- CONCLUSIONES

El efecto de la producción ganadera intensiva sobre el medio ambiente es una seria preocupación en zonas con alta densidad animal y limitada superficie agraria útil. La posible contaminación de suelos y aguas, así como la emisión al aire de ciertos compuestos son materia de creciente legislación que hace necesaria la reducción de emisiones en las granjas de porcino. Existen diferentes estrategias nutricionales muy efectivas para reducir dichas emisiones. Algunas de las estrategias tienen una amplia implementación ya que suponen ventajas productivo-económicas. Otras pueden representar importantes incrementos en el coste de producción. La viabilidad económica de su implementación se debe analizar en cada caso particular en función del contexto medioambiental de la explotación.

**Figura 6.- Volatilidad en el precio de mercado de harina de soja y de los aminoácidos industrial (Periodo 2000-2004. Fuentes: Lonja Mercolleida (Hna. Soja 44%) y Feedinfo (Aminoácidos).**



**11.- REFERENCIAS**

AJINOMOTO ANIMAL NUTRITION (2001) Prevention of nitrogen pollution from pig husbandry through feeding measures. En: *Eurolysine Information* 22.

- AMON M., DOBEIC, M., MISSELBROOK, T.H., PAIN B.F., PHILLIPS V.R., y SNEATH, R.W. (1995) *Bioresource Technology* 51:163-169.
- ANTON, A y LIZASO, J. (2003) Nitritos, Nitratos y Nitrosaminas. En: *Fundisa. Artículos de divulgación*.
- BREF (2003). *Reference document on best available techniques for intensive rearing of poultry and pigs. Integrated pollution prevention and control*. European Commission.
- CANH, T.T., VERSTEGEN, M.W.A. AARNIK, A.J.A. y SCHRAMA, J.W. (1997) *Journal of Animal Science* 75:700-706.
- CANH, T.T., AARNINK, A.J.A., BAKKER, G.C.M. y VERSTEGEN, M.W.A. (1998a) *Journal of Animal Science* 76: 1123-1130.
- CANH, T.T., SUTTON, A.L., AARNINK, A.J.A., VERSTEGEN, M.W.A., SCHRAMA, J.W. y BAKKER G.C.M. (1998b) *Journal of Animal Science* 76: 1887-1895.
- CAPDEVILA, J. (2003) Alimentación porcina y medio ambiente. En: *Reunión Medio Ambiente ASFAC*.
- CIRERA, M., GALVEZ, J.F. y BOIX, E. (2001) *Nuestra Cabaña*. 12:62-68
- COLINA, J.J., LEWIS, A.J., MILLER, P.S. y FISHER, R.L. (2001) *Journal of Animal Science* 79: 3096-3103.
- DEGRE, A., VERHEVE, D y DEBOUCHE, C. (2001) *Biotechnol. Agon. Soc. Environ.* 5:135-143.
- DEGUSSA-HULS (2000) *Amino News* 01-01.
- DOURMAD, J.Y. y SEVE, B. (1997) Consumo, Utilización y pérdidas de fósforo y nitrógeno en la producción porcina. La situación en Francia. En: *XIII Curso de Especialización FEDNA*. pp. 173-187
- HANKINS, S., SUTTON, A., PATTERSON, J., ADEOLA, I., RICHERT, B., HEBER, A., KELLY, D. KEPHART, K., MUMMA, R. y BOUGS, E. (2000). Reduction of odorous sulfide and phenolic compounds in pig manure through diet modification. En: *Swine Day*. Purdue University, pp 142-150.
- HAYES, E.T., LEEK, A.B. G., CURRAN, T.P., DODD, V.A., CARTON, O.T., BEATTIE, V.E. y O'DOHERTY, J. (2004) *Bioresource Technology* 91(3): 309-315.
- HOBBS, P.L., PAIN, B.F., KAY, R.M. y LEE, P.A. (1996) *J. Sci. Food Agric.* 71:508-514.
- ISU (2002). *Iowa concentrated animal feeding operations air quality study. Final Report*. Iowa State University and the University of Iowa Study Group. ISU Press.
- JONGBLOED, A.W. y KEMME, P.A. (1997) Disponibilidad del fósforo en ingredientes alimenticios para ganado porcino. En: *XIII Curso de Especialización FEDNA* pp.191-201.
- JONGBLOED, A.W. y LENIS, N.P. (1998) *Journal of Animal Science* 76: 2641-2648.
- LE BELLEGO, L, VAN MILGEN, J, DUBOIS, A. y NOBLET, J. (2001) *Journal of Animal Science* 79: 1259-1271.
- LE BELLEGO, L, VAN MILGEN, J, y NOBLET, J. (2002) *Journal of Animal Science* 80: 691-701.

- MOESER, A.J., VAN HEUGTEN, E. y VAN KEMPEN, T. (2001). Diet composition affects odor characteristics from swine manure. En: *North Carolina State Universtity (NCSU) Annual Swine Report*.
- MROZ, A., MOESER, A.J., VREMAN, K., VAN DIEPEN, J.T.M., VAN KEMPEN, T., CANH, T.T. y JONGBLOED, A.W. (2000) *Journal of Animal Science* 78: 3096-3016.
- PIÑEIRO, C. (2004) Mejoras técnicas disponibles para el control de las emisiones del nitrógeno al medioambiente. En: *XVIII Jornadas Técnicas Indukern*.
- QUILES, A. y HEVIA, M.L. (2004) *Producción Animal* 202: 21-34.
- REBOLLAR, P.G. y MATEOS, G.G. (1999) El fósforo en nutrición animal. Necesidades, valoración de materias primas y mejora de la disponibilidad. En: *XV Curso de Especialización FEDNA*. pp. 19-64.
- REVILLA, E. (2004) Contaminantes ambientales aéreos y su repercusión en la salud y productividad de los cerdos. En: *DSM Jornada Técnica de Porcino*.
- RIDEOUT, T.C., FAN, M.Z., CANT, J.P., WAGNER-RIDDLE, C. y STONEHOUSE, P. (2004) *Journal of Animal Science* 82: 1678-1684.
- SCAN (2002). *Opinion on the use of benzoic acid in feedingstuffs for pigs for fattening*. European Commission.
- SUTTON, A.L., PATTERSON, J.A., ADEOLA, O.L., RICHERT, B.T., KELLY, D.T., NIELSEN, J., HEBER, A.J. KEPHART, K.B. y BOGUS, E. (1998) Aminoacid and mineral manipulation in pig diets to reduce nitrogen and odors in pig manure. En: *Swine Day. Purdue University* pp: 165-170
- SUTTON, A.L., KEPHART, K.B., VERSTEGEN, M.W.A., CANH, T.T. y HOBBS, P.J. (1999) *J.Anim. Sci.* 77:430-449.
- VAN KEMPEN, T.AT.G. (2001) *Journal of Animal Science* 79: 2412-2417.
- VAN KEMPEN, T. y VAN HEUGTEN, E. (2002) *Journal of Animal Science* 80: 171-178.
- VAN KEMPEN, T. y VAN HEUGTEN, E. (2003). Impact of Diet on odor. En: *North Carolina State Universtity (NCSU) Annual Swine Report*.
- ZERVAS, S. y ZILJSTRA, R.T. (2002) *Journal of Animal Science* 80: 3247-3256.