



**ELABORACION DE
GUÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE AMONÍACO EN
SECTOR AGROINDUSTRIAL**

ID Licitación: 611134-4-LE21

Estudio solicitado por Subsecretaría del Medio Ambiente

INFORME FINAL

Santiago, 24 de agosto de 2021

Título del Proyecto

Elaboración de guía para la estimación de emisiones de amoníaco en sector agroindustrial

Autores:

Jefe de proyecto: María Teresa Alarón

Ingeniero de proyecto: Valentina Morandé

Dictuc S.A. Vicuña Mackenna N° 4860, Macul – Santiago

Datos Mandante

Razón Social: Subsecretaría del Medio Ambiente

RUT: 61.979.930-5

Dirección: Avenida Alameda Libertador Bernardo

O'Higgins 1449

Datos Cliente (si es distinto al Mandante)

Razón Social:

RUT :

Resumen

El objetivo general de la presente licitación es la elaboración de una guía de estimación de emisiones de amoníaco (NH₃) para el sector Agroindustrial, específicamente empresas productoras de cerdos y planteles de aves de corral, con el objetivo de proveer factores de emisión de este contaminante y alternativas de reducción de emisiones, los cuales estén a disposición de los titulares afectos al cumplimiento del capítulo VI.9 Control de emisiones de amoníaco del PPDA, permitiendo posteriormente generar una línea de base, con el fin de mejorar la caracterización de este sector.

Cuerpo del informe

125 hojas (incluye portada)

Fecha del informe

23/agosto/2021

Información Contractual

Correlativo Contrato:

OC N°: 611134-9-SE21

Contraparte técnica

Nombre: Manuel Passalacqua Aravena

Cargo: Encargado Calidad de Aire y Cambio Climático

E-mail: MPassalacqua@mma.gob.cl

Sr. Luis Cifuentes

Director GreenLab

Dictuc S.A.

Sr. Felipe Bahamondes

Gerente General

Dictuc S.A.

Equipo de Trabajo

María Teresa Alarcón
Ingeniera Civil en Biotecnología Ambiental
mtalarc1@uc.cl

Valentina Morandé Thompson
Ingeniero Civil Industrial, mención Ambiental
vamorande@uc.cl

Tabla de Contenidos

Tabla de Contenidos	I
Lista de Tablas	II
Lista de Figuras.....	V
Acrónimos y Abreviaturas.....	VI
1. Glosario	1
2. Introducción	4
3. Objetivos del estudio	5
3.1 Objetivo general.....	5
3.2 Objetivos específicos.....	5
4. Establecimiento conceptual de la emisión de Amoniaco (NH₃)	6
4.1 Conceptualización del mecanismo de emisión y remoción de amoniaco	7
4.2 Cadena de manejo de excretas en línea la conceptualización de la emisión de NH ₃	9
5. Caracterización del sector agroindustrial	14
5.1 Caracterización Sector Porcino	14
5.2 Caracterización Sector Aves	16
6. Factores de emisión	20
6.1 Categorías de animales	22
6.2 Excreción de nitrógeno	22
6.2.1 Sector Porcino	23
6.2.2 Sector Aves.....	25
6.3 Desarrollo de factores de emisión	28
6.3.1 Instalación/Pabellón	32
6.3.2 Manejo/Gestión	38
6.3.3 Destino	42
6.4 Discusión	43
7. Mecanismos y medidas de reducción de emisiones de Amoníaco (NH₃)	47
7.1 Identificación de Medidas de Reducción de Emisiones Potenciales a ser aplicadas - Sector Porcino.....	48

7.1.1	Medidas a aplicar en la etapa de Pabellón.....	48
7.1.2	Medidas a aplicar en la etapa de manejo del purín	62
7.2	Identificación de Medidas de Reducción de Emisiones Potenciales a ser aplicadas - Sector Aves.....	78
7.2.1	Medidas a aplicar en la etapa pabellón.....	79
7.2.2	Medidas a aplicar en la etapa del manejo.....	84
7.3	Medidas a Incluir	84
8.	Estimación de emisiones	87
8.1	Paso 1: Estimación del número de animales	87
8.2	Paso 2: Identificación de las Cadena de Manejo de Estiércol (CME)	88
8.2.1	Sector Cerdos	88
8.2.2	Sector Aves.....	89
8.3	Paso 3: Estimación de la cantidad de nitrógeno excretada	89
8.4	Paso 4: Identificación o desarrollo de factores de emisión para cada componente de cada cadena de manejo	90
8.4.1	Sector Cerdos	91
8.4.2	Sector Aves.....	92
8.4.3	Incorporación de medidas de reducción de emisiones en la línea base	92
8.5	Paso 5: Estimación de emisiones de amoníaco para cada grupo animal de cada MMT para el sector y año del inventario	94
8.6	Paso 6: Estimación de las emisiones futuras de amoníaco.....	98
9.	Bibliografía	100
10.	Anexo 1: Recomendación del consultor acerca de la estimación de las emisiones en etapa de aplicación/destino	103
11.	Anexo 2: Identificación de Medidas de Reducción de Emisiones Potenciales a ser aplicadas en la etapa de aplicación	106
11.1.1	Medidas a aplicar en la etapa de aplicación en el Sector Porcino.....	106
11.1.2	Medidas a aplicar en la etapa de aplicación en el Sector Aves	115

Lista de Tablas

Tabla 5-1	Ciclo productivo de los planteles porcinos según número de cerdos	15
Tabla 5-2	Caracterización de la CME según categoría de animal	19

Tabla 6-1 Evolución de las emisiones de amoníaco en los inventarios de emisión	20
Tabla 6-2 Peso de animales según tipo y categoría	23
Tabla 6-3 Contenido de nitrógeno en excreta, cerdos	24
Tabla 6-4 Contenido de nitrógeno en excreta, Aves	26
Tabla 6-5 Factores de emisión para pabellones porcinos, según categorías	33
Tabla 6-6 Factores de emisión para pabellones de aves, según categorías	36
Tabla 6-7 Factores de emisión para manejo de purín, según categorías	39
Tabla 6-8 Factores de emisión para tratamiento/almacenamiento de excretas en crianza de aves	41
Tabla 6-9 Factores de emisión para aplicación de purines, según categorías	42
Tabla 6-10 Factores de emisión para aplicación de excretas en crianza de aves.....	43
Tabla 6-11 Tasa de excreción de nitrógeno para cerdos y aves	45
Tabla 6-12 Factores de emisión a utilizar para instalación y manejo en planteles porcinos	45
Tabla 6-13 Factores de emisión a utilizar para instalación y manejo en planteles de aves.....	45
Tabla 7-1 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco para medida biofiltro en pabellones de cerdos.....	49
Tabla 7-2 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco para medida cambio de piso de cemento a slat en pabellones de cerdos	51
Tabla 7-3 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco para medida implementación de foso en forma de V en pabellones de cerdos	52
Tabla 7-4 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco para medida cambio de sistema Slat-Pit a Cama caliente en pabellones de cerdos	53
Tabla 7-5 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco para medida cambio de Slat-Pit a Slat-Flush en pabellones de cerdos	54
Tabla 7-6 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco para medida extracción automática de purín en pabellones de cerdos.....	55
Tabla 7-7 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco para medida modificación del pH de las excretas en pabellones de cerdos	56
Tabla 7-8 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco para medida absorción de gas en alojamientos de cerdos.....	58
Tabla 7-9 Eficiencias de remoción para medida biodepurador en pabellones de cerdos	59
Tabla 7-10 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco para medida absorción de gas en alojamientos de cerdos.....	60
Tabla 7-11 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco para medida ozonización en alojamientos de cerdos.....	62
Tabla 7-12 Eficiencias de remoción para medida biodigestor anaeróbico en instalaciones de cerdos.....	63
Tabla 7-13 Eficiencias de remoción para medida tratamiento aeróbico de purines	65
Tabla 7-14 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco para medida cubierta de membrana geotextil para almacenamiento	66

Tabla 7-15 Eficiencias de remoción para medida cubierta geotextil más filtro de carbón activado en pozos purineros	67
Tabla 7-16 Eficiencias de reducción para medida cubiertas flotantes para laguna	71
Tabla 7-17 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco al cubrir estiércol sólido almacenado de cerdos	73
Tabla 7-18 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco para medida filtro percolador .	75
Tabla 7-19 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco para medida laguna anaeróbica	76
Tabla 7-20 Eficiencias de reducción de las emisiones de amoníaco para medida nitrificación - desnitrificación.....	77
Tabla 7-21 Eficiencias de reducción de las emisiones de amoníaco para medida modificación del pH de las excretas en almacenamiento	78
Tabla 7-22 Resumen de las MTDs encontradas en la revisión bibliográfica de POCH 2016 para el sector de aves	79
Tabla 7-23 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco para medida biofiltro en pabellones de aves.....	79
Tabla 7-24 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco para medida extracción automática de guano en pabellones de aves	81
Tabla 7-25 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco al variar la frecuencia de extracción de guano mediante cintas transportadoras, aves ponedoras enjauladas.....	81
Tabla 7-26 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco para medida adición de químicos al guano en pabellones de aves.....	82
Tabla 7-27 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco para medida bioscrubbers en pabellones de aves.....	83
Tabla 7-28 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco para medida ozonización en alojamientos de cerdos.....	83
Tabla 7-29 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco al cubrir estiércol sólido almacenado de aves	84
Tabla 7-30 Medidas a considerar en la guía metodológica	86
Tabla 8-1 Identificación de los componentes de las cadenas de manejo de excretas en planteles de cerdos.....	88
Tabla 8-2 Identificación de los componentes de las cadenas de manejo de excretas en planteles de aves	89
Tabla 8-3 Tasa de excreción de nitrógeno según tipo y categoría de animal	90
Tabla 8-4 Factores de emisión de amoníaco por tipo de cerdo y componente de la CME.....	91
Tabla 8-5 Factores de emisión de amoníaco por tipo de ave y componente de la CME	92
Tabla 8-6 Medidas de reducción de emisiones de amoníaco	93
Tabla 8-7 Cálculo de emisiones para un pabellón de crianza de cerdos	97
Tabla 8-8 Cálculo de emisiones para un pabellón de crianza de aves.....	97
Tabla 8-9 Medidas de reducción de emisiones de amoníaco	98
Tabla 10-1 Cálculo de emisiones de línea base para plantel de 12,000 animales	104

Tabla 10-2 Cálculo de emisiones – implementación cubierta a laguna	104
Tabla 10-3 Cálculo de emisiones – implementación cubierta a laguna	105
Tabla 11-1 Eficiencias de remoción para medida incorporación de estiércol o purines sólidos	113
Tabla 11-2 Eficiencias de remoción para medida incorporación de estiércol o purines sólidos para diferentes categorías de animales.....	113

Lista de Figuras

Figura 4-1 Esquema del ciclo del amoníaco a partir de la excreta animal	6
Figura 4-2 Modelo conceptual de emisión y remoción de amoníaco	8
Figura 4-3 Modelo conceptual cadena de manejo de purín para el sector porcino y ejemplo de cadenas de manejo existentes.....	11
Figura 4-4 Modelo conceptual cadena de manejo de guano para el sector aves y las cadenas de manejo consideradas para cada categoría	13
Figura 5-1 Distribución de cerdos en las comunas de la RM	15
Figura 5-2 Tipo de tratamiento	16
Figura 5-3 Distribución de aves-gallinas en las comunas de la RM	17
Figura 5-4 Distribución de aves broiler en las comunas de la RM.....	18
Figura 5-5 Distribución de pavos en las comunas de la RM	18
Figura 6-1 Contenido de nitrógeno en excreta, cerdos [kgN/animal/día]	24
Figura 6-2 Contenido de nitrógeno en excreta, Aves [kgN/animal/día]	27
Figura 6-3 Modelo conceptual de la cadena de manejo de estiércol.....	30
Figura 6-4 Factores de emisión para pabellones porcinos (kgNH ₃ /animal/año), según categorías	34
Figura 6-5 Factores de emisión para pabellones de aves (kgNH ₃ /animal/año), según categorías	37
Figura 8-1 Modelo conceptual de la cadena de manejo de estiércol.....	94

Acrónimos y Abreviaturas

AGIES:	Análisis General del Impacto Económico y Social
ASPROCER:	Asociación Gremial de Productores de Cerdos de Chile
BAT:	<i>Best Available Techniques</i>
CME:	Cadena de Manejo de Excretas
EPA:	<i>Environmental Protection Agency</i>
FE:	Factor de emisión
GAC:	Guano de ave de carne
GEI:	Gas de Efecto Invernadero
INE:	Instituto Nacional de Estadísticas
INIA:	Instituto de Investigaciones Agropecuarias
IPPC:	Integrated Pollution Prevention and Control
MMA:	Ministerio del Medio Ambiente
MP:	Material particulado
MP ₁₀ :	Material particulado respirable
MP _{2.5} :	Material particulado fino
MTD:	Mejores Técnicas Disponibles
N.A:	No aplica
NCEP:	<i>National Center for Environmental Prediction</i>
NH ₃ :	Amoniaco
NH ₄ ⁺ :	Amonio
NKT:	Nitrógeno total Kjeldahl (se refiere al método de análisis)
PPDA RM:	Plan de Prevención y Descontaminación de la Región Metropolitana
RM:	Región Metropolitana
S.I:	Sin información
SMA:	Superintendencia del Medio Ambiente
TAN	Nitrógeno amoniacal total (<i>Total ammonia nitrogen</i>)

1. Glosario

Broiler engorda:	Categoría de aves destinadas para fines de consumo humano. Un ciclo completo tiene una duración de 65 días, donde 45 días corresponden a la engorda del ave, traslado a faena el día 45 y un total de 20 días para limpieza de pabellones previo a iniciar un nuevo ciclo. Se generan un total de 5.6 ciclos al año. (POCH, 2016)
Cama caliente:	Es un sistema de crianza de cerdos, también conocido como <i>deep bedding</i> , consiste en un sistema de manejo de excreta seco que permite que se mezclen con materia orgánica (paja, viruta, etc.), formando un piso absorbente que absorbe las excretas frescas. La "cama" de mezcla de purín con materia orgánica se remueve regularmente de manera de reemplazarla con nuevo material absorbente limpio. En los planteles de aves del tipo broiler es común el uso de camas de diversos materiales absorbentes (viruta, aserrín, paja, etc.) los cuales son depositados en el suelo formando una cama de 10-25 cm de altura donde caen las excretas. Las aves no generan un contenido líquido significativo en sus excretas por lo cual es simple el sistema de manejo de estas y se retira la cama absorbente al final de cada ciclo (45 días de vida), por medio de raspaje en seco. (POCH, 2016)
Cemento:	Sistema de crianza de cerdos, consiste en un piso de cemento que permite la remoción manual periódica de las excretas por parte de los operadores. La limpieza del pabellón es diaria (de las excretas "frescas") y cada 3 días se raspa el cemento para remover todas las fecas. (POCH, 2016)
Cerdos de engorda:	Categoría de cerdo, corresponden a los cerdos en cualquiera de sus estados de desarrollo, entre los 21 y 180 días aproximadamente. En esta etapa se realizan las actividades asociadas al crecimiento y engorda (crianza) de los animales desde el destete hasta la salida del plantel (Ministerio de Agricultura (MINAGRI), 2019).
Cerdos reproductores:	Corresponden a las cerdas madre, debido a esto tienen un gran peso ya que se encuentran en período de gestación o lactancia. En esta etapa se encuentran los animales reproductores (machos y hembras), además de los lechones hasta su destete (Ministerio de Agricultura (MINAGRI), 2019).
Cría/lechón:	Categoría de cerdos, corresponde a crías de cerdos desde el nacimiento hasta los 21 días. (Ministerio de Agricultura (MINAGRI), 2019).
Disposición final:	Acción de depositar permanentemente los residuos en sitios y condiciones adecuados para evitar problemas sanitarios o daños al ambiente. (Ministerio de Agricultura (MINAGRI), 2005, 2018)
Engorda:	Categoría de cerdos entre los 60-180 días. (Ministerio de Agricultura (MINAGRI), 2019).
Excretas:	Conjunto de orina y heces que produce el animal; material sólido y líquido producido por el metabolismo de los animales en producción. (Ministerio de Agricultura (MINAGRI), 2005)
Extracción automática de excreta:	Sistema de limpieza de pabellón, en cerdos consiste en un scrapper que limpia y extrae el purín del suelo del pabellón. En aves el guano cae sobre cintas transportadoras que llevan el guano a una zona de acumulación (minimizando su tiempo y área de exposición). (European Commission, 2017)
Fracción líquida del purín:	Parte líquida obtenida de la separación sólido-líquida de los purines. (POCH, 2016)
Fracción sólida del purín:	Ver definición de Guano de cerdo.
Gestación:	Categoría de cerdo, corresponde a hembras que han sido preñadas, el periodo de gestación dura aproximadamente cuatro meses. (Ministerio de Agricultura (MINAGRI), 2019).
Guano:	Residuo sólido proveniente de la separación por prensa, de la fracción

	sólida y líquida de los purines. (Ministerio de Agricultura (MINAGRI), 2005)
Laguna de almacenamiento de purín crudo:	Depósito debidamente impermeabilizado, destinado al almacenamiento de purín crudo. (Criterio del consultor)
Laguna de almacenamiento purín tratado:	Depósito debidamente impermeabilizado, destinado al almacenamiento de purín líquido proveniente de un tratamiento secundario, por ejemplo de un biodigestor o de un tratamiento aeróbico. (Criterio del consultor)
Manejo:	Considera todas aquellas prácticas que promueven la productividad, bienestar general y salud de los cerdos. Inclúyase el manejo de subproductos y residuos. (Ministerio de Agricultura (MINAGRI), 2005)
Maternidad:	Categoría de cerdo, corresponde a hembras paridas más los lechones, hasta 21 días después del parto. (POCH, 2016)
Pabellón:	Lugar físico que aloja un grupo de cerdos bajo el mismo manejo sanitario, productivo y medidas de bioseguridad comunes (Ministerio de Agricultura (MINAGRI), 2019).
Pavos:	Pavos destinados a engorda para fines de consumo humano. El ciclo de engorda de pavo considera aproximadamente 170 días, es decir 2.17 ciclos por año. (POCH, 2016)
Plantel existente:	Aquel plantel que inicia operaciones o cuenta con Resolución de Calificación Ambiental con anterioridad a la entrada en vigencia del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana de Santiago. (MMA, 2016)
Plantel nuevo:	Aquel plantel nuevo que inicia operaciones o cuenta con Resolución de Calificación Ambiental con posterioridad a la entrada en vigencia del presente Plan, y las modificaciones de los planteles existentes que obtengan Resolución de Calificación Ambiental con posterioridad a la entrada en vigencia del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana de Santiago. (MMA, 2016)
Plantel:	Espacio geográfico que consta de una o varias unidades físicas territoriales compuestas por sectores donde se encuentran los cerdos, bajo un mismo sistema productivo y administrativo (Ministerio de Agricultura (MINAGRI), 2019).
Ponedora:	Categoría de aves, se refiere a aves destinadas a la producción de huevos para su comercialización. El régimen de producción consiste en 70 semanas de estadía de las aves en el plantel. (POCH, 2016)
Pretratamiento:	Operaciones previas a la valorización o eliminación de residuos mediante las cuales las características físicas de éstos son modificadas con el fin de reducir su volumen, facilitar su manipulación y potenciar su valorización; tales como la limpieza, la separación, la compactación, el mezclado u otras. Incluye las operaciones de ecualización-homogenización y de separación sólido-líquido del flujo (Ministerio de Agricultura (MINAGRI), 2005).
Purines:	Mezcla producida por las excretas animales líquidas y sólidas, el agua de lavado de pisos y la cama animal propiamente tal (paja, viruta, u otro material) compuesta mayoritariamente por residuos vegetales fibrosos. (Ministerio de Agricultura (MINAGRI), 2005).
Recría:	Lechones destetados entre los 21-60 días. Cuando los cerdos cumplen los 60 días pasan a ser de etapa engorda. (Ministerio de Agricultura (MINAGRI), 2005).
Reducción de emisiones:	La reducción de emisiones ocurre al implementar medidas a diferentes componentes de la CME que permiten obtener una reducción de emisiones al comparar el escenario sin medida y el escenario con medida. Las medidas de reducción de emisiones pueden tener acción de retención, remoción o reducción. (Criterio del consultor)
Remoción de emisiones:	La remoción de amoníaco ocurre cuando una medida de reducción de emisiones permite retirar el nitrógeno del flujo del purín, por medio de la transformación de este a otros compuestos estables que no se volatilizan (Criterio del consultor).

Reproductora broiler:	Categoría de aves, corresponde a aves destinadas a la producción de huevos para la generación de nuevos individuos. La operación consiste en 50 semanas de estadía de las aves en el plantel y 6 semanas de descanso (plantel vacío). (POCH, 2016)
Retención de emisiones:	Retención del amoníaco, ocurre cuando una medida a implementar evita la emisión en un componente de la CME, pero sin transformar los compuestos, sólo retención física, por lo cual el flujo que sale de dicha componente contiene la misma cantidad de nitrógeno que el que ingresa (Criterio del consultor)
Sistema de jaula:	En el caso de las aves ponedoras, estas pueden estar ubicadas en jaulas en altura con pisos de rejilla o bien, existen pabellones con baterías de varios pisos. (POCH, 2016)
Slat-Flush:	Sistema de limpieza de pabellones de cerdos. Slat se refiere a la existencia de un sistema de piso elevado con ranuras que permite que las purinas sean evacuadas automáticamente, caen al suelo y son retiradas por medio de un sistema de arrastre de purín con olas de agua (Flush). El tiempo de residencia de las excretas es de 1 a 3 días. (POCH, 2016)
Slat-Pit:	Sistema de limpieza de pabellones de cerdos, corresponde a un piso elevado con ranuras que permite que las purinas sean evacuadas automáticamente y caigan sobre un espejo de agua (de aproximadamente 10 cm de profundidad) donde son acumuladas y retiradas periódicamente con recambio del agua (Pit). El tiempo de residencia de las excretas es de 7 a 15 días. (POCH, 2016)
Tratamiento	Actividades en las que se vean modificadas las características químicas y/o biológicas de las aguas o residuos. (MMA, 2013)
Tratamiento Secundario:	El tratamiento secundario consiste en la transformación biológica de materia orgánica compleja a material estable (orgánica simple o bien, inorgánica). (Ministerio de Agricultura (MINAGRI), 2005)
Ventilación forzada:	Sistema de ventilación en pabellones de ave que permite que las excretas se sequen y disminuyan su emisión (European Commission, 2017)
Verraco:	Categoría de cerdo, corresponde a cerdos macho que se utilizan como semental. (Criterio del consultor)

2. Introducción

El D.S. N° 31/2016 del MMA del 24 de noviembre de 2017, Establece el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana de Santiago (PPDA), el cual tiene por objetivo dar cumplimiento a las normas primarias de calidad ambiental de aire, asociadas a los contaminantes Material Particulado Respirable (MP10), Material Particulado Fino Respirable (MP2,5) y Ozono (O3), en un plazo de 10 años.

En la búsqueda de la reducción de las emisiones de Material Particulado Fino Respirable (MP2,5), se identifican sus precursores y se busca limitar también estos para evitar la formación de MP2,5. dentro de los precursores se encuentra el amoníaco (NH3), el cual se limita por primera vez en el Capítulo VI.9 del PPDA de la RM.

Las emisiones de amoníaco son, en su mayoría (95,8%), provenientes del sector Agroindustria. Por lo cual el capítulo de amoníaco determina que los titulares de planteles porcinos y de aves deberán reducir sus emisiones. Esto establece la obligación de los planteles afectados de estimar sus emisiones para analizar la pertinencia y magnitud de las reducciones a generar para dar cumplimiento a lo establecido por la normativa. Con el fin de facilitar el cumplimiento de estas obligaciones y, a la vez, facilitar la revisión de dicho cumplimiento por parte de la autoridad ambiental, la presente consultoría busca generar una guía metodológica para la estimación de las emisiones de amoníaco, y la estimación de reducción de emisiones asociada a la implementación de diferentes tecnologías. También se busca identificar aquellos planteles afectados a la normativa.

El presente informe corresponde a la entrega final de la consultoría “elaboración de guía para la estimación de emisiones de amoníaco en sector agroindustrial”. Se incluye un análisis acerca de la conceptualización de la emisión de amoníaco en la crianza de aves y cerdos, junto con una caracterización preliminar del sector afecto a la normativa. Luego se presenta la recopilación y análisis de los factores de emisión de amoníaco para las diferentes etapas de la cadena de manejo de la excreta. Se incorpora un capítulo de mecanismos para la reducción de las emisiones para luego presentar el paso a paso de la estimación de las emisiones de un plantel, con un paso final de estimación de posibles reducciones por medio de la implementación de medidas de reducción.

Adjunto a este informe se entrega la guía metodológica de estimación de emisiones de amoníaco para planteles de aves y cerdos.

3. Objetivos del estudio

3.1 Objetivo general

El objetivo general de la presente licitación es la elaboración de una guía de estimación de emisiones de amoníaco (NH_3) para el sector Agroindustrial, específicamente empresas productoras de cerdos y planteles de aves de corral, con el objetivo de proveer factores de emisión de este contaminante y alternativas de reducción de emisiones, los cuales estén a disposición de los titulares afectos al cumplimiento del capítulo VI.9 Control de emisiones de amoníaco del PPDA, permitiendo posteriormente generar una línea de base, con el fin de mejorar la caracterización de este sector.

3.2 Objetivos específicos

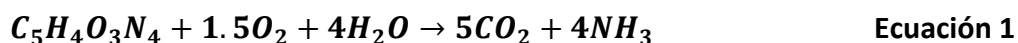
- a) Realizar caracterización del sector agroindustrial, estableciendo fuentes emisoras de amoníaco (NH_3) en empresas productoras de cerdos y planteles de aves de corral.
- b) Elaborar Guía de Estimación de emisiones de Amoníaco (NH_3) para el Sector Agroindustrial, específicamente empresas productoras de cerdos y Planteles de ave de corral, incluyendo casos Aplicados o Hipotéticos en la determinación de los Niveles de actividad y Factores de emisión presentados.
- c) Proponer, desarrollar y evaluar, mecanismos y medidas que permitan la reducción de emisiones de Amoníaco (NH_3) en el sector Agroindustrial, específicamente en empresas productoras de cerdos y Planteles de Aves de corral, presentando rangos teóricos u observados en la disminución de este contaminante.

4. Establecimiento conceptual de la emisión de Amoniac (NH₃)

El amoniac (NH₃) se produce como consecuencia de la actividad bacteriana sobre sustratos con nitrógeno orgánico. Los animales consumen una alta cantidad de proteínas y otras sustancias que contienen nitrógeno, en su alimento normal. La conversión del nitrógeno en la dieta a producto animal generalmente es ineficiente y entre el 50 y 80% del nitrógeno consumido termina en las excretas (Arogo, Westerman, Heber, Robarge, & Classen, 2006).

En la ganadería de cerdos y aves las fuentes primarias de nitrógeno son la urea, el ácido úrico y proteínas, estos compuestos se transforman en amoniac mediante las siguientes ecuaciones (Arogo et al., 2006):

Descomposición aeróbica del ácido úrico



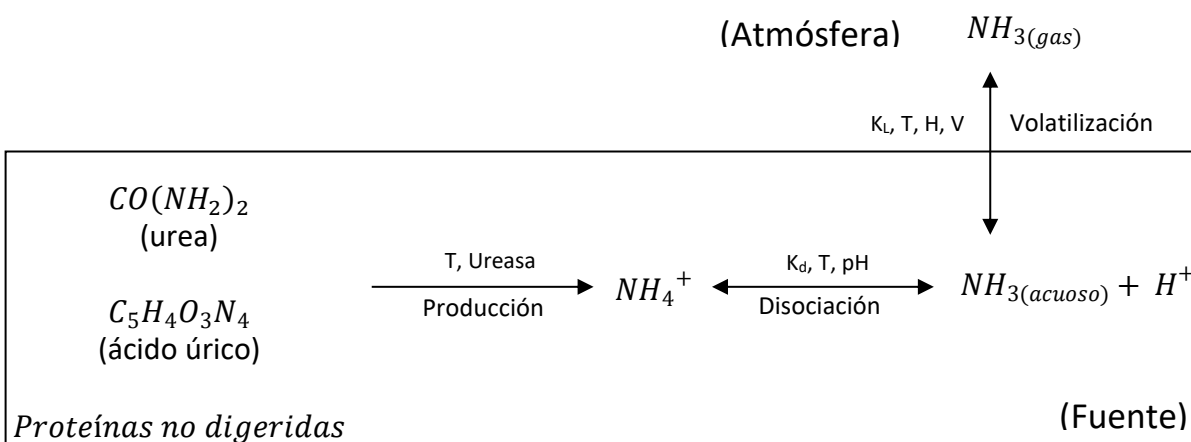
Hidrólisis de la urea



Mineralización



Figura 4-1 Esquema del ciclo del amoniac a partir de la excreta animal



Fuente: traducción de (Arogo et al., 2006)

H: constante de ley de Henry

K_d: constante de disociación

K_L: coeficiente de transferencia de masa

T: temperatura

V: velocidad del viento

La volatilización del amoníaco es controlada por diversos factores incluyendo (Arogo et al., 2006; Chowdhury, A., Rong, L., Feilberg, A., & Adamsen, 2014; Sommer et al., 2006):

- concentración de nitrógeno amoniacal total ($\text{NH}_4 + \text{N}^- + \text{NH}_3\text{-N}$)
- pH
- Temperatura
- Actividades químicas y microbiológicas
- Transporte difuso y convectivo en la excreta
- Resistencia de la fase gaseosa en la capa límite entre la fuente y la atmósfera

Se ha reportado que la temperatura y el pH son los factores más importantes que influyen la volatilización del amoníaco (Arogo et al., 2006).

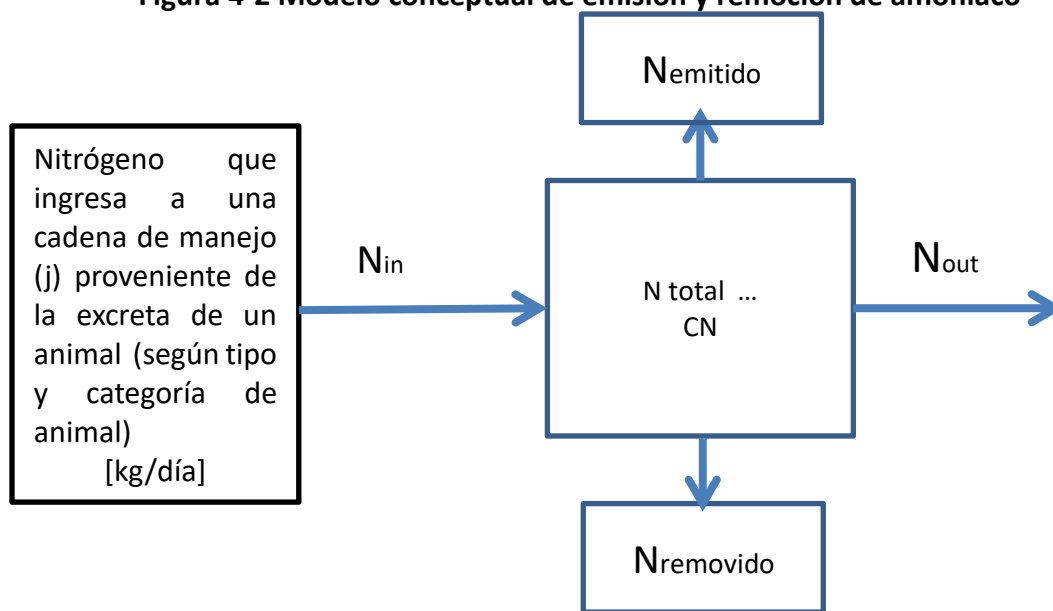
Así también, en particular para la estimación de emisiones de amoníaco en la crianza intensiva de animales se deben considerar diversos factores incluyendo (European Environment Agency, 2019; Philippe, Cabaraux, & Nicks, 2011):

- Tipo de instalación en la cual se crían los animales
- Manejo de excreta líquida o sólida
- Método de almacenamiento de excretas
- Categoría de animal (según edad o la función de su crianza, reproducción, carne, ponedora de huevos, etc.)
- Contenido de nitrógeno de la dieta – contenido de nitrógeno en la excreta

4.1 Conceptualización del mecanismo de emisión y remoción de amoníaco

A partir de la información del subcapítulo anterior se llega al modelo conceptual

Figura 4-2 Modelo conceptual de emisión y remoción de amoniaco



$$N_{out} = N_{in} - N_{emitido} - N_{removido}$$

Nemitido = como NH₃ a la atmósfera

Nremovido = removido del proceso, por medio de procesos de transformación del nitrógeno

Fuente: Elaboración propia

Remoción de Nitrógeno

La remoción de nitrógeno ocurre por la transformación del compuesto con nitrógeno a otro componente no amoniacal (i.e. N₂). Esta transformación puede ocurrir por diversos procesos biológicos o químicos con intermediarios enzimáticos y/o microbiológicos, y está condicionada, entre otras cosas) por los siguientes factores:

- pH
- Temperatura
- Disponibilidad de oxígeno
- Humedad
- Disponibilidad de materia orgánica
- Contenido de nitrógeno en el flujo entrante

Es importante tener en cuenta estos factores ya que influenciarán en los requerimientos operativos de las medidas que dependan de los procesos de transformación del nitrógeno para su remoción.

Emisión de Nitrógeno

La emisión de nitrógeno depende principalmente de dos factores:

- Categoría de animal: según la categoría del animal se definirá el factor de excreción de nitrógeno
- Superficie de emisión: tiene que ver con la superficie del purín que se encuentre en contacto directo con el aire. Este factor genera (Andersson, 1998; Chowdhury, A., Rong, L., Feilberg, A., & Adamsen, 2014; EPA, 2004a; Ni, 1999; Ni, Vinckier, Coenegrachts, & Hendriks, 1999; Oosthoek, Kroodsmas, & Hoeksma, 1991):
 - Efecto de excreción continua: al encontrarse el foso continuamente recibiendo excreta fresca que emite amoníaco no influye la frecuencia de remoción del purín ya que siempre se mantiene la superficie de emisión.
 - Efecto "purín fresco": la capa superior de purín se renueva continuamente por la excreción continua y esto genera un efecto de compresión sobre el purín que se encuentra bajo esta capa y en cuanto a emisión de amoníaco el purín bajo esta capa se vuelve despreciable en comparación a la capa fresca de purín. Por este motivo no influye la altura del pozo purinero sobre la emisión de amoníaco.

4.2 Cadena de manejo de excretas en línea la conceptualización de la emisión de NH₃

Considerando la conceptualización de la emisión de NH₃ presentada en la sección anterior, para el desarrollo de la guía, se caracteriza el sector agroindustrial de productoras de cerdos y planteles de aves de corral de una forma tal que permita cuantificar y caracterizar la generación de NH₃ permitiendo así establecer la línea base de emisiones y la potencial disminución de emisiones luego de la implementación de tecnologías

Sector porcino

El sector agropecuario a describir en la siguiente sección corresponde a la crianza de cerdos y aves, que corresponden a unas de las fuentes de emisiones de amoníaco en la Región Metropolitana anteproyecto.

La crianza intensiva de cerdos se puede caracterizar a partir de los diversos estados que el animal atraviesa a lo largo de la crianza.

Se consideraron dos grandes divisiones, correspondientes a las categorías que naturalmente se utilizan en el sector Reproductoras y Crianza. Cada instalación puede contar con una o ambas categorías según su finalidad:

- Reproductoras: engloba las instalaciones en donde se alojan cerdas madre junto a sus crías. Aquí inicia el ciclo de crianza donde las reproductoras permanecen junto a las crías por un período aproximado de 21 días. Posteriormente los lechones son derivados a dos posibles crianzas: segundo estado o destete-venta (POCH, 2016).

- Crianza: reúne las instalaciones que realizan el segundo estado, engorda y destre-venta. Los lechones de 21 días se desarrollan por completo hasta los 180 días aproximadamente, momento en el cual son destinados a faenar (POCH, 2016).

Dentro del proceso completo, la emisión de amoníaco se encuentra directamente relacionada con las excretas del cerdo, también conocidas como purinas/purín. Es por esta razón que se da especial énfasis a la cadena de manejo y gestión de las purinas durante todo el proceso y la vida del animal. Esta cadena se divide en las siguientes etapas:

1. Sistema de recolección/evacuación de purinas
2. Manejo/gestión del purín
3. Destino final del purín

Actualmente existen cuatro opciones de sistema de evacuación de purinas (BREF, 2017; MAGRAMA, 2010c; POCH, 2016; USEPA, 2004):

- Slat-Flush
- Slat-Pit
- Cama caliente
- Cemento

El purín excretado en los pabellones es recolectado y luego puede ser sometido a diferentes tipos de tratamientos de purín:

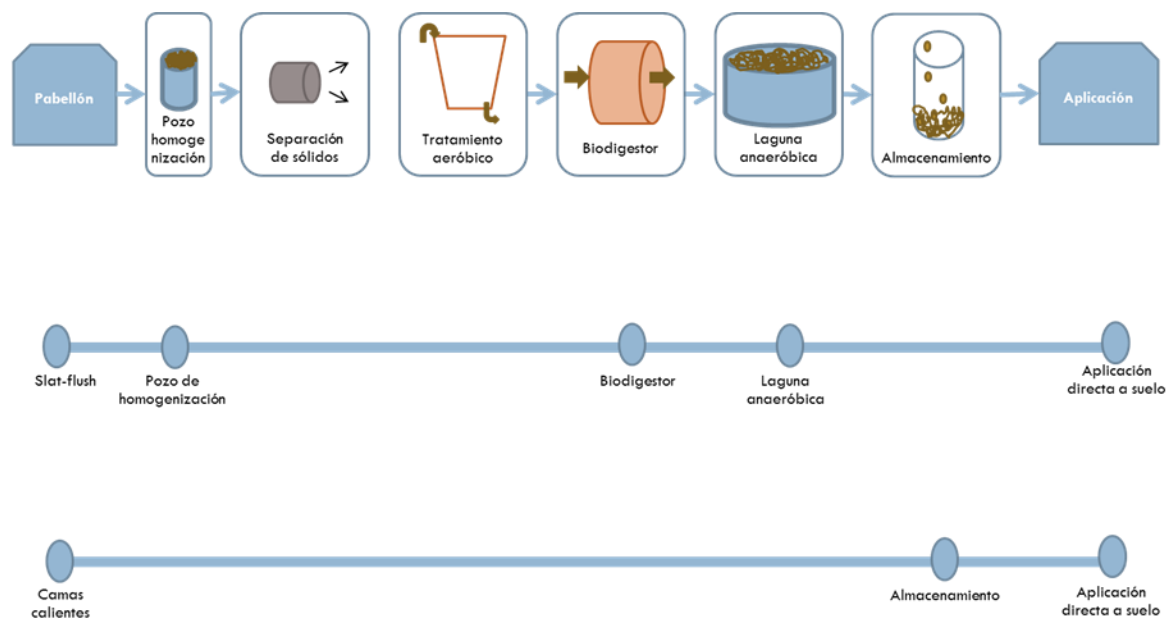
- Pretratamiento
 - Pozo de homogenización
 - Separación de sólidos
- Tratamiento
 - Lombrifiltro
 - Tratamiento aeróbico
 - Biodigestor
 - Compostaje

El destino final del purín tiene tres líneas principales aplicación a suelos, alimentación animal y rellenos sanitarios. Debido a la oportunidad de valoración del purín las opciones más comunes son aplicación a suelo y alimentación animal. La aplicación a suelo puede ser directa del purín (llamado crudo) y puede ser sólido o líquido, dependiendo del manejo previo del purín.

Conceptualización cadena de manejo del purín para el sector porcino

Para la creación del modelo de la cadena de manejo se elaboró el modelo conceptual expuesto en la Figura a continuación.

Figura 4-3 Modelo conceptual cadena de manejo de purín para el sector porcino y ejemplo de cadenas de manejo existentes



Fuente: Elaboración propia

Sector aves

En la crianza de aves se cuenta con cuatro categorías a tratar en el presente informe (BREF, 2017; EPA, 2004b; MAGRAMA, 2010c; POCH, 2016):

- Aves de carne (broiler): Aves destinadas para fines de consumo humano.
- Reproductoras para broiler: corresponde a aves destinadas a la producción de huevos para la generación de nuevos individuos.
- Aves ponedoras: se refiere a aves destinadas a la producción de huevos para su comercialización.
- Pavos: pavos destinados a engorda para fines de consumo humano.

Dentro del proceso completo de crianza de aves (ya sea para consumo o ponedoras), al igual que para los cerdos la emisión de amoníaco se encuentra directamente relacionada con las excretas. Sin embargo la recolección y manejo de las excretas es más simple ya que sólo consiste en los siguientes procesos:

1. Recolección
2. Acopio/almacenamiento
3. Aplicación a suelo

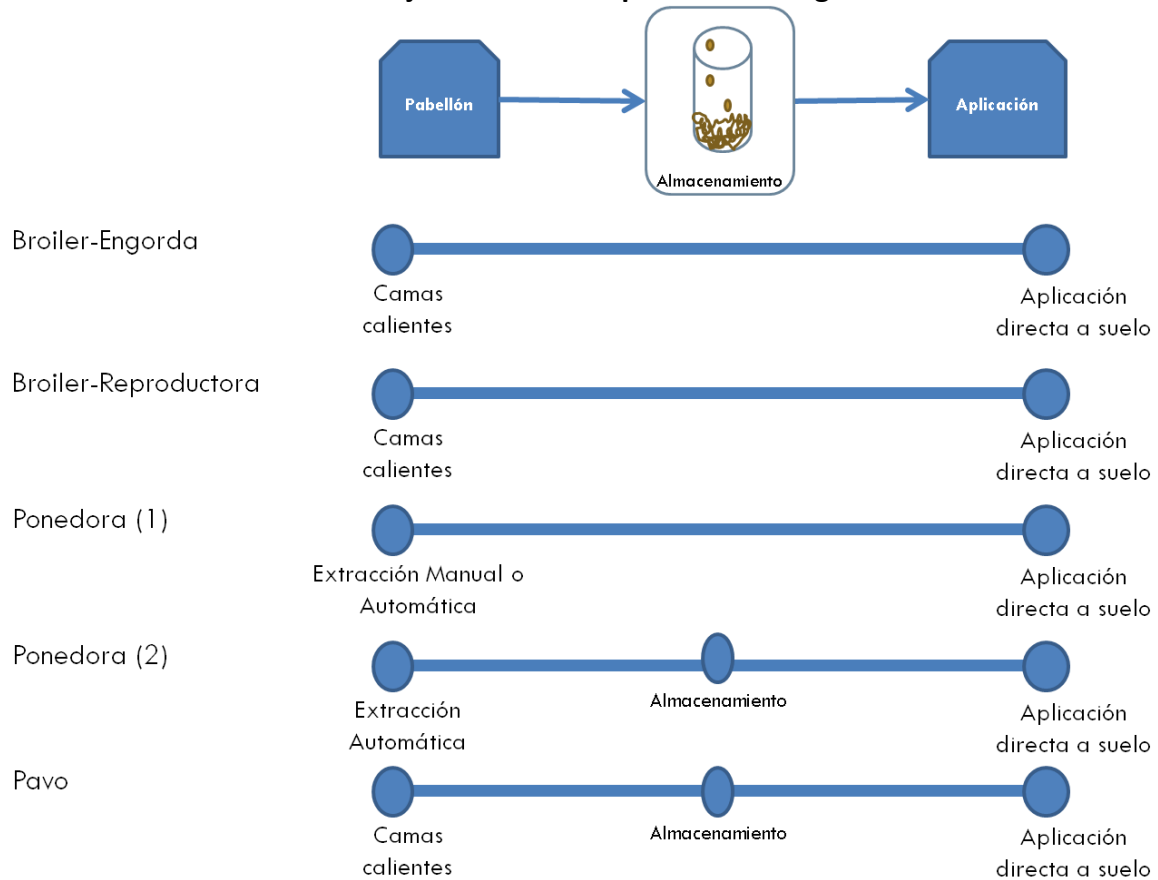
Todas las categorías cuentan con el mismo destino final de la excreta, la aplicación a suelos, varían en el método de recolección. El nivel de detalle de la información con respecto a la cadena de manejo de excretas no es tanto como en el caso de los cerdos.

En los planteles de aves del tipo broiler es común el uso de camas de diversos materiales absorbentes (viruta, aserrín, paja, etc.) los cuales son depositados en el suelo formando una cama de 10-25 cm de altura donde caen las excretas. Las aves no generan un contenido líquido significativo en sus excretas por lo cual es simple el sistema de manejo de estas y se retira la cama absorbente al final de cada ciclo (45 días de vida), por medio de raspaje en seco. El residuo obtenido se conoce como GAC (guano de ave de carne) (POCH, 2016). Para los pavos se utiliza el mismo sistema de manejo de guano, pero cuentan con un componente adicional de almacenamiento.

En el caso de las aves ponedoras, estas pueden estar ubicadas en jaulas en altura con pisos de rejilla o bien, existen pabellones con baterías de varios pisos, en las que el guano cae sobre cintas transportadoras (una en cada piso) (POCH, 2016), pueden contar con una etapa de almacenamiento.

Para aves se puede contar con dos tipos de ventilación: manual o forzada. La ventilación forzada permite que las excretas se sequen y disminuyan su emisión (European Commission, 2015a).

Figura 4-4 Modelo conceptual cadena de manejo de guano para el sector aves y las cadenas de manejo consideradas para cada categoría



Fuente: Elaboración propia

5. Caracterización del sector agroindustrial

Dentro del objetivo del estudio se busca realizar un levantamiento de la información disponible sobre las fuentes emisoras de Amoníaco (NH₃) asociadas al funcionamiento de empresas productoras de cerdos y plantales de aves de corral. Este levantamiento permitirá la cuantificación preliminar y caracterización de la generación de este contaminante en la Región Metropolitana. La generación de esta información permitirá facilitar la labor de la Autoridad Ambiental de identificación de fuentes y revisión de la información a recibir como fuente afecta al PPDA de la RM.

5.1 Caracterización Sector Porcino

A continuación se exponen la información utilizada para la caracterización del sector agropecuario de cerdos.

Se cuenta con la BD de plantales porcinos generada para la generación de antecedentes para la norma de olores (GreenLab-Dictuc, 2019). A partir de esta se presenta la siguiente caracterización.

En la Región Metropolitana hay 21 empresas, de las cuales se cuenta con información de número de animales para 13, con un total de con 1.032.672 cerdos en total. Estos están distribuidos en 37 y 75 sectores plantales en las comunas de Calera de Tango, Colina, El Monte, Isla de Maipo, Lampa, María Pinto, Melipilla, Paine, San Bernardo, San Pedro, Talagante y Til-Til. Los animales se concentran en la comuna de San Pedro, con un 66% y Melipilla con un 21% (Figura 5-1).

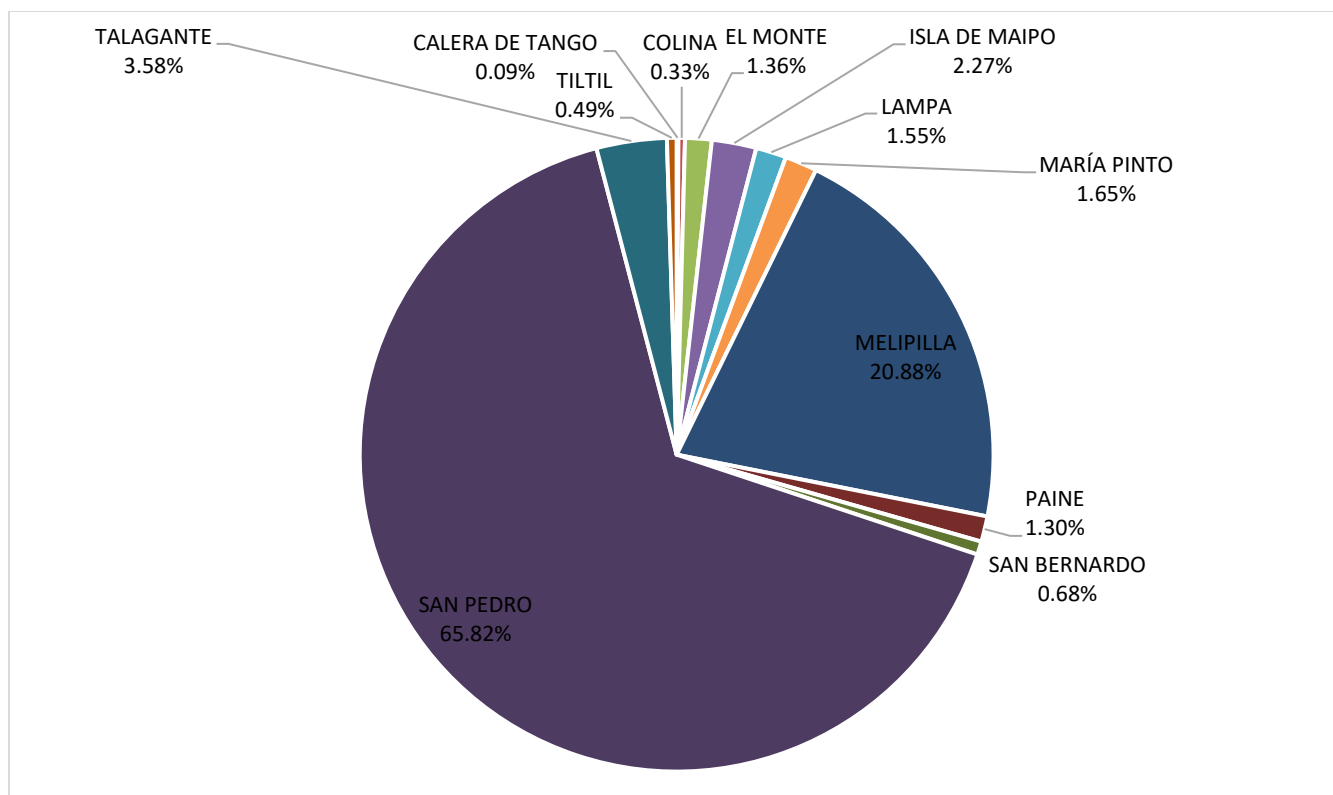


Figura 5-1 Distribución de cerdos en las comunas de la RM

Fuente: Elaboración propia

De estos animales, el 6,8% corresponden a animales con fines reproductivos y el 78% corresponde a animales para crianza.

Tabla 5-1 Ciclo productivo de los planteles porcinos según número de cerdos

Ciclo productivo	Porcentaje del total de cerdos
Ciclo completo	14,0%
Crianza	78,7%
Reproducción	6,8%
S.I	0,5%

Fuente: Elaboración propia

La mayoría de las instalaciones de crianza de cerdos de la Región Metropolitana (69%) cuenta con un sistema de piso ranurado del tipo Pit y un 14,5% corresponde a Slat-flush.

Debido a la oportunidad de valoración del purín, este generalmente no se envía a rellenos sanitarios, sino que se utiliza como alimento de animales o se aplica a suelos como fertilizante (de forma líquida o sólida). Sólo un 1,6% de la población porcina tiene como destino final del

purín el alimento de animales, un 92,3% tiene como destino la aplicación a suelo, y para el 6,1% restante no se encuentra bien identificado el destino.

En cuanto al tratamiento del purín, si bien se identifican 37 planteles, estos pueden contar con diferentes sistemas de tratamiento de purín en sus diferentes sectores. Se identifican 75 sectores diferenciados y se cuenta con información de tratamiento para 66 de estos sectores. Como se puede apreciar de la Figura 5-2, un 50% de los planteles cuentan tratamiento primario, sólo un 18% cuentan con tratamiento secundario de purín.

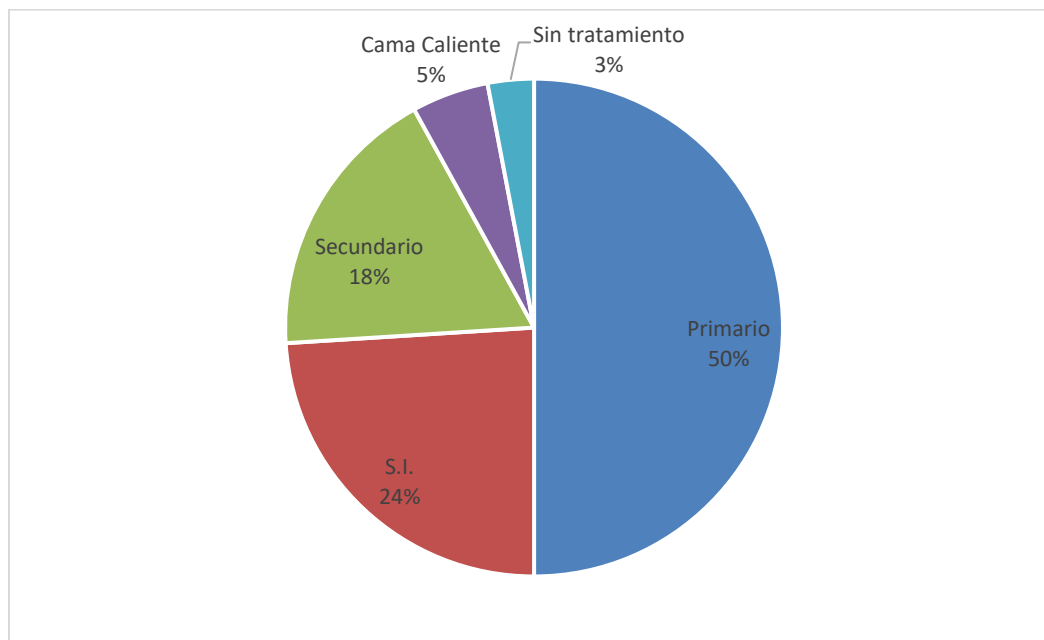


Figura 5-2 Tipo de tratamiento

Fuente: Elaboración propia

5.2 Caracterización Sector Aves

Para la caracterización del sector agropecuario de aves se cuenta con menos información ya que el proceso es más simple. Además la información recibida por el equipo consultor no es completa, por lo cual, para la caracterización del sector se usa la información de la Base de Datos de POCH (2016), complementada con información obtenida directamente de empresas de aves ponedoras o por medio de la asociación gremial.

De acuerdo a la BD de planteles avícolas elaborada para la generación de antecedentes para la norma de olores (GreenLab-Dictuc, 2019), en la Región Metropolitana hay 50 empresas. De estas, solo 8 indican el número de animales, con un total de 12.426.540 aves (correspondientes a gallinas). Estos están distribuidos en 64 planteles en las comunas de Buin, Corneche, Curacaví, El Monte, Lampa, María Pinto, Melipilla, Paine, Peñaflor, Pirque, Pudahuel y San Pedro. Las aves se

concentran en las comunas de San Pedro y Corneche, con un 42% y 16% del total respectivamente (Figura 5-3).

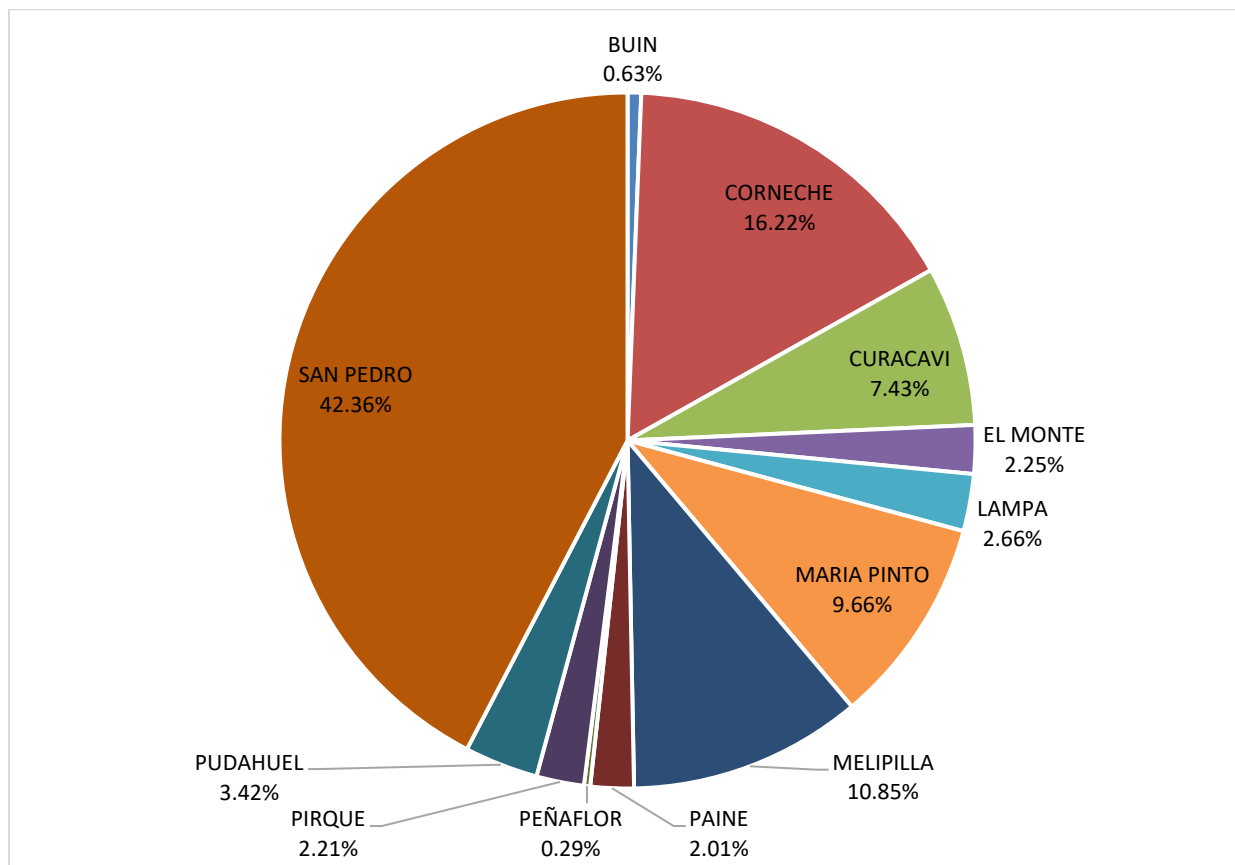


Figura 5-3 Distribución de aves-gallinas en las comunas de la RM

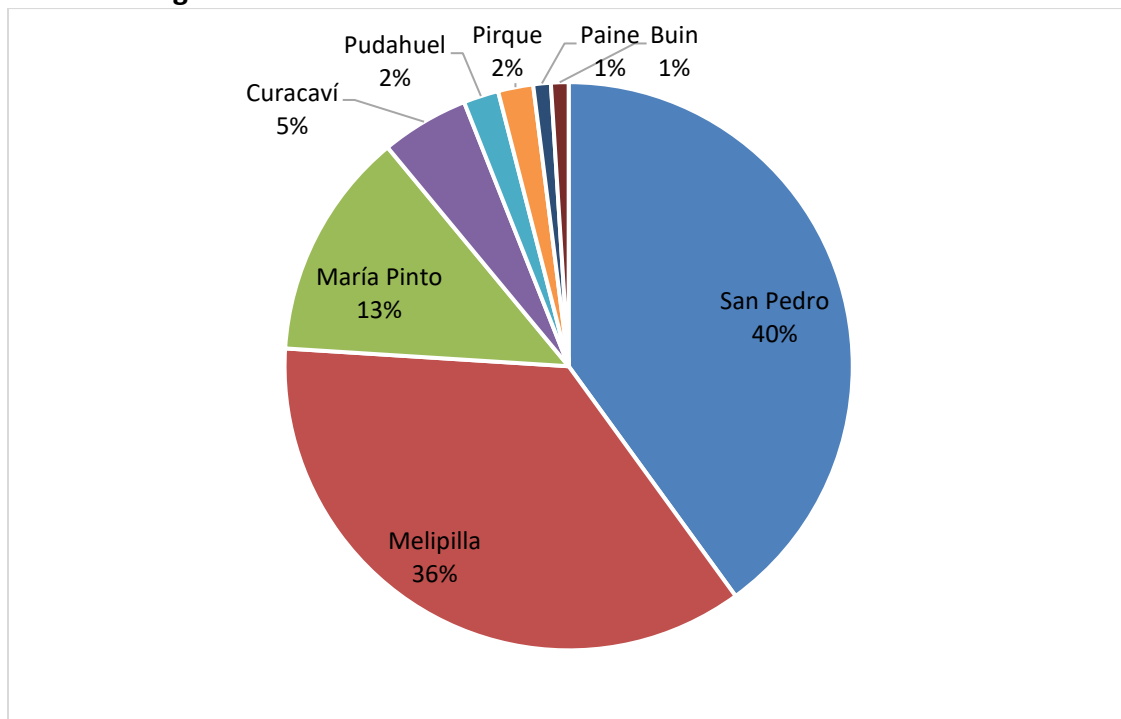
Fuente: Elaboración propia

Debido a la incompletitud de la base de datos, esta información se complementa con la información de la base de datos de POCH (2016).

De acuerdo a POCH (2016), se estima que en la Región Metropolitana existen aproximadamente 150 instalaciones de aves ponedoras, de las cuales la mayoría corresponde a empresas pequeñas de menos de 5.000 animales. Más del 80% de la producción de huevos está asociada a la extracción automática de guano (cinta transportadora).

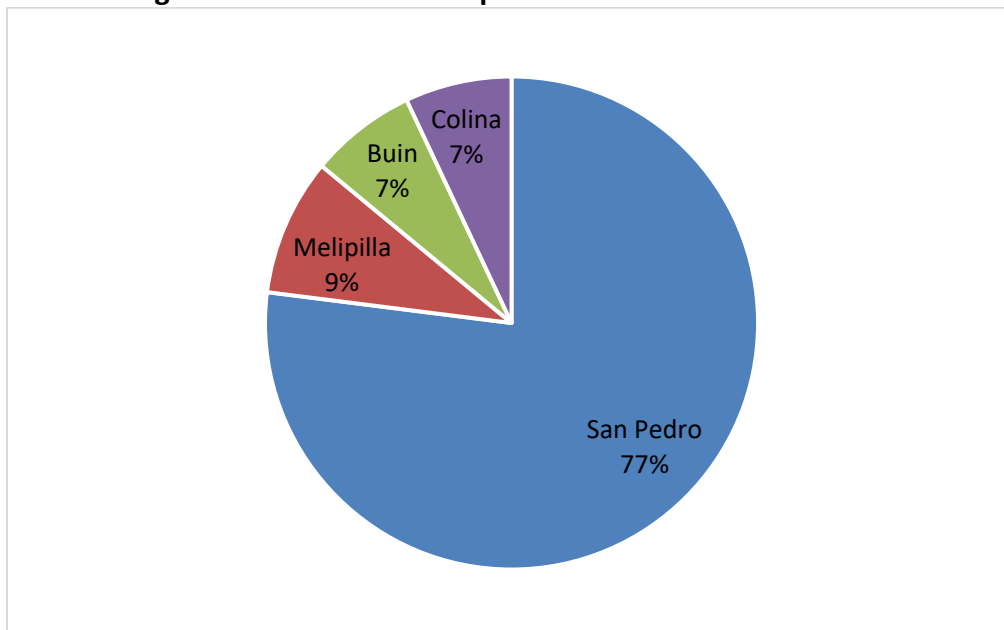
Para aves broiler, existen 18.256.733 animales en la Región Metropolitana, la mayor parte se encuentra en la comuna de San Pedro (ver Figura 5-4). En la Región Metropolitana hay 446.601 pavos, nuevamente siendo San Pedro la comuna con la mayor cantidad de estas aves (ver Figura 5-5).

Figura 5-4 Distribución de aves broiler en las comunas de la RM



Fuente: (POCH, 2016)

Figura 5-5 Distribución de pavos en las comunas de la RM



Fuente: (POCH, 2016)

Las aves ponedoras son 3.813.245 animales en la RM, la mayor parte en la Comuna de El Monte.

En los planteles para aves broiler y pavos se utilizan en pabellón camas de materiales absorbentes. Se asume una base de sistema cama caliente, el cual se retira al final de cada ciclo (45 días de vida). Las aves ponedoras pueden estar ubicadas en jaulas en altura con pisos de rejilla o en pabellones con baterías de varios pisos en las que el guano cae sobre cintas transportadoras o se retira con un scraper. Según información entregada por Chile Huevos se determina la caracterización de la cadena de manejo según el tipo de aves que entrega la Tabla a continuación:

Tabla 5-2 Caracterización de la CME según categoría de animal

Categoría	Cadena de manejo	Distribución
Engorda broiler	Cama caliente y aplicación a suelo	100%
Reproductoras broiler	Cama caliente y aplicación a suelo	100%
Pavos	Cama caliente, almacenamiento y aplicación a suelo	100%
Aves ponedoras	Extracción automática - almacenamiento - aplicación	85%
	Extracción manual - aplicación directa	15%

Fuente: Elaboración propia en base a información entregada por Chile Huevos

El tipo de ventilación a utilizar puede ser manual o forzada, pero no se tiene información para los planteles.

En el caso de aves broiler, (engorda y reproductoras) se considera que no hay almacenamiento ya que las excretas son transportadas directamente a su destino. Para los pavos, en cambio, si hay almacenamiento, y posterior aplicación a suelo. Las aves ponedoras con extracción automática cuentan con almacenamiento de guano, no así las con extracción manual, el guano de estos pabellones se va directo a aplicación a suelo. El destino de la fracción sólida, al igual que el manejo de excretas, es el mismo para todas las instalaciones y corresponde a aplicación a suelo agrícola (uso como fertilizante).

La etapa de almacenamiento para las aves (pavos y ponedoras con extracción automática) consiste en canchas de acopio de guano. Esto es un terreno sobre el cual se dispone el guano en pilas de acumulación y son volteadas periódicamente para su secado.

6. Factores de emisión

En Chile no se cuenta con factores nacionales de emisión de amoniaco para animales ganaderos, por lo cual se deben identificar factores de emisión internacionales y analizar la aplicabilidad en Chile. Previo al proceso de identificación se destacan las múltiples fuentes posibles de factores de emisión, variando en ubicación geográfica y características de operación que determinan dichas emisiones. Así también se presentan importantes limitaciones e incertidumbres asociadas a cada factor de emisión, un ejemplo de esto se presenta la Tabla 6-1 que expone las diferencias entre los inventarios de emisiones de amoniaco realizados en los últimos 10 años. Esto deja en evidencia la variabilidad de las metodologías y sus resultados, en la estimación de emisiones para el sector ganadero, en particular en la crianza de aves y cerdos.

Tabla 6-1 Evolución de las emisiones de amoniaco en los inventarios de emisión

	2005 DICTUC	2010 CENMA	2012 SISTAM	2012 USACH	2015 POCH
Cerdos [kg/año/animal]	23,14	57	46,34	46,34	5,8
Aves [kg/año/animal]	0,59	0,51	0,28	0,28	0,2

Fuente: Extracto de Tabla 3 (Jaime Illanes y Asociados, 2016)

Con toda esta información en mente el equipo consultor propone la siguiente secuencia de actividades para la correcta estimación de emisiones de amoniaco en la crianza intensiva de animales en Chile:

1. Búsqueda bibliográfica de factores de emisión asociados a crianza intensiva de cerdos y aves
2. Elección y justificación de factores de emisión a utilizar en Chile
3. Propuesta de metodología para estimación de emisiones en la cadena completa de crianza de cerdos y aves
4. Testeo de la metodología en un número limitado de planteles
5. Aprobación, en conjunto con la contraparte técnica, de la metodología de estimación de emisiones

En particular las actividades 2, 3 y 4 tendrán en especial consideración lo planteado en esta sección para la correcta selección de metodología.

De manera preliminar se identifican las siguientes referencias relevantes para la identificación de factores de emisión.

- Antecedentes para la elaboración de análisis económico de la norma de emisión de olores para sector porcino, estudio desarrollado por el equipo consultor (GreenLab-Dictuc, 2019)

- Ammonia emission patterns during the growing periods of pigs housed on partially slatted floors. *Journal of Agricultural Engineering Research*. (Aarnink, Keen, Metz, Speelman, & Verstegen, 1995)
- Ammonia emissions from animal feeding operations. National Center for Manure and Animal Waste Management (Arogo et al., 2006)
- Review of ammonia emissions from a pig house slurry pit and outside storage: Effects of emitting surface and slurry depth. (Chowdhury, A., Rong, L., Feilberg, A., & Adamsen, 2014)
- Capítulo 10: Emisiones resultantes de la gestión del ganado y del estiércol. In *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de GEI. Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra* (Dong et al., 2006)
- Emissions from Animal Feeding Operations (EPA, 2001)
- National Emission Inventory — Ammonia Emissions from Animal Husbandry Operations Draft Report. Population (USEPA, 2004)
- Best Available Techniques (BAT), Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry and Pigs (BREF, 2017; European Commission, 2015b)
- Manure Management. (Hutchings, Amon, Dämmgen, & Webb, 2015)
- Modelling of Emissions of Air Pollutants and Greenhouse Gases from Agricultural Sources in Europe. IIASA (Klimont & Brink, 2004)
- Mechanistic Models of Ammonia Release from Liquid Manure: a Review. *Journal of Agricultural Engineering Research* (Ni, 1999)
- Effect of manure on ammonia emission from fattening pig house with partly slatted floor. *Livestock Production Science* (Ni et al., 1999)
- Ammonia emission from dairy and pig housing systems. (Oosthoek et al., 1991)
- Generación de Antecedentes Técnicos y Económicos para la Elaboración de Medidas para la Reducción de Emisiones del Sector Agropecuario, en el marco del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA) para la Región Metropolitana de Santiago. (POCH, 2016)
- Actualización de metodología de estimación de emisiones de NH₃. (SISTAM Ingeniería, 2013)
- Towards a climate-dependent paradigm of ammonia emission and deposition (Sutton MA, Reis, S, Riddick SN, Dragosits U, 2013)
- Estimation of Ammonia Emission from Manure Belt Poultry Layer Houses Using an Alternative Mass-Balance Method. (Wang et al., 2009)
- Database to collect emission values for livestock systems : ELFE database (Hassouna, 2019)
- Además, se revisarán los datos provenientes del INRAE (Instituto Nacional para la Investigación Agronómica por sus siglas en francés), disponible en <https://doi.org/10.15454/MHJPYT>

En el caso de Chile se debe identificar un factor de emisión internacional ya que no se cuenta con factores nacionales de emisión de amoníaco para animales ganaderos. Debido a la falta de

estudios y antecedentes generales acerca de las emisiones de amoníaco del sector ganadero en Chile se busca utilizar la mejor información disponible, analizando en detalle la aplicabilidad de los factores a utilizar, considerando las características geográficas, meteorológicas y operativas de la crianza de cerdos y aves en el país.

En las secciones a continuación se presentan los resultados de la búsqueda de los parámetros que permitirán la estimación de factores de emisión de amoníaco y, a partir de estos, la emisión de amoníaco para un plantel. Estos parámetros son categorías de animales y excreción de nitrógeno.

6.1 Categorías de animales

La EPA divide los cerdos en 5 categorías según su peso y estado de desarrollo, en Chile generalmente se realiza la cuantificación siguiendo dos categorías, reproductora y crianza/engorda (Ministerio de Agricultura (MINAGRI), 2019).

Las categorías a utilizar para cerdos son las siguientes:

- Cerdos reproductores: corresponden a las cerdas madre, debido a esto tienen un gran peso ya que se encuentran en período de gestación o lactancia. En esta etapa se encuentran los animales reproductores (machos y hembras), además de los lechones hasta su destete (Ministerio de Agricultura (MINAGRI), 2019). Incluye las categorías de gestación, maternidad, verraco y cría/lechón.
- Cerdos de engorda: corresponden a los cerdos en cualquiera de sus estados de desarrollo, entre los 21 y 180 días aproximadamente. En esta etapa se realizan las actividades asociadas al crecimiento y engorda (crianza) de los animales desde el destete hasta la salida del plantel (Ministerio de Agricultura (MINAGRI), 2019). Incluye las categorías de recría y engorda

Las categorías a utilizar para aves son:

- Gallinas
 - Broiler engorda
 - Reproductora broiler
 - Ponedora
- Pavos

6.2 Excreción de nitrógeno

La emisión de nitrógeno está directamente relacionada con la generación de excretas de los animales, ya que este forma parte de la composición. La excreción de nitrógeno depende de diversos factores, tales como el tipo de animal, la categoría, el peso, el estado de desarrollo y la dieta que recibe dicho animal.

La dieta de los animales está directamente relacionada con la salud nutricional y la calidad esperada del producto final a obtener de dicho animal, por lo cual no puede ser modificada con la finalidad de reducción de emisiones de amoniaco.

El peso y estado de desarrollo de los animales, que influye también en la categoría, serán los parámetros a considerar para la estimación del contenido de nitrógeno en la excreta. Se debe considerar que peso y estado de desarrollo tienen múltiples variaciones, por lo cual se deben buscar ciertas generalizaciones que faciliten la estimación de las emisiones para un año dado, considerando todas las variaciones que un plantel puede tener en dicho año. Con este fin se presentan a continuación el peso a considerar y las diferentes tasas de excreción de nitrógeno para animales.

Tabla 6-2 Peso de animales según tipo y categoría

Tipo de animal	Categoría	Peso (kg)
Cerdo	Reproductora	210
	Crianza	64
Aves	Broiler engorda	1,3
	Reproductora broiler	2,5
	Ponedora	1,8
	Pavos	6,8

Fuente: Elaboración propia a partir de POCH (2016)

6.2.1 Sector Porcino

De la revisión de documentos presentados al comienzo del capítulo se obtienen diversas tasas de excreción de nitrógeno para cerdos, la finalidad de esta sección es la presentación y análisis de los valores encontrados, para luego generar una propuesta de selección de la información a utilizar.

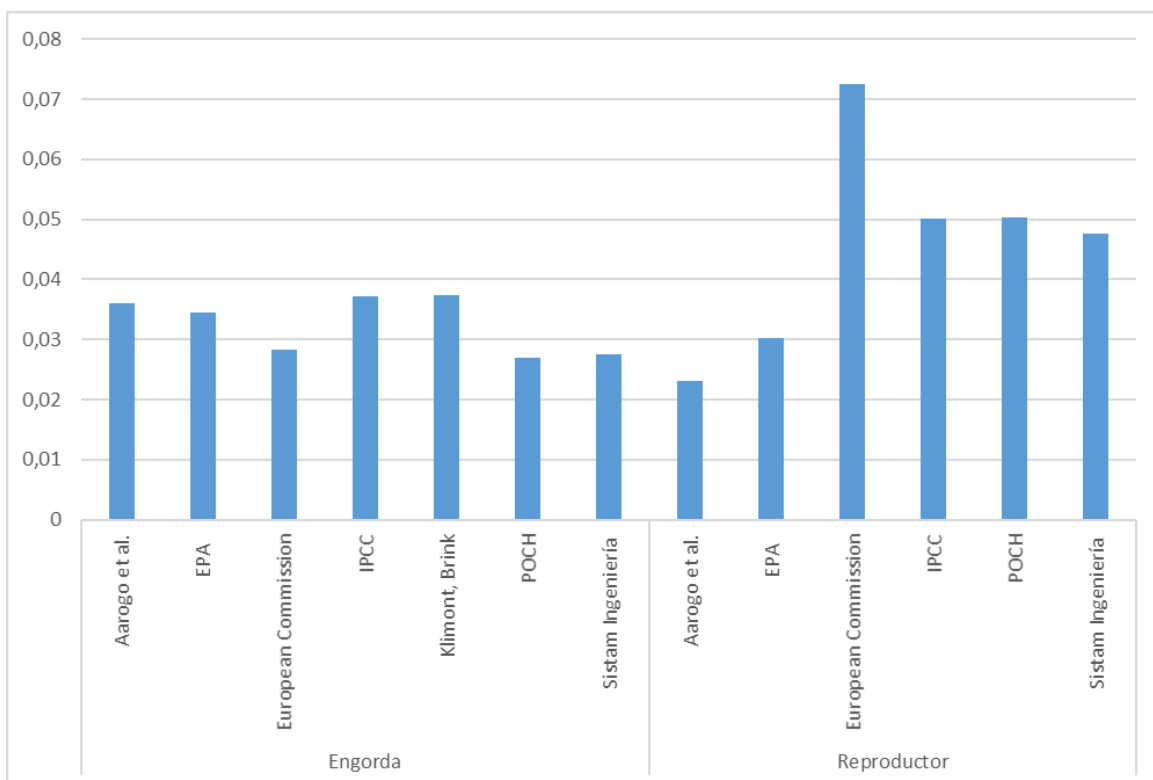
La información recopilada no siempre se encontró en las unidades deseadas, ya que para poder realizar un análisis comparativo de los datos encontrados, se debe poder llevar los diferentes valores a unidades de medidas iguales. Por este motivo los valores a comparar cuentan con modificaciones, las cuales se explicitan en la BD adjunta, la Tabla 6-3 presenta los valores de tasas de excreción a analizar, estos mismos valores se presentan en la Figura 6-1.

Tabla 6-3 Contenido de nitrógeno en excreta, cerdos

Categoría	Promedio de TNE (kg N/animal/día)	Número de valores considerados	Fuente	Año
Engorda	0,0345	2	EPA	2001
	0,0374	1	Klimont, Brink	2004
	0,0360	2	Aarogo et al.	2006
	0,0276	1	Sistam Ingeniería	2013
	0,0269	1	POCH	2016
	0,0282	1	European Commission	2017
	0,0372	1	IPCC	2019
	0,0331	9	Promedio	
Reproductor	0,0128	1	EPA	2001
	0,0476	1	EPA	2004
	0,0230	2	Aarogo et al.	2006
	0,0476	1	Sistam Ingeniería	2013
	0,0504	1	POCH	2016
	0,0726	1	European Commission	2017
	0,0501	1	IPCC	2019
	0,0409	8	Promedio	

Estos valores son calculados a partir de la tasa de excreción de nitrógeno por kg de animal y el peso promedio por categoría animal

Fuente: Elaboración propia


Figura 6-1 Contenido de nitrógeno en excreta, cerdos [kgN/animal/día]

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar de la Tabla 6-3 se cuenta con valores para varios años, y se puede ver que, en general, las tasas de excreción han tenido una tendencia a disminuir levemente, para los cerdos de engorda, aunque para cerdos reproductores han tenido un aumento, culminando con el valor de la Comisión Europea. Se considera relevante destacar que las fuentes de la EPA, así como la IPCC y la Comisión Europea son instituciones que generan recomendaciones de valores de uso, a partir de la recopilación de estudios aplicados, por lo cual el año de la revisión, no necesariamente corresponde al año de la estimación del valor. En particular, el valor de la Comisión Europea corresponde a un estudio de 1999, por lo cual, aunque parece uno de los valores más recientes, es el más antiguo.

Se propone el uso de los valores recomendados por la EPA (2004a), ya que cuenta con validación internacional y es la más utilizada por los diferentes estudios de estimaciones de emisiones asociadas a la Agroindustria chilena. Así también el valor de la EPA se encuentra cercano promedio para ambas categorías porcinas.

Adicionalmente se propone el análisis de escenarios de emisiones mínimas y máximas, para poder identificar un rango de variabilidad posible en las estimaciones.

6.2.2 Sector Aves

De la revisión de documentos presentados al comienzo del capítulo se obtienen diversas tasas de excreción de nitrógeno para aves, y como se mencionó previamente, la finalidad de esta sección es la presentación y análisis de los valores encontrados, para luego generar una propuesta de selección de la información a utilizar.

De igual manera que para cerdos, la información recopilada no siempre se encontró en las unidades deseadas, ya que para poder realizar un análisis comparativo de los datos encontrados, se debe poder llevar los diferentes valores a unidades de medidas iguales. La Tabla 6-4 presenta los valores recopilados para el contenido de nitrógeno en las excretas de aves.

Tabla 6-4 Contenido de nitrógeno en excreta, Aves

Categoría	Promedio de TNE (kg N/animal/día)	Número de valores considerados	Fuente	Año
Broiler engorda	0,0010	1	EPA	2001
	0,0010	1	EPA	2004
	0,0010	2	Aarogo et al.	2006
	0,0010	1	Sistam Ingeniería	2013
	0,0014	1	POCH	2016
	0,0011	7	European Commission	2017
	0,0022	1	IPCC	2019
	0,0012	14	Promedio	
Broiler reproductor	0,0015	1	Sistam Ingeniería	2013
	0,0028	1	POCH	2016
	0,0021	5	European Commission	2017
	0,0021	7	Promedio	
Ponedora	0,0015	1	EPA	2001
	0,0015	1	EPA	2004
	0,0022	1	Klimont, Brink	
	0,0016	2	Aarogo et al.	2006
	0,0015	1	Sistam Ingeniería	2013
	0,0015	1	POCH	2016
	0,0018	9	European Commission	2017
	0,0021	1	IPCC	2019
	0,0017	17	Promedio	
Pavo	0,0050	1	EPA	2001
	0,0050	1	EPA	2004
	0,0050	1	Sistam Ingeniería	2013
	0,0050	1	POCH	2016
	0,0039	9	European Commission	2017
	0,0050	1	IPCC	2019
	0,0043	14	Promedio	

Estos valores son calculados a partir de la tasa de excreción de nitrógeno por kg de animal y el peso promedio por categoría animal

Fuente: Elaboración propia

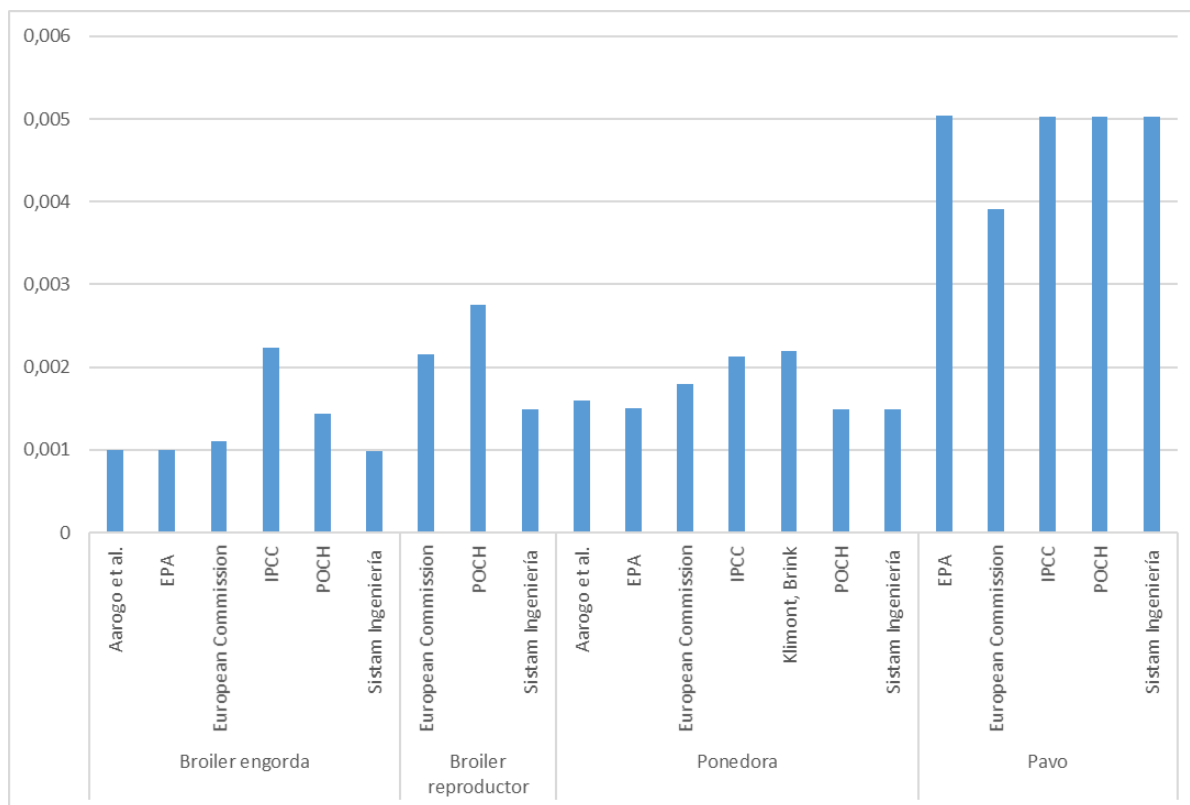


Figura 6-2 Contenido de nitrógeno en excreta, Aves [kgN/animal/día]

Fuente: Elaboración propia

La Figura 6-2 deja en evidencia que para las categorías de broiler y ponedoras existe cierta variabilidad en los valores según cada fuente y año, pero sin mostrar una tendencia clara al aumento o disminución. También se debe notar que, como el estudio de Sistam Ingeniería (2013) y POCH (2016) son revisiones y no generación de valores, cuentan ya con los valores, por ejemplo, recomendados por la EPA. En particular el estudio de POCH (2016) concluye con la recomendación de los valores de la EPA para la estimación de las emisiones de amoníaco tanto para aves como cerdos.

Para broiler engorda y ponedoras se propone el uso de los valores recomendados por la EPA (2004a), ya que, como ya se mencionó están ampliamente validados nacional e internacionalmente, además de encontrarse dentro del rango de mínimo y máximo de los valores totales. Para broiler reproductor, sin embargo, no se cuenta con una recomendación de la EPA, por lo cual se propone el uso del valor de la Comisión Europea (BREF, 2017), ya que es el más actualizado (al menos en revisión) y se encuentra dentro del rango de mínimo y máximo. Finalmente para pavos, se considera que el valor de la EPA es el más adecuado ya que coincide en 4 de 5 estudios y cuenta con mayor cantidad de valores de respaldo (se obtiene como promedio de 9 valores obtenidos a partir de la EPA).

Adicionalmente, y de igual manera que para cerdos, se propone el análisis de escenarios de emisiones mínimas y máximas, para poder identificar un rango de variabilidad posible en las estimaciones.

6.3 Desarrollo de factores de emisión

De la sección anterior se obtiene la cantidad de nitrógeno excretado por los animales y que entrará a la cadena de manejo de excretas. Luego de esto se debe identificar, para cada etapa de la cadena de manejo, cuánto nitrógeno se libera como amoníaco. Para esto se deben identificar factores de emisión para cada etapa, ya sea como un factor de emisión por animal o unidad de área o como porcentaje de liberación del nitrógeno (considerando el nitrógeno que entra a dicha etapa).

Debido a la necesidad de estimación de emisiones se debe escoger una metodología con conciencia de las limitaciones e incertidumbres. Se enfrentan incertidumbres y limitaciones en la revisión de factores de emisión a utilizar, en particular se destacan los siguientes puntos (Jaime Illanes y Asociados, 2016; POCH, 2016):

1. Dificultades en la recopilación de datos debido a varios tipos de animales y tiempos de residencia.
2. Dificultad en la representación de la amplia variabilidad de los factores de emisión de cada componente de una cadena de manejo.
3. Los factores de emisión no internalizan la diferencia en temperaturas, humedad, tipo de suelo y otros factores que pueden afectar la formación y volatilización de amoníaco.

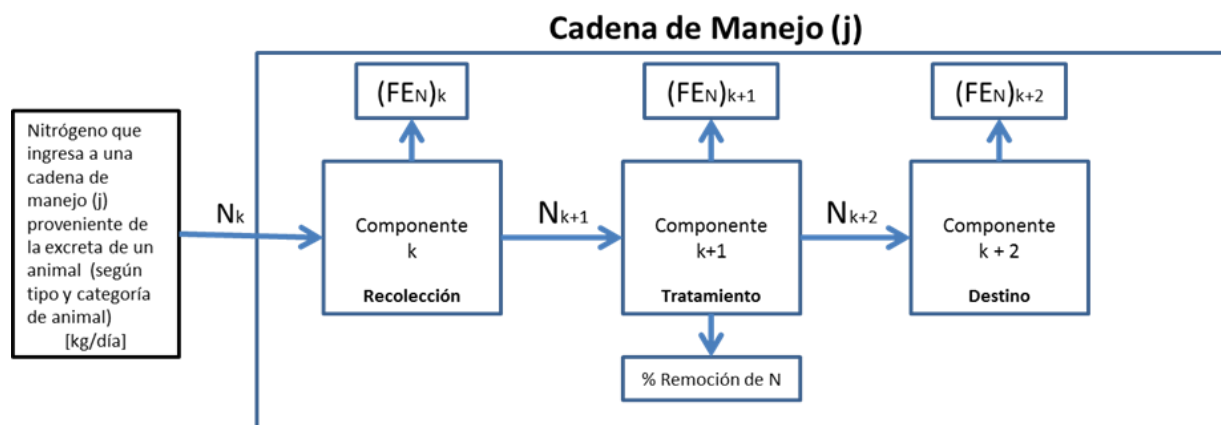
Para enfrentar las dos primeras incertidumbres la EPA realiza una revisión de los estudios disponibles con respecto a factores de emisión y como se puede ver en el Anexo D del documento "National Emission Inventory - Ammonia Emissions from Animal Husbandry Operations" a partir de los resultados obtiene un promedio.

Del modelo conceptual desarrollado para la fase de recolección de excretas, en particular para los métodos Slat-Flush y Slat-Pit se estima que los parámetros como altura de la pila de acumulación de excretas y el tiempo de residencia (tiempo entre limpiezas) son clave para el cálculo del factor de emisión y para identificar las diferencias entre estos dos sistemas. Se buscó la metodología de cálculo de los factores de emisión en las referencias de las cuales la EPA obtiene los factores de emisión a promediar. De cuatro publicaciones, dos se encuentran públicamente disponibles Andersson (1998) y Oosthoek et al. (Oosthoek et al., 1991). Oosthoek presenta los resultados de un experimento en el cual se calculan y comparan las emisiones de amoníaco asociadas a los métodos de recolección con pisos ranurados, llegando a la conclusión que, sin importar la frecuencia de limpieza, ni la altura de la pila de recolección, la emisión era prácticamente igual. Al analizar los sistemas Slat-Pit y Slat-Flush se concluye que ambos generan reducciones en la emisión de un 60 a 70% en relación al simple almacenaje bajo las ranuras (Oosthoek et al., 1991).

Una revisión internacional de emisiones de amoníaco asociadas a instalaciones de crianza de cerdos del Ministerio del Medio Ambiente de Dinamarca (Chowdhury, A., Rong, L., Feilberg, A., & Adamsen, 2014) analiza los factores de área superficial de emisión y profundidad de foso purinero. Se concluye que el factor más relevante es el área superficial de emisión, con una correlación despreciable entre profundidad de foso purinero y emisiones de amoníaco (Chowdhury, A., Rong, L., Feilberg, A., & Adamsen, 2014; Ni, 1999; Ni et al., 1999). Además se encontraron estudios de Dinamarca acerca de la frecuencia de limpieza de los fosos purineros para las diferentes técnicas de instalación y se llega a la conclusión que es despreciable el efecto de la frecuencia de remoción de los purines ya que, como la generación de excretas es constante por lo cual mantiene la superficie con excretas frescas que emiten amoníaco (Arogo et al., 2006; K. E. N. Jonassen, 2012; K. Jonassen & Lyngbye, 2010). Ni et al. (1999) aplica que la pobre correlación entre las emisiones de amoníaco y la profundidad de foso purinero probablemente se debe al mecanismo de transferencia de masa convectiva de NH_3 desde las excretas al aire, en la cual la superficie de liberación de amoníaco es directamente proporcional a la tasa de liberación (emisión) de amoníaco (Chowdhury, A., Rong, L., Feilberg, A., & Adamsen, 2014).

A partir de esto se generó un nuevo modelo conceptual más detallado, expuesto en la Figura 6-3, donde se identifican dos parámetros que generan pérdidas de nitrógeno; el factor de emisión asociado al componente; y la remoción ocurrida durante el tratamiento de la excreta. El valor entregado por la EPA es 71% (78% para el IPCC) de pérdida de nitrógeno en lagunas se refiere al nitrógeno total perdido, lo cual afectará la cantidad de nitrógeno que sale del componente para entrar en al siguiente proceso y consecuentemente tendrá un efecto sobre el cálculo de la eficiencia de reducción de la tecnología utilizada en esa etapa y las siguientes (al disminuir la cantidad de nitrógeno en el flujo se hace más difícil la remoción de este). El 40% identificado por IPCC y POCH corresponden a la parte de ese 71% que corresponde a amoníaco (y NO_x), por lo cual afectará en las cantidades correspondientes al inventario de amoníaco.

Figura 6-3 Modelo conceptual de la cadena de manejo de estiércol



$$N_{k+1} = N_k - \text{Lo emitido}_k$$

$$N_{k+2} = N_{k+1} - \text{Lo emitido}_{k+1} - \text{Lo removido}$$

$$\text{Lo emitido}_{k/k+1} = (FEN)_{k/k+1} \times N_{k/k+1}$$

$$\text{Lo removido} = (N_{k+1} - \text{Lo emitido}_{k+1}) \times (1 - \% \text{ Remoción de N})$$

Fuente: Elaboración propia

La tercera incertidumbre identificada, corresponde a la variabilidad por condiciones climáticas. Esto se considera menos relevante debido a que el inventario corresponde a la Región Metropolitana, la acotación del alcance geográfico iguala las condiciones climáticas de los sectores, facilitando la comparación de las estimaciones.

Considerando ambos enfoques de factores de emisión, nitrógeno liberado como amoníaco por cabeza y porcentaje de nitrógeno liberado en la cadena de manejo de excretas, se generan ecuaciones que permiten calcular el amoníaco total liberado a la atmósfera por la crianza ganadera.

Se define de antemano

i: tipo y categoría de animal

j: diferentes cadenas de manejo de excretas

k: componente particular de una cadena de manejo

Entonces, la emisión de amoníaco desde un componente (k), de una cadena de manejo (j), con un factor de emisión expresado como porcentaje de amoníaco liberado se calcula con la siguiente expresión (POCH, 2016):

$$NH_{3i,j,k} = N_{en\ flujo\ etapa\ k-1} \times FE_{j,k} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde,

$NH_{3i,j,k}$: Emisión de amoníaco para el componente (k) de la CME (j)
[kgNH₃/año]

$N_{en\ flujo\ etapa\ k-1}$: Nitrógeno restante en el flujo luego de pasar por la etapa k-i de la cadena de manejo del purín [kgN]

$FE_{j,k}$: Factor de emisión por componente (k) de la CMEj [% de volatilización de amoníaco]

En el caso de que el componente (k) de la cadena de manejo (j) cuente con una medida de reducción de emisiones, se debe incorporar esta reducción en el cálculo de la emisión de la siguiente forma:

$$NH_{3i,j,k} = N_{en\ flujo\ etapa\ k-1} \times FE_{j,k} \times (1 - ER_{j,k}) \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde,

$NH_{3i,j,k}$: Emisión de amoníaco para el componente (k) de la CME (j) [kgNH₃/año]

$N_{en\ flujo\ etapa\ k-1}$: Nitrógeno restante en el flujo luego de pasar por la etapa k-i de la cadena de manejo del purín [kgN]

$FE_{j,k}$: Factor de emisión por componente (k) de la CMEj [% de volatilización de amoníaco]

$ER_{j,k}$: Eficiencia de reducción de las emisiones de amoníaco para el componente (k) de la CME (j) [% de volatilización de amoníaco]

Cuando el factor de emisión es expresado como el porcentaje de nitrógeno perdido desde el componente (k) de la cadena de manejo (j) se utiliza la siguiente expresión (POCH, 2016):

$$NH_{3i,j,k} = N_{en\ flujo\ etapa\ k-1} \times FE_{j,k} \times \frac{17NH_3}{14N} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde,

$NH_{3i,j,k}$: Emisión de amoníaco para animales de categoría (i) desde el componente (k) de la CME (j) [kgNH₃/año]

$N_{en\ flujo\ etapa\ k-1}$: Nitrógeno restante en el flujo luego de pasar por la etapa k-1 de la cadena de manejo del purín [kgN]

$FE_{j,k}$: Factor de emisión por componente (k) de la CMEj [% de nitrógeno]

$\frac{17NH_3}{14N}$: Factor de conversión molar de nitrógeno volatilizado a emisión de nitrógeno amoniacal

A la vez, para calcular el nitrógeno restante en el flujo se debe llevar el porcentaje de amoníaco emitido a nitrógeno, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$N_{restante\ en\ el\ flujo} = N_{en\ flujo\ etapa\ k-1} \times FE_{j,k} \times \frac{14N}{17NH_3} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde,

$N_{restante\ en\ el\ flujo}$: Nitrógeno restante en el flujo de la cadena de manejo [kgN]

$N_{\text{en flujo etapa } k-1}$:	Nitrógeno en el flujo luego de pasar por la etapa k-1 de la cadena de manejo del purín [kgN]
$FE_{j,k}$:	Factor de emisión por componente (k) de la CMEj [% de nitrógeno volatilizado como amoníaco]
$\frac{14N}{17NH_3}$:	Factor de conversión molar de amoníaco volatilizado a emisión de nitrógeno

Finalmente, para calcular la emisión de una cadena de manejo de excretas j completa se deben sumar las emisiones de cada componente como muestra la siguiente ecuación (POCH, 2016):

$$\text{Emisión de Amonio}_{CME \text{ completa}} = \sum_k \sum_i NH_{3i,j,k} \quad \text{Ecuación 8}$$

En las secciones a continuación se presentan los factores de emisión de amoníaco encontrados en la bibliografía para cada etapa de la cadena de manejo.

6.3.1 Instalación/Pabellón

Al momento de identificar la cadena completa de manejo de excretas, se unifica la terminología, obteniendo las opciones de instalación o pabellón para porcinos y aves.

6.3.1.1 Sector Porcino

Para cerdos las opciones de tipo de pabellón son:

- 1- Cama caliente
- 2- Cemento
- 3- Slat-pit
- 4- Slat-flush

Adicionalmente se tienen factores de emisión para instalaciones con suelo inclinado o raspados.

Tabla 6-5 Factores de emisión para pabellones porcinos, según categorías

Categoría	Tipo de instalación	FE NH3 (kg/animal-año)	N° de Valores considerados	Fuente	Año
Engorda	Cama caliente	2,77	2	Arogo et al.	2006
		3,38	23	BD ELFE	2019
		4,50	6	European Comission	2017
		4,66	1	Greenlab Dictuc	2019
		0,96	1	POCH	2016
		3,51	33	Promedio	
	Cemento	2,41	3	European Comission	2017
		1,29	1	Greenlab Dictuc	2019
		1,29	1	POCH	2016
		1,96	5	Promedio	
	Raspador	1,65	1	European Comission	2017
		1,85	7	Arogo et al.	2006
	Slat-flush	2,08	1	EPA	2001
		1,32	7	European Comission	2017
		2,13	1	Greenlab Dictuc	2019
		0,71	2	POCH	2016
		2,70	1	Sistam Ingeniería	2013
		22%*			
		1,61	18	Promedio	
	Slat-pit	2,10	1	Aarnink et al.	1995
		2,75	23	Arogo et al.	2006
		2,66	63	BD ELFE	2019
		0,40	1	Chowdhury	2014
		2,76	2	EPA	2001
		1,82	18	European Comission	2017
		2,53	1	Greenlab Dictuc	2019
		3,03	3	Oosthoek et al.	1991
		3,40	1	Sistam Ingeniería	2013
		27%*			
		2,54	112	Promedio	
	Suelo inclinado	0,18	1	Chowdhury	2014
		1,22	3	European Comission	2017
		0,96	4	Promedio	
Reproductora	Cama caliente	2,35	1	Arogo et al.	2006
		3,03	2	BD ELFE	2019
		2,80	3	Promedio	
	Slat-pit	1,64	1	Arogo et al.	2006
		4,91	6	BD ELFE	2019
		4,10	1	Chowdhury	2014
		0,25	1	POCH	2016
		3,94	9	Promedio	

*El factor de emisión de amoniaco se presenta como porcentaje de nitrógeno volatilizado como amoniaco

Fuente: Elaboración propia

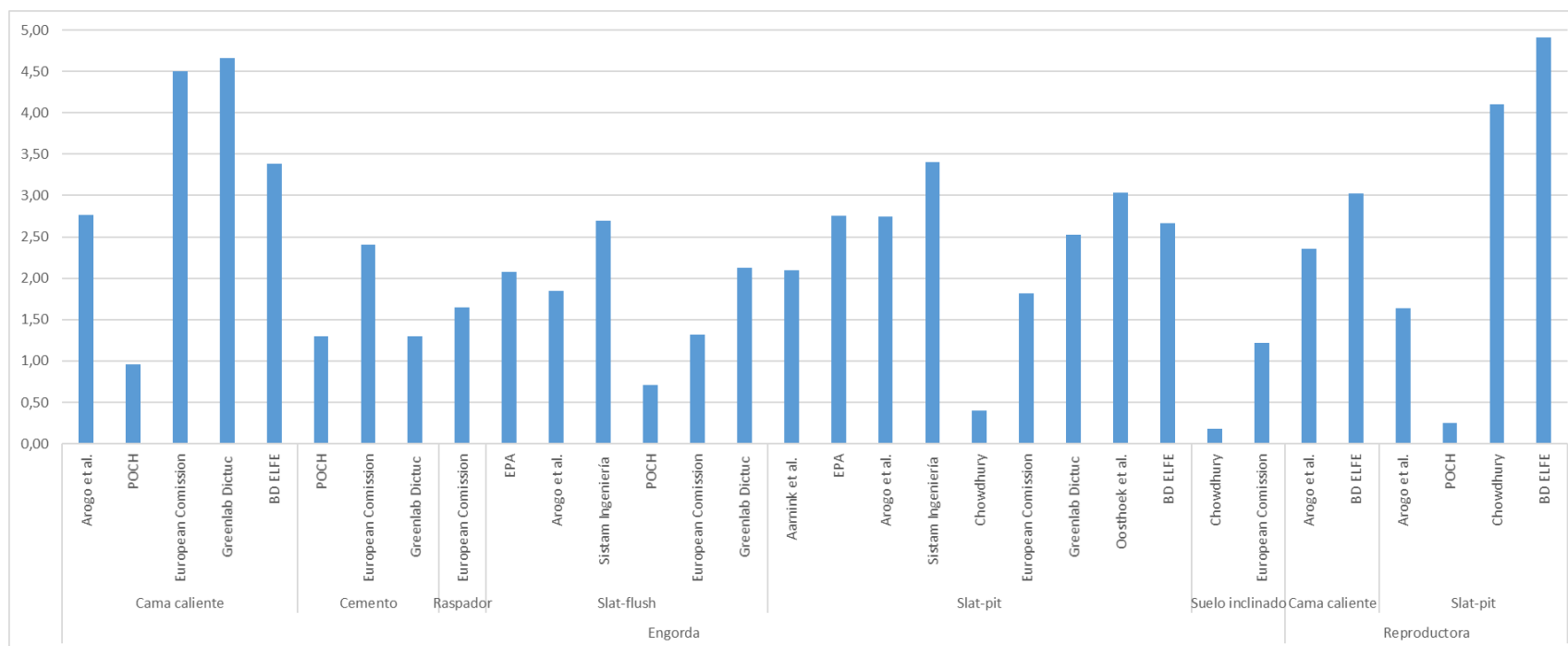


Figura 6-4 Factores de emisión para pabellones porcinos (kgNH3/animal/año), según categorías

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla y Figura anterior se puede apreciar que el tipo de pabellón más común en las mediciones es el tipo slat-pit, seguido por el pabellón del tipo cama caliente. La estrategia de cama caliente favorece la minimización de las emisiones de NH₃ (en la cadena completa, en instalación es más alta) ya que es una técnica de gestión de excretas en estado sólido, lo cual minimiza la transferencia entre fases y limita la volatilización de nitrógeno como amoníaco. El sistema slat pit, a su vez, consiste en una técnica que utiliza menor agua que slat flush, lo cual responde también a una minimización del uso de agua (por problemas de contaminación de aguas, generación de RILES, dificultad de disponibilidad de agua, entre otros). Siempre se debe tener en mente que la minimización de emisiones de amoníaco es sólo una meta más que se une a las metas ya existentes de un plantel, tanto para el diseño como para la operación. Algunas de estas metas, que quizás tengan mayor importancia para los productores, son calidad del producto a generar, minimización de costos, eficiencia de recursos, protección de los animales, etc.

Se considera importante la consistencia a lo largo del estudio, por lo cual, siguiendo las justificaciones presentadas en la sección anterior, se privilegia el uso de los valores recomendados por la EPA. Para los casos en los que no se cuente con un valor en la EPA, como cama caliente, cemento, raspador y suelo inclinado, se considera que la Comisión Europea presenta los valores con mayor respaldo y análisis.

6.3.1.2 Sector Aves

Para aves las opciones de tipo de pabellón son:

- 1- Cama caliente
- 2- Suelo
- 3- Jaula
- 4- Extracción automática

Tabla 6-6 Factores de emisión para pabellones de aves, según categorías

Categoría	Tipo de instalación	FE NH3 (kg/cabeza/año)	Número de valores considerados	Fuente	Año
Broiler engorda	Cama caliente	0,11	1	EPA	2001
		0,46	8	Arogo et al.	2006
		23%*	1	Sistam Ingeniería	2013
		0,14	1	POCH	2016
		0,13	15	BD ELFE	2019
		0,24	25	Promedio	
	Extracción automática	0,11	4	European Comission	2017
	General	0,10	1	EPA	2004
		0,21	6	European Comission	2017
		0,18	2	BD ELFE	2019
		0,19	9	Promedio	
	Jaula	0,20	1	European Comission	2017
	Raspador	20%*	1	Sistam Ingeniería	2013
	Suelo	0,31	3	European Comission	2017
Broiler reproductora	General	0,30	1	European Comission	2017
Ponedora	Cama caliente	0,49	2	Arogo et al.	2006
		0,28	4	BD ELFE	2019
		0,35	6	Promedio	
	Extracción automática	0,40	1	Arogo et al.	2006
		0,08	3	Wang et al.	2014
		0,14	1	POCH	2016
		0,03	4	BD ELFE	2019
		0,10	9	Promedio	
	General	0,16	9	BD ELFE	2019
	Jaula	0,14	2	EPA	2001
		0,67	6	Arogo et al.	2006
		0,08	1	MAGRAMA	2010
		0,40	1	POCH	2016
		0,13	2	European Comission	2017
		0,48	10	Promedio	
Pavo	Cama caliente	0,20	1	EPA	2001
		0,50	1	POCH	2016
		0,29	2	BD ELFE	2019
		0,32	4	Promedio	
	General	0,51	1	EPA	2004
		0,44	6	European Comission	2017
		0,45	7	Promedio	

*El factor de emisión de amoniaco se presenta como porcentaje de nitrógeno volatilizado como amoniaco
Fuente: Elaboración propia

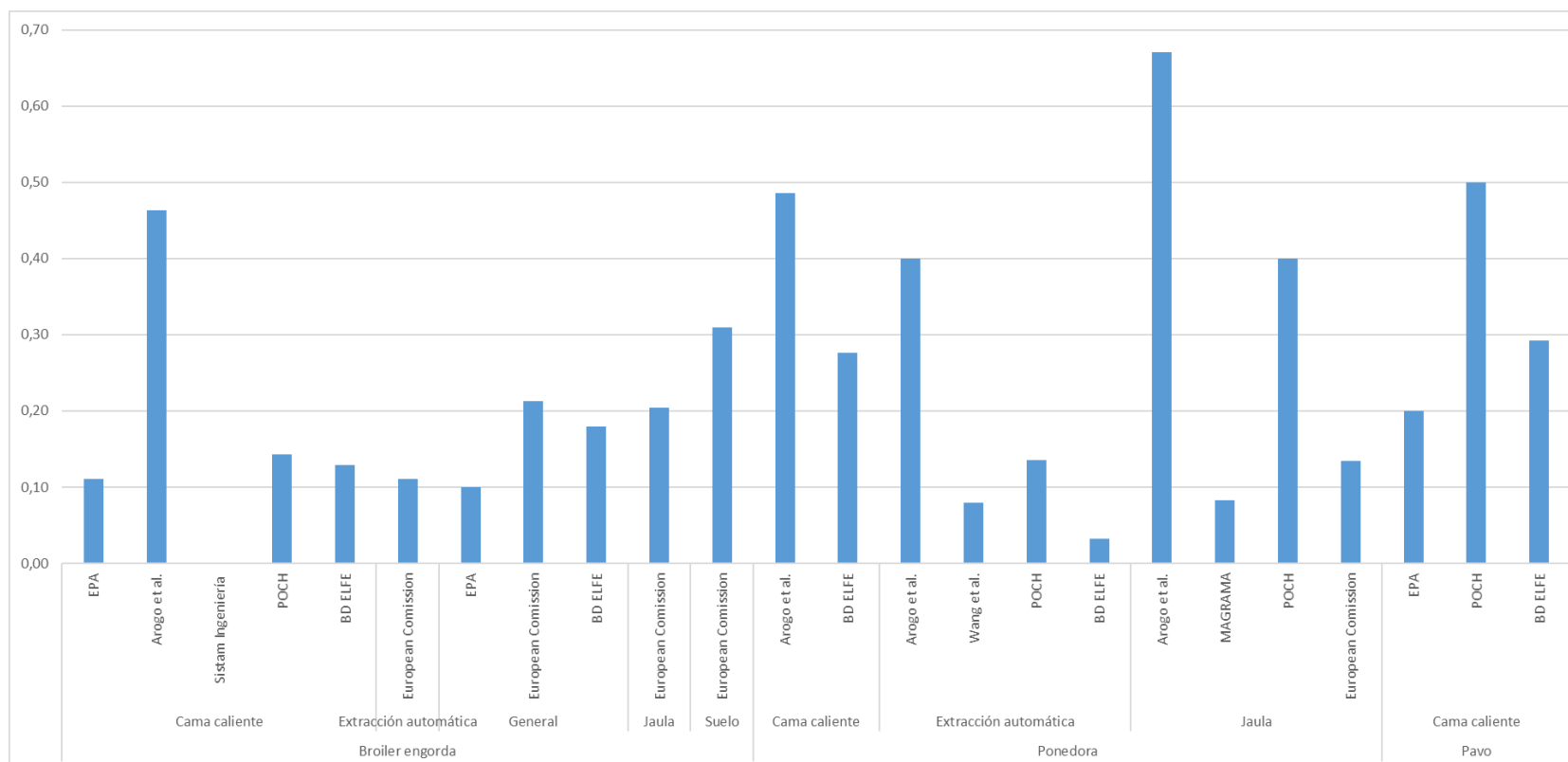


Figura 6-5 Factores de emisión para pabellones de aves (kgNH₃/animal/año), según categorías

Fuente: Elaboración propia

De la Figura 6-5 se puede apreciar que Arogo et al. (2006) presenta valores que se escapan un poco de los rangos generales de la bibliografía, se consideran valores extremos, no recomendados a utilizar en el contexto de la presente consultoría. Sin considerar esos valores, se obtienen rango bastante acotados.

Siguiendo con la consistencia del estudio completo, se privilegia el uso de los valores recomendados por la EPA y los valores de la Comisión Europea cuando la EPA con cuenta con recomendación.

6.3.2 Manejo/Gestión

Al momento de identificar la cadena completa de manejo de excretas, se unifica la terminología, obteniendo las opciones de instalación o pabellón para porcinos y aves.

6.3.2.1 Sector Porcino

Para cerdos las opciones de manejo/gestión son:

- 1- Pretratamiento
 - a. Pozo homogenizador
 - b. Separación de sólidos
- 2- Tratamiento:
 - a. Tratamiento aerobio: Lombrifiltro, Lodos Activados
 - b. Biodigestor
 - c. Nitrificación y desnitrificación
 - d. Compostaje
- 3- Acumulación
 - a. Acumulación sólida
 - b. Acumulación líquida
 - c. Laguna de acumulación de purín crudo
 - d. Laguna de acumulación de purín tratado

Tabla 6-7 Factores de emisión para manejo de purín, según categorías

Categoría	Tratamiento	Emisión NH ₃	Unidad de medida	Fuente	Año
Engorda	Separación de sólidos	0,00	kg/cabeza/año	POCH	2016
	Almacenamiento líquido	14%	TAN volatilizado	Hutchings et al	2015
		48%	Nitrógeno volatilizado como amoníaco	IPCC	2019
		0,92	kg/cabeza/año	BD ELFE	2019
	Almacenamiento líquido - con cubierta	10%	Nitrógeno volatilizado como amoníaco	IPCC	2019
	Almacenamiento sólido	20%	Amoníaco volatilizado	EPA	2004
		0,48	kg/cabeza/año	POCH	2016
		25%	Amoníaco volatilizado	Greenlab Dictuc	2019
		45%	TAN volatilizado	Hutchings et al	2015
		45%	Nitrógeno volatilizado como amoníaco	IPCC	2019
	Almacenamiento sólido - con cubierta	22%	Nitrógeno volatilizado como amoníaco	IPCC	2019
	Pozo de homogenización	6,6%	Amoníaco volatilizado	POCH	2016
	Biodigestor	0% (0-25% remoción de NH ₃)	Amoníaco volatilizado	Sistam Ingeniería	2013
			Amoníaco volatilizado	POCH	2016
	Digestor anaerobio	28%	Nitrógeno volatilizado como amoníaco	IPCC	2019
	Laguna	71%	kg/cabeza/año	EPA	2004
		6,30		POCH	2016
		0,96		POCH	2016
	Laguna anaeróbica	3,68	kg/cabeza/año	EPA	2001
		43%	Amoníaco volatilizado	Sistam Ingeniería	2013
		4,20	kg/cabeza/año	Greenlab Dictuc	2019
		40%	Amoníaco volatilizado	Greenlab Dictuc	2019
		40%	Nitrógeno volatilizado como amoníaco	IPCC	2019
	Tratamiento aeróbico	85%	Nitrógeno volatilizado como amoníaco	IPCC	2019
		50-70%	Amoníaco volatilizado	European Comission	2017
	Lodos activados	20%	Amoníaco volatilizado	Sistam Ingeniería	2013
		0,24	kg/cabeza/año	POCH	2016
	Nitrificación-denitrificación	41-68%	Amoníaco volatilizado	European Comission	2017
	Compostaje	63%	Nitrógeno volatilizado como amoníaco	IPCC	2019
Reproductora	Almacenamiento líquido	14%	TAN volatilizado	Hutchings et al	2015
		1,29	kg/cabeza/año	BD ELFE	2019
	Almacenamiento sólido	45%	TAN volatilizado	Hutchings et al	2015

Si bien el IPCC presenta este valor como emisión de NH₃ y NO₂, también considera que las emisiones de NO₂ son despreciables debido a la ausencia de oxidación en lagunas.

Fuente: Elaboración propia

Tomando en cuenta toda la información mencionada y la propuesta de consistencia a lo largo del estudio, se considera que los factores de emisión de la EPA (2004a) son los mejores. Para las tecnologías no evaluadas por la EPA, se revisó la recomendación del IPCC (Dong et al., 2006). Esta información permite esclarecer la diferencia entre el porcentaje de remoción de la EPA (2004a)

y POCH (2016) para lagunas (71% y 0,4 kg NH_3 /kg N respectivamente), ya que se presenta la fracción de nitrógeno perdido como NH_3 y NO_x .

Debido a la conceptualización del ciclo del nitrógeno en planteles de crianza de animales (ver Sección 4), se considera más apropiado el uso de porcentajes de volatilización de nitrógeno y amoníaco, ya que esto considera el nitrógeno restante en el flujo y no solo el número de animales. Por este motivo se recomienda el uso sólo de factores de emisión asociados como porcentaje de volatilización, considerando tanto la emisión de amoníaco (para la normativa de interés) como la de nitrógeno (para poder calcular correctamente el nitrógeno restante en el flujo). Adicionalmente, el uso de porcentajes vuelve irrelevante la diferenciación del purín según categoría, ya que, en esta etapa del proceso, se cuenta con un flujo homogéneo de excretas, es decir ya se juntaron las excretas de las diferentes categorías animales, por lo cual cualquier tratamiento es generalizado para el flujo completo.

Según las opciones de cadenas de manejo existentes en el país, a levantar al caracterizar el sector agroindustrial, se generará una propuesta específica de factor de emisión para cada componente, privilegiando valores recomendados de la EPA y buscando justificaciones adecuadas para cuando no se cuente con un valor de la EPA.

6.3.2.2 Sector Aves

Para aves las opciones de manejo son directamente almacenamiento, las emisiones asociadas a esta etapa se presentan a continuación.

Tabla 6-8 Factores de emisión para tratamiento/almacenamiento de excretas en crianza de aves

Categoría	Tratamiento	Emisión NH3	Unidad de Medida	Fuente	Año
Broiler engorda	Almacenaje abierto	0,01	kg/cabeza/año	EPA	2001
		8%	Amoniaco volatilizado	Sistam Ingeniería	2013
	Almacenaje cubierto	0,01	kg/cabeza/año	EPA	2001
		20%	Amoniaco volatilizado	Sistam Ingeniería	2013
	Almacenamiento	20%	Amoniaco volatilizado	POCH	2016
		0,02	kg/cabeza/año	BD ELFE	2019
Ponedora	Almacenamiento sólido	17%	TAN volatilizado	Hutchings et al	2015
		0,37	kg/cabeza/año	MAGRAMA	2010
		0,03	kg/cabeza/año	BD ELFE	2019
	Almacenamiento líquido	14%	TAN volatilizado	Hutchings et al	2015
	Almacenamiento sólido	14%	TAN volatilizado	Hutchings et al	2015
		0,03	kg/cabeza/año	BD ELFE	2019
Pavo	Almacenaje abierto	0,03	kg/cabeza/año	EPA	2001
	Almacenaje cubierto	0,03	kg/cabeza/año	EPA	2001
	Almacenamiento	0,06	kg/cabeza/año	BD ELFE	2019
	Almacenamiento sólido	24%	TAN volatilizado	Hutchings et al	2015
General	Almacenamiento líquido	40%		IPCC	2019
	Almacenamiento líquido - con cubierta	8%	Nitrógeno volatilizado como amoniaco	IPCC	2019
	Almacenamiento sólido	40%		IPCC	2019
	Almacenamiento sólido - con cubierta	20%		IPCC	2019
	Compostaje	63%		IPCC	2019

Fuente: Elaboración propia

Al analizar los factores de emisión asociados al almacenaje de excretas de aves se encuentran inconsistencias en los valores ya que estos varían en sus condiciones si el almacenamiento se encuentra cubierto o abierto o no se especifica. Adicionalmente, al momento de presentar las medidas de reducción de emisiones (ver Sección 7) se presentan porcentajes de reducción asociados a la incorporación de cubiertas en el almacenamiento de excretas.

Como la guía a generar busca entregar también alternativas de reducción de emisiones se recomienda el uso de factores de emisión, como porcentajes (por los motivos explicitados previamente), para almacenamiento sin cubiertas, de manera de poder evaluar independientemente la implementación de esta medida. Así, en el caso de que un plantel cuente con almacenamiento cubierto, se utilizará el factor de emisión de almacenaje descubierto, aplicando el porcentaje de reducción esperado según las características de la cubierta implementada.

Se recomienda, en particular, el uso del factor de emisión de POCH y Sistam ingeniería, para todas las categorías de aves, considerando que los porcentajes consideran volatilización, y no debiera existir mucha diferencia entre volatilización según categoría de animal.

Como para todas las categorías de factores de emisión se propone el análisis de escenarios máximos y mínimos para profundizar el análisis de los valores a utilizar y su potencial variabilidad.

6.3.3 Destino

Al momento de identificar la cadena completa de manejo de excretas, se unifica la terminología, obteniendo las opciones de instalación o pabellón para porcinos y aves.

- 1- Disposición sólida
 - a. Suelo agrícola
 - b. Alimento animal
- 2- Disposición líquida
 - a. Riego

6.3.3.1 Sector Porcino

Tabla 6-9 Factores de emisión para aplicación de purines, según categorías

Categoría	Tipo de aplicación	Emisión NH ₃	Unidad de Medida	Fuente	Año
Engorda	Aplicación líquida	5,84	kg/cabeza/año	EPA	2001
		22%	Amoniaco volatilizado		2004
		22%	Amoniaco volatilizado	Sistam Ingeniería	2013
		0,48	kg/cabeza/año	POCH	2016
		2,35	kg/cabeza/año	European Comission	2017
		40%	Amoniaco volatilizado	Hutchings et al	2015
		18%	Amoniaco volatilizado	EPA	2004

Reproductora	Aplicación sólida	18%	Amoniaco volatilizado	Sistam Ingeniería	2013
		0,46	kg/cabeza/año	POCH	2016
		81%	Amoniaco volatilizado	Hutchings et al	2015
	General	4,72	kg/cabeza/año	European Comission	2017
	Aplicación líquida	2,21	kg/cabeza/año	European Comission	2017
		29%	Amoniaco volatilizado	Hutchings et al	2015
	Aplicación sólida	3,30	kg/cabeza/año	European Comission	2017
		81%	Amoniaco volatilizado	Hutchings et al	2015
	General	4,71	kg/cabeza/año	European Comission	2017

Fuente: Elaboración propia

6.3.3.2 Sector Aves

Tabla 6-10 Factores de emisión para aplicación de excretas en crianza de aves

Categoría	Tipo de aplicación	Emisión NH3	Unidad de Medida	Fuente	Año
Broiler engorda	Aplicación	0,03	kg/cabeza/año	MAGRAMA	2010
	Aplicación líquida	42%	Amoniaco volatilizado	EPA	2004
	Aplicación sólida	0,10	kg/cabeza/año	EPA	2001
		7%	Amoniaco volatilizado		2004
		66%	TAN volatilizado	Hutchings et al	2015
	Aplicación a suelo	25%	Amoniaco volatilizado	EPA	2004
		16%	Amoniaco volatilizado	Sistam Ingeniería	2013
		19%	Amoniaco volatilizado	POCH	2016
Ponedora	Aplicación	0,03	kg/cabeza/año	MAGRAMA	2010
	Aplicación líquida	0,11	kg/cabeza/año	EPA	2001
		69%	TAN volatilizado	Hutchings et al	2015
	Aplicación sólida	0,11	kg/cabeza/año	EPA	2001
		69%	TAN volatilizado	Hutchings et al	2015
Pavo	Aplicación sólida	0,25	kg/cabeza/año	EPA	2001
		54%	TAN volatilizado	Hutchings et al	2015

Fuente: Elaboración propia

La recomendación del consultor con respecto a esta etapa de emisiones de la cadena de manejo de excretas de presenta en el ver Anexo 1 (ver Sección 10).

6.4 Discusión

Si bien existe una alta variabilidad en las fuentes y año de estimación, hay estudios que corresponden a casos de estudio específicos y otros que corresponden a recopilaciones de casos de estudios. Al observar las fuentes de los casos de estudio en sí se puede ver que los años de estimación son bastante parecidos, variando para cerdos entre mediados de los 90 a principios de los 2000, y para aves con mayor variabilidad con valores entre los años 90 y el 2014.

El presente estudio utilizará los valores recomendados por la EPA (2004a), ya que cuentan con validación internacional y es la fuente más utilizada por los diferentes estudios de estimaciones de emisiones asociadas a la Agroindustria chilena. Así también el valor de la EPA se encuentra cercano a los promedios para las diferentes alternativas de etapa de manejo y categoría de animal. Se considera importante la consistencia a lo largo del estudio, por lo cual, siguiendo las justificaciones presentadas, se privilegia el uso de los valores recomendados por la EPA. Para los casos en los que no se cuente con un valor en la EPA, se considera que la Comisión Europea presenta los valores con mayor respaldo y análisis.

Debido al ciclo del nitrógeno (ver Sección 4), se considera más apropiado el uso de porcentajes de volatilización de nitrógeno y amoníaco, ya que esto considera el nitrógeno restante en el flujo y no solo el número de animales. Por este motivo se recomienda el uso sólo de factores de emisión como porcentaje de volatilización, considerando tanto la emisión de amoníaco (para la normativa de interés) como la de nitrógeno (para poder calcular correctamente el nitrógeno restante en el flujo). Adicionalmente, el uso de porcentajes vuelve irrelevante la diferenciación del purín según categoría, ya que, en esta etapa del proceso, se cuenta con un flujo homogéneo de excretas, es decir ya se juntaron las excretas de las diferentes categorías animales, por lo cual cualquier tratamiento es generalizado para el flujo completo. Para las tecnologías no evaluadas por la EPA, se revisó la recomendación del IPCC (Dong et al., 2006; IPCC, 2019).

Finalmente los parámetros a utilizar para la estimación de las emisiones de amoníaco en planteles de crianza intensiva de cerdos y de aves son los que se presentan a continuación.

Tabla 6-11 Tasa de excreción de nitrógeno para cerdos y aves

Animal	Categoría	TNE (kg N/animal/año)	Fuente	Año
Cerdo	Engorda	12,6	EPA	2001
	Reproductor	17,4	EPA	2004
Gallina	Broiler engorda	0,4	EPA	2004
	Broiler reproductora	0,8	European Commission	2017
	Ponedora	0,5	EPA	2004
Pavo		1,8	EPA	2004

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-12 Factores de emisión a utilizar para instalación y manejo en planteles porcinos

Etapa		Alternativa	FE NH3	Unidad de Medida	Fuente	Año
Instalación		Cama caliente	4,50	Kg/cabeza/año	European Comission	2017
		Cemento	2,41		European Comission	2017
		Raspador	1,65		European Comission	2017
		Slat-flush	2,08		EPA	2001
		Slat-pit	2,76		EPA	2001
		Suelo inclinado	1,22		European Comission	2017
Manejo	Almacenamiento	Almacenaje sólido	45%	Nitrógeno volatilizado como amoniaco	IPCC	2019
		Almacenaje líquido	48%		IPCC	2019
		Laguna de acumulación de purín crudo o tratado	40%	TAN volatilizado	IPCC	2019
			71%		EPA	2004
	Pretratamiento	Pozo de homogenización	6,6%	Amoniaco volatilizado	POCH	2016
	Tratamiento	Biodigestor	0-25%		European Comission	2017
		Lodos activados	80%		European Comission	2017
		Lombrifiltro	65%		ASPROCER	2008
		Nitrificación - denitrificación	55%		European Comission	2017
		Compostaje	63%	Nitrógeno volatilizado como amoniaco	IPCC	2019

Nota: los factores de instalación son para cerdos de engorda, sin embargo se utiliza el supuesto de que son aplicables tanto para engorda como reproductora.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-13 Factores de emisión a utilizar para instalación y manejo en planteles de aves

Categoría	Alternativa	Etapa	FE NH3	Unidad de Medida	Fuente	Año
Broiler engorda	Instalación	Cama caliente	0,11	Kg/cabeza/año	EPA	2001
		Extracción automática	0,11		European Comission	2017
		Jaula	0,20			2017
		Suelo	0,31			2017
	Almacenamiento (abierto)		20%	Amoniaco volatilizado	Sistam Ingeniería/POCH	2016
Ponedora	Instalación	Cama caliente	0,49	Kg/cabeza/año	Arogo et al.	2006
		Extracción automática	0,08		Wang et al.	2014
		Jaula	0,14		EPA	2001
	Almacenamiento (abierto)		14%	TAN volatilizado	Hutchings et al	2015
Pavo	Instalación	Cama caliente	0,20	Kg/cabeza/año	EPA	2001
		General	0,51		EPA	2004
	Almacenamiento (abierto)		24%	TAN volatilizado	Hutchings et al	2015
General	Compostaje		63%	Nitrógeno volatilizado como amoniaco	IPCC	2019

Fuente: Elaboración propia

Se destaca que las fuentes de la EPA, así como la IPCC y la Comisión Europea son instituciones que generan recomendaciones de valores de uso, a partir de la recopilación de estudios aplicados. Los estudios nacionales de Sistam Ingeniería (2014, p. 36) y POCH (2016, p. 113) presentan a la EPA (2004b) como fuente para la metodología de estimación de emisiones (*bottom up* para Sistam Ingeniería) y para los factores de emisión a utilizar. POCH (2016, sec. 5.2.1), sin embargo, presenta factores de emisión como $\text{kgNH}_3\text{-N/kgN}$. En ambos casos se presentan los resultados finales sin los cálculos del paso a paso, por lo cual no se encuentra diferencia aparente para los factores de emisión a utilizar en el presente estudio.

En la Tabla 6-13 se presentan factores de emisión como kg/cabeza-año , amoníaco volatilizado, nitrógeno volatilizado como volatilizado, y TAN volatilizado, TAN se refiere a el nitrógeno amoníaco total. Se destaca que, en el caso de amoníaco volatilizado, kg/cabeza-año y TAN volatilizado, corresponden a emisiones de amoníaco directamente, no es el caso para el nitrógeno volatilizado como amoníaco, ya que se debe transformar a amoníaco por medio del peso molecular del compuesto.

Se recomienda no considerar la etapa de aplicación en la estimación de emisiones de amoníaco para planteles de cerdos y aves ya que se considera que dicha emisión es atribuible a la agricultura que utilice las excretas como abono (ver Anexo 10 de recomendación del consultor).

7. Mecanismos y medidas de reducción de emisiones de Amoníaco (NH₃)

Para la realización de la presente actividad se realiza una recopilación de alternativas para la reducción de emisiones de amoníaco, partiendo por la información disponible en el estudio realizado por el equipo consultor “Análisis crítico AGIES y Anteproyecto PPDA RM Sector cerdos y aves” (GreenLab UC, 2016). Esta información se complementa con los siguientes documentos:

- Apoyo en el proceso de levantamiento de antecedentes técnicos para el proceso de elaboración de norma de emisión de olores de planteles porcinos en Chile (DICTUC, 2019)
- Antecedentes Técnicos para la Elaboración de la Norma de Emisión de Olores para la Crianza Intensiva de Animales (2019) The Synergy Group SpA.
- Best Available Techniques (BAT) (Germán et al., 2017)
- Revisión Técnica Artículos Anteproyecto del PPDA-RM Relacionados con Control de Emisión de Amoníaco (NH₃) (Jaime Illanes y Asociados, 2016)
- Generación de Antecedentes Técnicos y Económicos para la Elaboración de Medidas para la Reducción de Emisiones en el Sector Agropecuario, en el marco del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA) para la Región Metropolitana de Santiago (POCH, 2016)
- Best Available Techniques (BAT) (European Commission, 2015a)
- Generación de antecedentes para la elaboración de una regulación para el control y prevención de olores en Chile (Aqualogy, 2014)
- Guía de Mejores Técnicas Disponibles del Sector Porcino, (MAGRAMA, 2010c)
- Guía de Mejores Técnicas Disponibles del Sector Avicultura Carne (MAGRAMA, 2010b)
- Guía de Mejores Técnicas Disponibles del Sector Avicultura Puesta (MAGRAMA, 2010a)
- Alternativas para el manejo de purines (ASPROCER, 2008)
- Directrices para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Volumen 4 , Capítulo 10: Emisiones resultantes de la gestión del ganado y del estiércol (Dong et al., 2006)
- National Emission Inventory—Ammonia Emissions from Animal Husbandry Operations, (EPA, 2004a)
- Horizontal Guidance for Odour. Part 2 - Assessment and Control (Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) & Scottish Environment Protection Agency (SEPA), 2002)
- Emissions From Animal Feeding Operations (EPA, 2001)
- También se revisará la información disponible de ciertas instituciones u organizaciones nacionales como internacionales tales como:
 - **EPA**, La Agencia de Protección del Medio Ambiente, una agencia del gobierno de Estados Unidos encargada de proteger la salud humana y proteger el medio ambiente, mediante el documento “Important Information Concerning the Menu of Control Measures” y “Air Control Net”. (E.H. Pechan & Associates, 2006; EPA, 2013)
 - **IISA**, “International Institute for Applied Systems Analysis”, una organización científica de investigación localizada en Luxemburgo, Austria, mediante el

documento “Policy Scenarios for the Revision of the Thematic Strategy on Air Pollution”(IIASA, 2013)

A partir de la revisión bibliográfica se genera un listado con todas las medidas consideradas en este estudio, siguiendo el siguiente formato:

- Nombre
- Etapa en la cual se aplica
- Descripción
- Eficiencia
- Condiciones de aplicabilidad
- Beneficios Adicionales
- Costos
- Supuestos relevantes

Las secciones a continuación presentan la descripción y caracterización de las diferentes alternativas de medidas para la reducción de emisiones de amoníaco. Se adjunta BD en proceso con las medidas identificadas en detalle.

7.1 Identificación de Medidas de Reducción de Emisiones Potenciales a ser aplicadas - Sector Porcino

7.1.1 Medidas a aplicar en la etapa de Pabellón

7.1.1.1 Biofiltro en pabellones

Descripción

El biofiltro consiste en un sistema aerobio con bacterias que viven en el filtro y que procesan las partículas de aire degradando el amoníaco sin adicionar químicos. Los microorganismos contenidos en el lecho del biofiltro asimilan o degradan los compuestos orgánicos volátiles a CO₂ y agua (Jaime Illanes y Asociados, 2016). Los biofiltros se ubican en los pabellones. Esta medida está evaluada en POCH (2016), en el informe de la EPA (2001) y en la guía de Mejores Técnicas Disponibles (BAT) de la Comisión Europea (2015a).

Se destaca que el biofiltro sólo reduce el amoníaco del aire, es decir el amoníaco que se volatiliza. De acuerdo a POCH (2016), en un pabellón estanco (completamente cerrado), el 100% del aire pasa por el biofiltro, reduciendo entre 70 a 90% las emisiones de amoníaco. En un pabellón abierto (con ventilación mediante cortinas), POCH (2016) considera que sólo trata un 50% del aire del pabellón, reduciendo un 70% las emisiones de amoníaco.

La Comisión Europea (2015a) reporta eficiencias de reducción entre 70% y 89%, pero no está claro si la eficiencia de remoción puede permanecer alta en el tiempo debido a efectos secundarios que afectan el rendimiento del filtro (cambios en pH, actividad microbiana y formación de sales). Varios estudios piloto, principalmente con operaciones de cerdos, han

mostrado que los biofiltros pueden reducir las emisiones de amoníaco entre 50 y 80% (EPA, 2001).

El uso de biofiltros podría generar un efluente líquido con alto contenido de nitrógeno. POCH (2016) menciona la generación de efluente alto en nitrógeno pero no lo valoriza, la Comisión Europea (European Commission, 2015a) dice que no existe un efluente acuoso. Por otra parte, Illanes (Jaime Illanes y Asociados, 2016) indica que se genera una nueva corriente de efluente líquido que contendrá amoníaco.

Tabla 7-1 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco para medida biofiltro en pabellones de cerdos

Tipo de pabellón	Eficiencia	Fuente
Pabellón cerrado	70-90%	POCH, 2016
Pabellón abierto	70%	POCH, 2016
S.I.	70-89%	European Comission, 2015
S.I.	50-80%	EPA, 2001
Eficiencia promedio	74%	

Fuente: Elaboración propia

Aplicabilidad

La medida es aplicable a planteles de cerdos y aves donde los animales están confinados en pabellones. Pueden instalarse en pabellones abiertos con ventilación por cortinas, o en pabellones estancos. Requiere de la implementación de un sistema de conducción de aire dentro del pabellón con el fin de conducir el aire hacia los biofiltros (POCH, 2016), incluyendo, en algunos casos, requerimientos de mejoras en infraestructura asociada a la aislación de los pabellones de la atmósfera (Jaime Illanes y Asociados, 2016).

Requiere además de consumos de energía eléctrica y agua adicionales. Un pabellón estanco tiene otros requerimientos adicionales, como por ejemplo sistemas de aireación dentro de los pabellones, los que a su vez requieren grupos electrógenos para su funcionamiento continuo en caso de cortes de luz (POCH, 2016).

En Alemania no se recomienda el uso de biofiltros para reducción de amoníaco, pero al mismo tiempo se reconoce que puede operarse un biofiltro para abatir amoníaco bajo ciertas condiciones (como combinación con una cortina de agua) y una operación cuidadosa (European Commission, 2015a). La Comisión Europea plantea explícitamente que los biofiltros son aplicables sólo para instalaciones con sistema centralizado de ventilación (European Commission, 2015a).

Tiene un alto requerimiento de espacio, se estima que se requiere entre 0,2 y 0,25 m² de filtro por animal (European Commission, 2015a) y si se considera que en un pabellón de cerdos de

engorda se requiere entre 0,85 y 0,90 m²/animal¹ sería un aumento de hasta un 25% en espacio sólo para el biofiltro.

Pueden existir problemas en la operación del sistema por efectos secundarios, como la disminución del pH y la formación de sales que bloquean el filtro.

Los biofiltros no están limitados por el flujo a ser procesado, ya que esto sólo incide en el tamaño del equipo y la cantidad de agua requerida. Sin embargo, no son capaces de tratar corrientes muy concentradas de COV. El sistema no es capaz de tratar altas concentraciones de amoníaco, ya que la actividad microbiana está influenciada por el pH, el que al bajar, lleva a la formación de sales que no son posibles de remover, lo que finalmente pone en riesgo el sistema completo, generando gases trazas como óxido nitroso (N₂O), gas de efecto invernadero de larga vida en la atmósfera (Jaime Illanes y Asociados, 2016).

Los biofiltros funcionan en forma apropiada si (Jaime Illanes y Asociados, 2016):

- Los contaminantes a tratar son solubles en agua y biodegradables.
- El tiempo de residencia de los gases a tratar es lo suficientemente largo para que los contaminantes sean separados y degradados por los microorganismos sin que se acumulen productos de la reacción en el sustrato del biofiltro.
- Las condiciones operativas deben garantizar una alimentación de oxígeno, agua y nutrientes para los microorganismos a temperaturas de 10 a 35°C.

Por otra parte, en el informe de la EPA (2001), se indica que hay pocos casos reportados en que los biofiltros han sido económicamente viables en operaciones de alimentación de animales.

La medida genera beneficios adicionales como la reducción de olores (al retener y reducir compuestos volátiles) y polvo (POCH, 2016).

Limitantes

El sistema no se puede usar como único proceso de reducción de amoníaco cuando hay una gran carga de este. El amoníaco baja el pH del biofiltro y se forman sales, además se generan gases secundarios que pueden impactar el sistema.

El rendimiento es afectado por condiciones ambientales y variaciones en las concentraciones de contaminante. Pueden producir óxido nitroso, y el filtro debe ser reemplazado periódicamente, siendo este un residuo (EPA, 2001).

7.1.1.2 Mejora a pisos, cambio de piso de cemento a slat (flush o pit)

Descripción

¹ Información proporcionada por ASPROCER.

Los pabellones de cerdos pueden tener pisos de cemento en los que se acumula el purín, o slat (pisos ranurados) dónde el purín cae por las ranuras hacia un piso por debajo de los pabellones, en el que se evacua de acuerdo a los sistemas de manejo de flush o pit (POCH, 2016).

La implementación de pisos tipo slat permite una reducción de un 40% de las emisiones de amoníaco respecto a un piso de cemento (POCH, 2016).

Tabla 7-2 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco para medida cambio de piso de cemento a slat en pabellones de cerdos

Eficiencia	Fuente
40%	European Commission, 2015

Fuente: Elaboración propia

Aplicabilidad

Esta medida es aplicable a nuevas instalaciones o pabellones debido a la dificultad de cambiar los pisos en pabellones ya construidos (POCH, 2016).

7.1.1.3 Mejora a sistemas Slat-Pit, implementación de foso en forma de V

Descripción

La medida a continuación implica colocar debajo del suelo ranurado rampas en forma de V para la entrada del purín al foso de acumulación, disminuyendo el área de contacto del purín con el aire y por consecuencia, disminuye las emisiones de amoníaco. Esta medida está evaluada en la guía de Mejores Técnicas Disponibles (BAT) de la Comisión Europea (2015a) y en la Guía de Mejores Técnicas Disponibles del sector porcino de MAGRAMA (2010c).

Esta medida genera una reducción estimada de entre un 10 a 30% de las emisiones de amoníaco respecto a un sistema slat completamente ranurado. Adicionalmente reduce en un 50% las emisiones de metano (MAGRAMA, 2010c).

Según la Comisión Europea (European Commission, 2015a) la emisión atribuida a la etapa de pabellón para sistemas Slat-Pit varía según el grado de ranurado del piso (puede ser completamente ranurado (CR) o parcialmente ranurado (PR)) y el material de las ranuras (concreto o metal), por lo que las eficiencias de remoción cambian. Para un suelo parcialmente ranurado y con una o dos paredes en pendiente en el foso, se puede alcanzar una reducción de amoníaco de hasta 65%, en comparación con un suelo completamente ranurado con foso.

Puede ocurrir retención de estiércol si las paredes no son lisas y no tienen el ángulo de inclinación correcto, aumentando las emisiones (European Commission, 2015a).

Tabla 7-3 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco para medida implementación de foso en forma de V en pabellones de cerdos

Tipo de pabellón	Eficiencia	Fuente
Pabellón cerrado	10-30%	MAGRAMA, 2010c
Pabellón abierto	65%	European Commission, 2015
Eficiencia promedio	43%	

Fuente: Elaboración propia

Aplicabilidad

Tiene limitaciones en la implementación ya que en instalaciones existentes requeriría reformas estructurales, pero una vez instalada su régimen de funcionamiento es similar al del sistema de referencia.

La medida genera beneficios adicionales como la reducción de olores, reducción de emisiones de metano y además facilita la limpieza de los fosos por lo que se reduce el consumo de agua y el volumen de los purines (la concentración es mayor para el posterior proceso de tratamiento).

Limitaciones

Para su buen funcionamiento, el sistema no debe trabajar en continuo (colector abierto) ya que las heces, una vez separadas de la orina, se adhieren fuertemente a las paredes de foso y se dificultan las tareas de limpieza, aumentando los consumos de agua (MAGRAMA, 2010c).

7.1.1.4 Cambio de sistema Slat-Pit a Cama caliente

Descripción

Esta medida significa la implementación a las instalaciones de sistemas de camas calientes con limpieza semanal y renovación del lecho.

Esta medida genera una reducción estimada de entre un 20-30% de las emisiones de amoníaco respecto a un sistema slat-pit completamente ranurado en el alojamiento de cerdos de crianza. Sin embargo, las emisiones de óxido nítrico se incrementan notablemente. Por otra parte, en el alojamiento de cerdas gestantes, las emisiones disminuyen en un 14% respecto al sistema de referencia (sistema slat-pit de suelo de hormigón completamente ranurado, ventilación forzada, cerdas en jaulas individuales o sueltas) mientras que las emisiones de amoníaco disminuyen en un 66% (MAGRAMA, 2010c).

Si la paja no se maneja correctamente la eficacia medioambiental disminuye, pudiendo incluso incrementarse las emisiones de amoníaco con respecto a la técnica de referencia.

Tabla 7-4 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco para medida cambio de sistema Slat-Pit a Cama caliente en pabellones de cerdos

Tipo de pabellón	Eficiencia	Fuente
Cerdos de crianza	20-30%	MAGRAMA, 2010c
Cerdos reproductores	66%	European Commission, 2015
Eficiencia promedio	46%	

Fuente: Elaboración propia

Aplicabilidad

Es aplicable para instalaciones nuevas. Requiere reformas estructurales en instalaciones existentes, lo que limita su aplicación. Es importante notar que genera un alto incremento de mano de obra al requerir la remoción semanal del lecho del pabellón.

Esta medida presenta beneficios adicionales como la reducción de olores y el manejo del purín en estado sólido.

Limitaciones

Tiene limitaciones en la implementación ya que complica el manejo de los animales durante la instalación.

La utilización por los cerdos de las dos áreas funcionales (zona limpia y zona sucia) puede alterarse si el diseño del alojamiento no es el adecuado o si la temperatura interior es elevada. Esto puede representar un problema importante en zonas cálidas.

7.1.1.5 Cambio de sistema Slat-Pit a Slat-Flush

Descripción

Consiste en el mejoramiento del sistema de recolección de las excretas mediante el sistema flush. La eliminación del slurry se realiza una o dos veces al día abriendo una compuerta y enjuagando el contenido de los canales colectores debajo de los pisos de rejilla con la fracción líquida del slurry después de la separación mecánica (materia seca inferior a aproximadamente 5%). La fracción líquida del slurry también se puede airear antes de lavar.

La reducción de la superficie de slurry emisora, la remoción frecuente del slurry y el drenaje continuo de la orina contribuyen a reducir las emisiones de amoníaco. Esta medida está evaluada en la guía de Mejores Técnicas Disponibles (BAT) de la Comisión Europea (2015a).

La reducción de emisiones al implementar un sistema flush depende del tipo de sistema, variando de acuerdo al tipo de piso (completa o parcialmente ranurado) y si hay aireación previa del slurry. Las diferentes eficiencias de reducción de amoníaco, respecto a un sistema Slat-Pit completamente ranurado, se presentan en la siguiente tabla (European Commission, 2015a).

Tabla 7-5 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco para medida cambio de Slat-Pit a Slat-Flush en pabellones de cerdos

Tipo de sistema	Eficiencia	Fuente
Piso completamente ranurado, slurry no aireado	30%	European Comission, 2015
Piso completamente ranurado, slurry aireado	50%	European Comission, 2015
Piso parcialmente ranurado, slurry no aireado	50%	European Comission, 2015
Piso parcialmente ranurado, slurry aireado	60%	European Comission, 2015
Eficiencia promedio	48%	

Fuente: Elaboración propia

Para la comisión europea se pueden disminuir las emisiones de amoníaco mediante la implementación de pendientes a los pozos de recolección del sistema slat. Además, la calidad del líquido para flushing influencia la eficiencia del sistema, ya que la urea facilita la volatilización del amoníaco. El uso de agua limpia para flushing reduce las emisiones de metano.

Aplicabilidad

Es aplicable a pabellones de cerdos con el sistema Slat-Pit para la recolección de excretas. En instalaciones existentes la aplicabilidad depende del diseño del pozo existente. Las adaptaciones son menores si la instalación ya cuenta con un canal de estiércol. En el caso de que la instalación tenga un piso completamente ranurado con pozo profundo, se necesitan adaptaciones mayores. La implementación en instalaciones existentes puede ser posible pero costosa para desagües, no implementable para tuberías y posible con pequeñas adaptaciones de construcción para canales con una capa permanente de estiércol líquido (European Commission, 2015a).

Se debe considerar que en la operación se generan aumentos en el consumo del agua y por consecuencia en el volumen del purín. Además, los requerimientos energéticos varían, especialmente en combinación con aireación del slurry.

Esta medida presenta beneficios adicionales ya que si el agua a utilizar es fresca, es decir no hay recirculación, se genera una reducción en las emisiones de metano (European Commission, 2015a).

Limitaciones

Peaks de olor pueden causar problemas cuando hay receptores cercanos a la instalación. Al limpiar con agua se evitan estos peaks de olores. Sin embargo, el agua disuelve el slurry y aumenta el volumen producido por unidad, por lo que aumenta la capacidad mínima de almacenamiento requerida.

La eliminación de purines mediante lavado frecuente no se considera apropiada en Suecia porque podría aumentar la concentración de sulfuro en los pabellones.

7.1.1.6 Extracción automática de purín desde pabellones

Descripción

La extracción automática de purín para pabellones de cerdos consiste en el sistema scraper. Este es un sistema automático de raspado del suelo para recolectar todas las excretas, de manera recurrente. Esto permite reducir las emisiones ya que continuamente recoge las excretas y disminuye el área de emisión desde el pabellón completo a una fosa de recolección (DIMSER S.A.C., n.d.)².

De acuerdo a la Comisión Europea (2015a), el sistema estándar de raspador plano no tiene efectos positivos en las emisiones de NH₃, en cambio el sistema de raspador en forma de V, sí.

La guía de las Mejores Técnicas Disponibles (European Commission, 2015a) plantea que la extracción automática de purín permite una eficiencia de reducción de emisiones de amoníaco de entre 40 y 50%. La eficiencia depende del tipo de suelo y a la categoría de cerdo, de acuerdo a lo presentado en la siguiente tabla.

Tabla 7-6 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco para medida extracción automática de purín en pabellones de cerdos

Categoría	Tipo de sistema	Eficiencia	Fuente
General	Sistema slat, piso parcialmente ranurado, de concreto	40%	European Comission, 2015
General	Sistema slat, piso parcialmente ranurado, de metal	50%	European Comission, 2015
Reproductores	Sistema slat, piso completamente ranurado, de concreto	15-40%	European Comission, 2015
Reproductores	Sistema slat, piso completamente ranurado, de metal	50%	European Comission, 2015
Eficiencia promedio		42%	

Fuente: Elaboración propia

Aplicabilidad

Es aplicable a pabellones de cerdos con cualquier sistema de recolección de excretas (aunque debe evaluarse caso a caso).

Pueden ser aplicados en nuevas instalaciones. Es más difícil aplicarlo en instalaciones existentes, ya que el costo va a ser igual a la construcción de nuevas instalaciones. En instalaciones existentes, la aplicabilidad depende del diseño del pozo existente y de la construcción del edificio. Se deben tener en cuenta aspectos sanitarios ya que el scraper va a través de varias piezas con diferentes categorías de animales (European Commission, 2015a).

Una ventaja de esta técnica es la separación directa de la orina con la parte sólida del estiércol.

² <http://www.dimsersac.com/recojodeguano.html>

Por otra parte, la operación del scraper requiere de energía, la que depende de la frecuencia de remoción. También requiere de mantención frecuente, aumentando la necesidad de mano de obra.

7.1.1.7 Acidificación de las excretas

Descripción

Esta medida se refiere a la acidificación de las excretas de manera de inhibir la volatilización del amoníaco (se forma sulfato de amonio) (Chowdhury, A., Rong, L., Feilberg, A., & Adamsen, 2014; European Commission, 2015a). Se logra mayor retención de nitrógeno en la excreta y como consecuencia un fertilizante más rico y de mayor valor nutricional. De manera adicional genera una reducción en la emisión de metano debido a la inhibición de las bacterias metanogénicas. La excreta no tratada generalmente tiene un pH de 6,5 a 8, para la acidificación se requiere mantener un pH bajo 6. El pH a alcanzar depende de cuando se aplique a suelo la excreta como fertilizante: un pH de 6 requiere aplicación dentro de 24 hrs, un pH de 5,5 permite aplicación de entre 21-90 días. Para alcanzar un pH de 5,5 en general se requieren 2,5-3 litros de ácido sulfúrico/ton de excretas (European Commission, 2015a). De acuerdo a la EPA (2001), a un pH menor a 4,5 todo el amoníaco existe como no volátil.

La siguiente tabla expone la eficiencia de reducción según el tipo de instalación (recolección de excretas)

Tabla 7-7 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco para medida modificación del pH de las excretas en pabellones de cerdos

Tipo de sistema	Eficiencia	Fuente
Piso completamente ranurado	75%	European Commission, 2015
Piso parcialmente ranurado	80%	European Commission, 2015
Sistema Flush	70%	EPA, 2001
Eficiencia promedio	75%	

Fuente: Elaboración propia

La aplicación de la medida es en el pabellón y para asegurar la acidificación de las excretas desde el foso receptor del purín crudo el lavado del foso se debe realizar con agua acidificada (se recomienda utilizar líquido reciclado del tanque en el cual se mezcle el purín con el ácido). Esta acidificación se mantiene durante todo el proceso, hasta la aplicación, por lo tanto, genera reducción de emisiones en todos los procesos posteriores al pabellón.

Aplicabilidad

Esta medida es aplicable a planteles de cerdos y aves, sin importar el número de animales. El pabellón debe contar con sistema Slat, ya sea Slat-Pit o Slat-Flush y el agua a utilizar para el lavado o para el espejo de agua (en el caso de Slat-Pit) debe estar acidificada, de manera de generar la reducción esperada en la etapa pabellón.

No se puede contar en la CME con biodigestores, sistemas de tratamiento aeróbico o cualquier otro sistema adicional, ya que la acidificación inhibirá e incluso matará organismos vivos.

Por otra parte, la EPA (2001) indica que la acidificación es usada extensamente para reducir las emisiones de amoníaco durante el inicio del ciclo de crecimiento de broilers y pavos para reducir problemas respiratorios y de ceguera. También es aplicable a la recolección de estiércol en sistemas flush de alojamientos porcinos.

Genera beneficios adicionales como la reducción de las emisiones de metano y el aumento de la calidad del purín final como fertilizante (mayor contenido de nitrógeno). Posiblemente puede disminuir las emisiones de óxido nitroso (N_2O).

Limitaciones

La Comisión Europea (2015a). presenta las siguientes limitantes al usar esta medida:

- Es complejo el manejo de ácido sulfúrico, además se requiere de un tanque adicional para guardar el ácido (se necesita el espacio para el contenedor)
- Esta medida es relativamente nueva, no se han estudiado a detalle los efectos del ácido sobre el suelo a fertilizar, se recomiendan estudios caso específicos
- En plantas con generación de biogás puede inhibir las bacterias metanogénicas
- La acidificación del slurry produce cambios en los olores. Pueden surgir peaks de olores.

También, de acuerdo a la EPA (2001), el uso de ácidos puede no ser económico debido a que se necesitan sistemas sofisticados de aplicación debido a que los productos son peligrosos y corrosivos. Aunque el uso de sales de precipitación de bases es menos costoso y peligroso que los agentes acidificantes, la reducción del pH del slurry es más transitoria y se requerirían aplicaciones más frecuentes para mantener un pH bajo.

7.1.1.8 Absorción de gas en alojamientos

Descripción

La operación de un absorbedor de gases para remover principalmente amoníaco y sulfuro de hidrógeno es muy similar al de un scrubber húmedo usado para remover MP. Sin embargo, el mecanismo para remover componentes gaseosos difiere.

El aire del edificio es recolectado y pasado a través de una torre cerrada con el medio de absorción (ej: solución cáustica) fluyendo contra la corriente de aire que entra. Los gases en la corriente de aire se difunden y son absorbidos por el medio.

Aunque el agua se utiliza como medio de lavado en muchas aplicaciones, la absorción de los gases se puede mejorar mediante reacciones químicas entre los gases objetivo y el medio absorbente, como el uso de una solución cáustica para eliminar los gases ácidos (EPA, 2001).

Un estudio de la Universidad de Minnesota (1999) reportó reducciones de amoníaco en una pared de lavado en una instalación de cerdos de hasta 53%. Una pared de lavado es una cortina de agua utilizada para remover MP a medida que el aire pasa a través de ella, usando el mismo mecanismo de remoción que un scrubber húmedo (EPA, 2001).

Tabla 7-8 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco para medida absorción de gas en alojamientos de cerdos

Eficiencia	Fuente
53%	EPA, 2001

Fuente: Elaboración propia

Desventajas

Los efectos secundarios asociados al uso de esta medida son los requerimientos de electricidad. Además, el efluente es una corriente potencial de residuos. Se forman de sales como sulfato de sodio y fosfato de amonio. Si se usa agua como medio de depuración, estas se disuelven. Debido a que solo se produce la ionización, el amoníaco y el sulfuro de hidrógeno que se eliminan de la corriente de aire pueden volatilizarse de nuevo del efluente del depurador (EPA, 2001).

7.1.1.9 Bioscrubbers (biodepuradores)

Descripción

El concepto detrás de un biodepurador es similar al de la biofiltración, con la excepción de que los microorganismos se alojan en una torre empaquetada cerrada con agua que circula a contracorriente del aire entrante del edificio, en lugar de en un lecho filtrante. A medida que el aire contaminado pasa a través del depurador, los compuestos solubles en agua (amoníaco, sulfuro de hidrógeno) son absorbidos por el agua y se oxidan microbianamente. El efluente del depurador se dirige al recipiente donde se proporciona un tiempo de retención adicional para la oxidación microbiana (EPA, 2001). Este es reciclado de regreso a la parte superior del depurador. De esta forma, la biomasa del sistema crece en parte como una película sobre el material de empaque del filtro y en parte se suspende en el agua que se recircula (European Commission, 2015a).

El amoníaco se degrada por conversión bacteriana en nitritos y nitratos (nitrificación), mientras que los compuestos olorosos son oxidados por bacterias a CO₂, H₂O y subproductos; el polvo se disuelve en agua. La circulación del agua mantiene la capa biológica húmeda y proporciona los nutrientes para los microorganismos; el nitrito acumulado y especialmente el nitrato (que puede ser tóxico para los microorganismos) se descarga con el agua de lavado, de manera que el pH se mantiene en un rango favorable (entre 6,5 y 7,5) para los microorganismos (European Commission, 2015a).

No hay información sobre la disposición final del efluente. Sin embargo, es probable que pueda ser aplicado en suelo (EPA, 2001).

De acuerdo a la Comisión Europea (2015a) tanto el término "biodepurador" como el "(bio) filtro percolador" se utilizan como equivalentes.

Un estudio de tres biodepuradores en operaciones de cerdos mostraron reducciones de emisiones de amoníaco de hasta 89% (EPA, 2001). La Comisión Europea (2015a) indica reducciones entre 70 y 90%. Las eficiencias de eliminación superiores al 90% se han medido solo a tasas de filtración altas o con una tasa de filtración con regulación de pH y conductividad controlada. En la siguiente tabla se presenta un resumen de estas eficiencias.

Tabla 7-9 Eficiencias de remoción para medida biodepurador en pabellones de cerdos

Eficiencia	Fuente
89%	EPA, 2001
70-90%	European Commission, 2015
Eficiencia promedio	85%

Fuente: Elaboración propia

La velocidad de oxidación microbiana es afectada por la temperatura y variaciones en las concentraciones de contaminante. Sin embargo, los biodepuradores no son afectados por el MP en el gas entrante. El medio filtrante, especialmente el medio orgánico, debe ser reemplazado debido a descomposición y compactación que ocurre en el tiempo (EPA, 2001).

Aplicabilidad

En principio, este sistema es fácil de implementar, tanto en nuevas instalaciones como en existentes aplicando ventilación artificial forzada. En la práctica, la instalación de una depuradora en una casa existente requiere, en la mayoría de los casos, un rediseño del sistema de ventilación y la instalación de ventiladores nuevos y más potentes. Cuando el sistema de ventilación tiene múltiples ventiladores o múltiples puntos de salida, la implementación es prácticamente imposible. Por lo tanto, la condición principal para la implementación en las instalaciones existentes es la posibilidad técnica de operar con extracción de aire centralizada que depende de la configuración de la instalación.

En los establos de cerdos, el diseño y el tamaño de los corrales no son críticos para la aplicabilidad del sistema. Puede ser necesario un filtro de polvo donde los niveles de polvo son más altos (sistemas de paja), lo que aumentará la presión en el sistema y también aumentará el uso de energía.

Los biodepuradores son más adecuados para la producción porcina, ya que en los galpones avícolas la alta carga de polvo y plumas del aire de ventilación aumenta el riesgo de bloqueo del lecho empacado, lo que disminuye la eficiencia del depurador y aumenta los costos de mantenimiento. Para superar esto, se puede aplicar un filtro de polvo, pero con el consiguiente aumento de la caída de presión y el uso de energía. Además, en el sistema all in-all out que se

utiliza en las granjas avícolas, los microbios de la biocapa permanecerán sin nutrientes por el aire contaminado durante un cierto período de tiempo. Durante los períodos en los que el gallinero está vacío, el biodepurador puede alimentarse recirculando el líquido (European Commission, 2015a).

Simultáneamente se reducen las emisiones de amoníaco, olores y polvo.

Desventajas

Efectos secundarios son el uso de electricidad para alimentar ventiladores y bombas y el consumo extra de agua. Los biodepuradores pueden ser una fuente de óxido nitroso si ocurre desnitrificación del amoníaco nitrificado debido a la formación de zonas transientes aeróbicas/anaeróbicas al no controlar bien las condiciones del lecho. Además, son una fuente de residuos sólidos (medio filtrante usado) y de agua servida (efluente del depurador) (EPA, 2001). La descarga de agua es hasta 10 veces más alta que con un depurador químico (European Commission, 2015a).

7.1.1.10 Depurador de ácido húmedo

Descripción

El aire de ventilación de los alojamientos de animales pasa a través de un filtro (por ejemplo, una pared empaquetada) donde se rocía un líquido depurador ácido. Cuando el aire contaminado entra en contacto con el líquido de lavado, el amoníaco se absorbe en la solución de pH bajo y el aire limpio sale del sistema. La sal de amonio producida se elimina del sistema con el agua de descarga (European Commission, 2015a).

Se pueden alcanzar reducciones de amoníaco desde al menos 70% hasta 99% (European Commission, 2015a).

Tabla 7-10 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco para medida absorción de gas en alojamientos de cerdos

Eficiencia	Fuente
70-99%	BAT, 2015

Fuente: Elaboración propia

Aplicabilidad

Este sistema se puede implementar en instalaciones nuevas y existentes aplicando ventilación forzada con extracción de aire centralizada. La implementación en instalaciones existentes puede ser técnicamente difícil según la configuración del edificio debido a la instalación requerida de los conductos necesarios para canalizar el aire de escape.

En el alojamiento de cerdos, el diseño y el tamaño del corral no son críticos para la aplicabilidad del sistema. En los gallineros, los altos niveles de polvo en el aire de escape del gallinero pueden afectar el rendimiento del depurador; por lo tanto, puede ser necesario un filtro de polvo, que

aumentará la presión en el sistema y aumentará el uso de energía. El sistema se puede encender y apagar fácilmente, lo que lo hace adecuado para granjas avícolas que aplican un manejo animal completo.

Beneficios del uso de este tipo de sistemas de acuerdo a la Comisión Europea (2015a) son:

- También se produce remoción de polvo.
- Cuando se utiliza ácido sulfúrico, el efluente vertido contiene sulfato de amonio que puede utilizarse como fertilizante, teniendo en cuenta la posible necesidad de corregir la acidez del efluente.
- Deben descargarse cantidades más pequeñas de agua en comparación con los biodepuradores.

Desventajas

Algunas desventajas de estos sistemas y condiciones a considerar son (European Commission, 2015a):

- Los depuradores ácidos son menos efectivos en reducir olores debido a que el bajo pH inhibe la acción de los microorganismos que degradan el olor.
- Con el uso de diferentes ácidos, es posible que sea necesario eliminar los lodos.
- Este sistema tiene un mayor uso de energía para la ventilación y para las bombas de agua y ácido.
- Se requieren medidas de seguridad específicas para el almacenamiento y manipulación de ácidos y sustancias químicas, de acuerdo con las normativas nacionales o locales. Estos pueden incluir requisitos de construcción, que pueden plantear algunos límites a la posible implementación de la técnica. La formación del personal en gestión de ácidos minimiza los riesgos para la salud humana y el medio ambiente.

7.1.1.11 Ozonización

Descripción

El ozono (O_3) es un oxidante fuerte que reacciona con la mayoría de los materiales orgánicos, incluidos los compuestos orgánicos y los microorganismos. Aunque el ozono se ha utilizado para tratar el agua potable, se ha realizado un trabajo limitado en la evaluación del uso de ozono para oxidar compuestos gaseosos reducidos (amoníaco y sulfuro de hidrógeno) de los AFO. Debido a que la vida media del ozono es muy corta (10 a 30 minutos), no puede almacenarse y, por lo tanto, debe generarse in situ. Normalmente, el ozono se crea haciendo pasar aire a través de un campo eléctrico generado por una celda de descarga de corona (EPA, 2001).

Un estudio (Priem, 1977) descubrió que liberar ozono en instalaciones de confinamiento de cerdos redujo los niveles de amoníaco en el aire entre 15 y 50% durante condiciones de ventilación en verano e invierno. La menor reducción fue alcanzada en verano debido a la mayor circulación del aire (EPA, 2001).

Tabla 7-11 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco para medida ozonización en alojamientos de cerdos

Eficiencia	Fuente
15-50%	EPA, 2001

Fuente: Elaboración propia

Desventajas

Los efectos secundarios incluyen las emisiones debido a la generación de electricidad para alimentar ventiladores y para generar las descargas para la producción de ozono. Adicionalmente, el ozono tiene la potencialidad de generar óxido nitroso y óxidos de sulfuro como subproductos (EPA, 2001).

7.1.2 Medidas a aplicar en la etapa de manejo del purín

7.1.2.1 Biodigestor anaeróbico

Descripción

Consiste en la fermentación anaeróbica de purines mediante bacterias metanogénicas. Esto se lleva a cabo en un ambiente anaeróbico estricto y lo realizan bacterias autorreguladas de acuerdo a pH y temperatura (POCH, 2016). Existen dos modalidades de sistemas biodigestores: uno con adición de calor, que funciona entre 30 y 35 °C, y otro a temperatura ambiente (ASPROCER, 2008).

El biodigestor corresponde a una laguna sellada en su base con polietileno de alta densidad cubierto con un domo que retiene los gases. El purín crudo ingresa directamente a este, y permanece entre 15 a 20 días (en el caso de biodigestión fría, pueden ser hasta 45 días), lo que produce la digestión anaeróbica de la materia orgánica. Se obtienen como productos principales CH₄ y CO₂, y una fracción importante de nitrógeno orgánico es transformado en amonio (N-NH₄). El metano se captura y luego es transportado a un dispositivo de combustión donde se quema. La materia orgánica se reduce aproximadamente entre 70% y 75%. La producción de lodos se considera mínima (ASPROCER, 2008).

Cuenta con una eficiencia de reducción de 0 a 5% en condiciones frías y 0 a 25% en condiciones calientes (ASPROCER, 2008; POCH, 2016), aunque fuentes adicionales nacionales indican que la reducción es de un 36% (número calculado en Declaraciones de Impacto Ambiental de proyectos ingresados al SEIA el 2015). Se considera una reducción de amoníaco del 25%. La medida reduce las emisiones asociadas al manejo y aplicación de excretas (POCH, 2016).

Se debe considerar que otros sistemas de tratamiento dentro del plantel pueden alterar la eficiencia de remoción de esta medida.

Tabla 7-12 Eficiencias de remoción para medida biodigestor anaeróbico en instalaciones de cerdos

Condición	Rango eficiencia remoción	Fuente
Caliente	0-25% de NTK	POCH, 2016
Fría	0-5% de NTK	POCH, 2016
S/I	36%	POCH, 2016 a partir de proyectos ingresados al SEIA, 2015
Caliente	25% de NTK	ASPROCER, 2008
Fría	5% de NTK	ASPROCER, 2008

Fuente: Elaboración propia

Aplicabilidad

Se puede implementar en instalaciones que no cuenten con sistemas de camas calientes, biodigestores o sistema aerobio, debido a posibles complicaciones en la instalación o implementación, y a que la inclusión de un biodigestor no aportaría mayormente a la remoción de amoníaco (POCH, 2016). La medida requiere del espacio para la infraestructura del biodigestor.

Esta medida genera beneficios adicionales como la generación de energía (es opcional y afecta los costos de inversión), disminuye altamente las emisiones de metano, disminuye los olores y la carga orgánica (DBO) en el flujo.

7.1.2.2 Tratamiento aerobio

Descripción

El tratamiento aerobio genera remoción de materia orgánica (carbono y nitrógeno) mediante dos opciones de tratamiento (POCH, 2016):

- Cultivo en suspensión (lodos activados o SBR): se realiza un proceso de nitrificación ($\text{NH}_3 \rightarrow \text{NO}_2 \rightarrow \text{NO}_3$) y luego desnitrificación ($\text{NO}_3 \rightarrow \text{N}_2$).
- Cultivo fijo (lombrifiltros): Las lombrices consumen el nitrógeno para su propio ciclo reproductivo.

La medida de lodos activados corresponde a un tratamiento secundario de tipo biológico, ampliamente utilizado para depurar aguas servidas. Este sistema opera mediante la degradación de la materia orgánica por efecto del metabolismo de bacterias aerobias.

La fracción líquida del purín, previamente sometida a una separación sólido líquido, ingresa a piscinas o estanques de aireación, en donde se le inyecta aire a través de aireadores mecánicos, favoreciendo el desarrollo de microorganismos aerobios.

Posteriormente, el efluente pasa a un estanque de sedimentación en donde se produce la clarificación del líquido y acumulación de lodo. Parte de este lodo es retirado del sistema,

mientras que el resto es recirculado al reactor aerobio, para repoblar las poblaciones bacterianas (ASPROCER, 2008).

La lombricultura es una tecnología que busca transformar los desechos orgánicos en humus (para utilización agronómica). Se estima que cada 1.000 m³ de lechos de lombrices puede procesar 500-600 m³ al día de purines. El sistema comprende la habilitación de lechos compuestos por desechos orgánicos para el desarrollo de lombrices.

Los lombrifiltros consisten en una tecnología patentada de estructuras que contienen una cama de material orgánico e inerte, que alberga la población de lombrices. Estas estructuras cuentan con un sistema de riego por aspersión, a través del cual es dispuesta la fracción líquida de los purines, que son la fuente de alimento fresco que requieren las lombrices (ASPROCER, 2008).

De acuerdo a POCH (2016), estos tratamientos alcanzan una reducción del 90% del amoniaco recibido³. Esta medida genera una reducción de las emisiones asociadas al manejo y aplicación a suelo, las emisiones asociadas a la instalación se mantienen constantes.

Según la Comisión Europea (2015a), la reducción de nitrógeno relacionada a sistema de lodos activados varía entre 70 y 90% pero para tratamiento de digestión aerobia varía entre 50 y 70%. Cabe destacar que el control inadecuado del proceso de aireación puede llevar al aumento de emisiones de sulfuros y otros COVs cuando se generen condiciones anaeróbicas. Cuando la intensidad de la aireación es demasiado alta, las emisiones pueden ocurrir en forma de amoniaco.

Por otra parte, según ASPROCER (2008), con diseño y pre tratamiento adecuado, se pueden alcanzar eficiencias de 99% para DBO₅, 95% para SST y 95% para NTK.

Esta diferencia de eficiencia de reducción de emisiones de amoniaco (90% para POCH, 70-90% según la Comisión Europea y 80-95%⁴ para ASPROCER bajo ciertas condiciones) generará variaciones importantes en el análisis de costo-eficiencia ya que POCH utiliza el umbral superior de reducción sin especificar que se den las condiciones necesarias para alcanzar y mantener esta reducción.

Respecto a los lombrifiltros, ASPROCER (2008) estima que las eficiencias de remoción son 99% para DBO₅, 99% para SST y 80% para NTK

Es relevante notar que ASPROCER (2008) y la Comisión Europea (2015a) diferencian entre el proceso de lodos activados y lombrifiltros debido a las diferentes eficiencias, sin embargo, POCH (2016) reúne ambas tecnologías como si no tuvieran diferencias.

³ POCH no referencia de dónde obtuvo este valor para la eficiencia de reducción.

⁴ ASPROCER, cuando presenta la eficiencia habla de Nitrógeno total (NKT), por lo cual no es necesariamente para amoniaco solamente (esto afectará la eficiencia de remoción de amoniaco de la medida)

Tabla 7-13 Eficiencias de remoción para medida tratamiento aeróbico de purines

Sistema de tratamiento	Eficiencia remoción	Unidad removida	Fuente
Sistema aerobio	90%	NH ₃	POCH, 2016
Lodos activados	70-90%	N	European Commission, 2015
	20-95%	NTK	ASPROCER, 2008
Digestión aerobia	50-70%	N	European Commission, 2015
Lombrifiltro	50-80%	NTK	ASPROCER, 2008
Eficiencia promedio		90% (65% N)	

Fuente: Elaboración propia

Aplicabilidad

Las instalaciones a las cuales se les puede aplicar la medida son las mismas que para el caso del biodigestor: instalaciones que no cuenten con sistemas de camas calientes, biodigestores o sistema aerobio (POCH, 2016). Se puede aplicar a cualquier pabellón con sistema de recolección de excretas Slat (tratamiento de purín líquido). Para la tecnología de lombrifiltro existe un problema de escalabilidad del sistema para planteles con gran cantidad de cerdos, ya que el sistema se vuelve demasiado complejo de operar.

En el caso de los lombrifiltros, durante el procesamiento de los desechos se debe mantener la viabilidad de la población de lombrices, por lo cual es necesario mantener y controlar la cantidad de alimento fresco (desechos orgánicos), condiciones de humedad, pH y temperatura (ASPROCER, 2008). Este requerimiento operacional de control dificulta la escalabilidad del sistema completo.

Para poder utilizar este sistema se requiere disminuir la concentración de amonio presente en los purines de cerdo, la cual resulta tóxica sobre niveles de 400 a 450 mg/L N-NH₄. Esto implica que se debe pre tratar (para remoción de nitrógeno) las excretas y, como trata sólo la fracción líquida de las excretas, se deben separar las fracciones de las excretas o implementar un tanque de homogenización.

Se debe considerar que la medida requiere del espacio para la infraestructura del tratamiento y además exige el control estricto de parámetros de operación para asegurar la eficiencia. En el caso de los lombrifiltros pueden morir las lombrices. También se debe evaluar posibles interacciones con otros tratamientos previos que puedan afectar la efectividad.

Por otra parte, la Comisión Europea (2015a) indica que la técnica es aplicable en slurry de cerdos o en cualquier estiércol líquido, pero sólo es aplicable cuando es importante la reducción de patógenos y olores antes de la aplicación a suelo. Menciona como posibles complicaciones la dificultad de mantener los niveles de aireación adecuados en climas fríos, el alto consumo energético para la aireación y el riesgo del aumento de emisiones de metano debido al aumento

de temperatura generado por la aireación y la posible presencia de zonas anaeróbicas. Si se producen zonas de transición anaeróbicas/aeróbicas, pueden ocurrir emisiones de N_2O .

Cuando la digestión aeróbica se combina con un proceso de nitrificación-desnitrificación, el nitrógeno amoniacal puede ser parcial o completamente removido y emitido al aire en forma de nitrógeno, resultando en una pérdida del valor del fertilizante.

Este sistema genera beneficios adicionales como la reducción de olores (de manera general, no localizada). La digestión aeróbica genera un producto sin olor, con un menor contenido de patógenos que puede ser usado como fertilizante. También puede ser usado para flushing de los canales de estiércol para reducir las emisiones de los alojamientos (European Commission, 2015a).

7.1.2.3 Cubierta de membrana geotextil para almacenamiento

Descripción

Esta medida implica poner una cubierta en los contenedores de purín, de tal forma de evitar la volatilización del amoníaco.

La medida permite reducir olores, al reducir el amoníaco volatilizado de las lagunas, pero no disminuye la emisión total de amoníaco ya que aún se encuentra en el líquido.

Sin embargo, debido a que la retención del nitrógeno en el purín, puede resultar beneficiosa por el aumento de la calidad del fertilizante obtenido al final (para aplicación a suelo). Los datos de eficiencia y costos se obtienen de la Comisión Europea (2015a).

La Comisión Europea (2015a) menciona que en el caso de que los pozos purineros se creen y cubran y se dejen imperturbados, se genera una reducción del 65% de las emisiones, pero si la generación de excretas y almacenaje en el pozo es continua, no habría una reducción significativa.

Tabla 7-14 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco para medida cubierta de membrana geotextil para almacenamiento

Eficiencia	Fuente
65%	European Commission, 2015

Fuente: Elaboración propia

Aplicabilidad

Esta medida se aplica a cadenas de manejo de excreta en donde exista manejo de purín sólido, es decir proveniente de camas calientes. Considera que el almacenamiento de purín sea en un contenedor (pozo purinero). Habrá una mayor eficiencia de reducción si se deja "imperturbado" el pozo. En general los pozos reciben constantemente purín.

La medida genera beneficios adicionales como la reducción de los olores (al retener parte de los compuestos volátiles) y mejora la calidad del purín final como fertilizante (contiene más nitrógeno).

7.1.2.4 Cubiertas de geotextil más filtro de carbón activado para pozo purinero

Descripción

Esta medida consiste en poner una cubierta en los contenedores de purín que no estén tapados e instalar un filtro de carbón activado a la salida del conducto de aire del pozo. El carbón activado se impregna con ácido sulfúrico, el que queda fuertemente ligado a la superficie del mismo. El ácido sulfúrico brinda al carbón activado una gran capacidad para la retención del amoníaco (POCH, 2016).

Esta medida permite la reducción de las emisiones del pozo purinero, asociadas a emisiones en la instalación. Se logra una reducción de 80 a 85%⁵, sobre el porcentaje de pérdida de nitrógeno en pozo purinero que corresponde al 6,6%⁶ (POCH, 2016).

Por otra parte, Envirometrika (2020) define un 95% de eficiencia de reducción de las emisiones de amoníaco a 40 ppm en el aire de salida.

Tabla 7-15 Eficiencias de remoción para medida cubierta geotextil más filtro de carbón activado en pozos purineros

Eficiencia remoción	Fuente
80-85%	POCH, 2016
95%	Envirometrika, 2019
Eficiencia promedio	89%

Fuente: Elaboración propia

Aplicabilidad

Esta medida es aplicable a instalaciones de crianza de cerdos existentes y nuevas. Se aplica a fuentes que puedan ser encapsuladas, tales como tanques específicos de planta de tratamiento de purines. Se debe considerar que el carbón activado debe ser renovado cada cierto tiempo.

Genera beneficios adicionales como reducción de olores y reducción de emisiones de metano.

⁵ POCH referencia esta eficiencia de reducción a partir de una estimación dada por el volumen del filtro. Se asume que la remoción volumétrica se obtiene del proveedor del carbón activado, sin embargo, el proveedor lista las características del producto sin mencionar una eficiencia (por lo menos no menciona la eficiencia en la página web referenciada). No queda claro de dónde se obtuvo la eficiencia de reducción de amoníaco.

⁶ POCH cita a EPA (2004a) como fuente del porcentaje de pérdida de nitrógeno en pozo purinero para cerdos, sin embargo el equipo consultor no encontró este número ya que, como se mencionó anteriormente las únicas opciones de instalación para cerdos se encuentran en la Tabla 8-4 y pozo purinero no se encuentra entre estas opciones.

7.1.2.5 Cubiertas fijas o flotantes para laguna (no selladas)

Descripción, Reducción de amoníaco y Aplicabilidad

Esta medida implica poner una cubierta en los contenedores de purín, de tal forma de evitar la volatilización del amoníaco.

La cobertura de los tanques y estanques de almacenamiento de estiércol líquido y las lagunas puede suprimir las emisiones gaseosas de amoníaco, sulfuro de hidrógeno y COVs al reducir la circulación de aire sobre la superficie del estiércol, proporcionando así una barrera a la difusión de la solución.

Sin embargo, las cubiertas que no están selladas no suprimen las emisiones de metano porque los componentes principales del biogás, el metano y el dióxido de carbono, son esencialmente insolubles en agua. Por lo tanto, el escape de metano a la atmósfera se producirá a través de algún camino de menor resistencia a medida que el biogás se acumula debajo de una cubierta sin sellar. Las cubiertas selladas para lagunas se analizan en la siguiente sección (ver Sección 7.1.2.6). Aunque existe una amplia gama de cubiertas, generalmente se pueden clasificar en dos tipos: las que se autosostentan y las que están soportadas por la superficie del estiércol (es decir, cubiertas flotantes).

Generalmente, las cubiertas autosostenidas están hechas de materiales como madera, plástico y hormigón. Por lo general, estas cubiertas se fabrican in situ. Se ha demostrado que las cubiertas permanentes (hechas de plástico u hormigón) suprimen las emisiones de amoníaco en un 80% en una instalación porcina. Las cubiertas inflables suprimen las emisiones de amoníaco y sulfuro de hidrógeno en más del 95% cuando se aplican al almacenamiento de estiércol en instalaciones porcinas.

Por otra parte, las cubiertas flotantes pueden ser permanentes (por ejemplo, láminas de polímeros, bloques de poliestireno) o temporales (por ejemplo, costra superficial, paja). Las cubiertas flotantes permanentes suelen ser menos costosas que las cubiertas autoportantes y proporcionan mayores reducciones de emisiones que las cubiertas flotantes temporales.

La aplicación de cubiertas flotantes para lagunas o tanques (no todas las opciones son aplicables a ambos) de almacenamiento de slurry (purín diluido) son una medida de alto interés debido a la eficacia en retención de emisiones y flexibilidad de aplicación.

Existen diversos tipos de cubiertas flotantes tales como (European Commission, 2015a):

- Corteza natural
- Paja
- Turba
- Material liviano y voluminoso (como LECA/arlita, productos en base a LECA, perlita o zeolita)
- Pelotas de poliestireno

- Líquidos con base oleosa
- Cubiertas flexibles flotantes (mantas, sábanas)
- Baldosas geométricas de plástico

A continuación se resumen los tipos de cubiertas flotantes con sus principales características según la información publicada por la Comisión Europea (2015a).

La aplicabilidad varía según el grado de dilución de las excretas, prefiriendo cubiertas de corteza natural, paja, turba o material liviano y voluminoso para mayores porcentajes de material seco y pelotas de poliestireno, cubiertas flexibles o baldosas plásticas para slurry con menor contenido de material seco. Se debe tener consideración en los métodos de agitación e ingreso de nuevo slurry para evitar bloqueo de bombas, pérdida de la cubierta y daños en general al sistema. Las cubiertas sintéticas (poliestireno, baldosas plásticas, etc.) requieren menos mantenimiento ya que no requieren la constante reposición del material.

Estas medidas no "reducen emisiones de amoníaco", sólo retienen. Sin embargo, generan un valor agregado ya que evitan las emisiones atmosféricas de amoníaco, pero mantienen el nitrógeno en el slurry. Esto permite la generación final de un producto con alto valor agronómico para uso en cultivos como fertilizante⁷.

Corteza natural

Método más simple de cobertura de slurry, se genera de manera natural en slurry con alto contenido de material seco (el cual determina el grosor de la corteza), por lo menos >2%. La formación de la corteza mejora por gasificación, la liberación de gases transportados del slurry a la superficie por medio de burbujas arrastra fibras y partículas que luego flotan hacia la superficie (aumentando la corteza). Existe el riesgo de que en el invierno se pierda la cubierta, pero no se considera un problema mayor debido a la baja en emisiones de amoníaco durante épocas de frío. En condiciones climáticas mediterráneas (por ejemplo España), se genera una corteza natural a razón de 1 cm en dos semanas.

La minimización de la agitación, introducción de nuevo slurry por debajo de la superficie y vaciar el slurry desde la base permiten favorecer el crecimiento y mantención de la corteza natural.

Paja

La paja es una cubierta flotante no recomendada para slurry muy diluido, ya que puede hundirse rápidamente o ser arrastrado por viento y lluvia, también puede llevar a bloqueo de bombas y drenajes. Sin embargo con un contenido de materia seca de 5% o mayor, es posible obtener una corteza inducida por paja que funcione bien. Paja cortada en trozos más largos y en una capa de 10 cm de grosor se une y flota de manera más fácil.

No se recomienda la aplicación de este método para áreas muy grandes debido a la dificultad de aplicación uniforme del material. Tampoco se recomienda en sectores con alta pluviosidad.

⁷ En la Comisión Europea el valor del producto final como fertilizante para la agronomía es considerado un cobeneficio que impulsa la implementación de estas medidas (European Commission, 2015a)

Turba o Material liviano y voluminoso (como LECA/arlita, productos en base a LECA, perlita o zeolita)

La adición de material apropiado permite la formación de una capa flotante en la superficie del tanque de almacenamiento de slurry. Los estudios llevan a pensar que su aplicación es simple, sin embargo no pueden ser reutilizadas y se deben "rellenar" anualmente con material. Gránulos como la LECA (arcilla expandida) disminuyen las pérdidas materiales que se deben reponer anualmente (aproximadamente reposición del 10% del material). Se recomienda generar una capa de por lo menos 10-12 cm. LECA es una cubierta permeable, permite la entrada de aire y genera un ambiente de humedad adecuado para el desarrollo de bacterias aeróbicas. No previene la entrada de agua lluvia y al mojarse pierde efectividad, pero esto se puede contrarrestar con un mayor grosor de la cubierta. La LECA tiene un rango de eficiencia de reducción de emisiones de entre 65% y 95%, la zeolita entre 93% y 98%, la perlita entre 63% y 91% y la turba entre 25% y 92% (European Commission, 2015a). Se encontró que, para la perlita el correcto esparcimiento sobre la superficie del slurry influencia su eficiencia, y el hecho de que es fácilmente arrastrada por el viento.

Pelotas de poliestireno

Las cubiertas de los tanques por medio de pelotas de poliestireno generalmente son con pelotas de 20 cm de diámetro y 100 gr. de peso (densidad de 23,8 kg/m³) y son fáciles de implementar. Como este material es voluminoso puede ser distribuido en capas más pequeñas. La turbulencia natural de la superficie (dado por la forma del contendedor), requiere la reposición o relleno de espacios vacíos de manera regular. Se atribuye una reducción de emisiones de amoníaco del 80%, sin importar la estación del año (European Commission, 2015a).

Líquidos con base oleosa

El líquido oleoso genera una capa superior que dificulta la transferencia entre medios (el slurry y la atmósfera), y genera una cubierta biodegradable. Una capa de 6 mm ha demostrado buena capacidad de retención de emisiones de amoníaco de entre 85% y 93%. Para el aceite de colza la aplicación es muy simple y no se mezcla fácilmente con slurry de cerdo. Sin embargo es biodegradable y pierde su integridad superficial en el tiempo, también aumenta las emisiones de metano.

Cubiertas flexibles flotantes (mantas, sábanas)

Membranas textiles porosas o sábanas de plástico flexible reposan directamente sobre la superficie del estanque de slurry. La cubierta puede estar fijada (por ejemplo por medio de cuerdas verticales) o flotar libremente. Cuentan con aperturas de inspección, ventilación y para el ingreso y agitación del slurry. Se utiliza una bomba para eliminar la recolección de agua sobre la cubierta. Esta cubierta permite la agitación, pero dificulta el acceso para la extracción de los lodos (European Commission, 2015a). De acuerdo a la guía de MAGRAMA (2010c), esta medida es aplicable en tanques y balsas, pero no es aplicable en grandes superficies. Además, puede

favorecer la producción de gases tóxicos (como sulfuro de hidrógeno) y en ocasiones incrementar la producción de gases de impacto ambiental como metano y óxido nitroso.

Baldosas geométricas de plástico

Cuerpos de plástico hexagonales (ladrillos) que calzan juntos en la superficie del slurry para maximizar la cobertura. Estos cuerpos son modulares y cubren prácticamente cualquier superficie sin importar el tamaño, forma, y se adaptan a cualquier cambio en el nivel del slurry. Previenen la entrada de lluvia ligera y se pueden mejorar por medio de filtros de carbón activado. Genera reducción de emisiones de amoníaco entre 50% a 95% y, en el caso de filtros de carbón activado la reducción de amoníaco de 79%, 94% de componentes de olor y al menos el 50% de todas las emisiones atmosféricas.

Por otra parte, el informe de Envirometrika (2020), indica una reducción de olor y emisiones de NH₃ entre un 50 y 90% al aplicar coberturas rígidas, flexibles o flotantes en depósitos o balsas.

En la siguiente tabla se presentan las eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco para cada uno de los tipos de cubierta de acuerdo a la Comisión Europea (2015a).

Tabla 7-16 Eficiencias de reducción para medida cubiertas flotantes para laguna

Tipo de cubierta	Sistema de tratamiento	Eficiencia remoción	Fuente
Permanente	Cubierta de plástico u hormigón	80%	EPA, 2001
	Cubierta inflable	95%	EPA, 2001
Flotantes	Corteza natural	10-90%	European Commission, 2015
		28%	MAGRAMA, 2010c
	Paja o guano concentrado seco	60-90%	European Commission, 2015
		70%	MAGRAMA, 2010c
	Turba	25-92%	European Commission, 2015
	Material liviano de alto volumen	65-95%	European Commission, 2015
	Zeolita	93-98%	European Commission, 2015
	Perlita	63-91%	European Commission, 2015
	Pelotas de poliestireno	80%	European Commission, 2015
	Líquidos con base oleosa	85-93%	European Commission, 2015
	Cubiertas flexibles flotantes	90-99%	European Commission, 2015
		80%	MAGRAMA, 2010c
	Baldosas geométricas de plástico	50-95%	European Commission, 2015
	Baldosas geométricas de plástico con carbón activado	79%	European Commission, 2015
Permanente o flotante	Cubiertas rígidas, flexibles o flotantes	70%	Envirometrika, 2020
Eficiencia promedio	75%		

Fuente: Elaboración propia

Las cubiertas permanentes no se ven afectadas en gran medida por las condiciones ambientales, aunque se han encontrado algunos problemas con las cubiertas inflables (una membrana de plástico sostenida por biogás capturado) en condiciones de viento fuerte.

Debido a que generalmente están unidas al perímetro del tanque o la laguna, es menos probable que las cubiertas flotantes permanentes se vean afectadas por el viento. Sin embargo, debido a que están adheridas, las cubiertas flotantes permanentes pueden no ser aplicables a los casos en que el nivel de la superficie del estiércol fluctúe apreciablemente. Al igual que las cubiertas autoportantes, las cubiertas flotantes permanentes hechas de materiales continuos (por ejemplo, láminas de plástico) pueden requerir un sistema de drenaje para eliminar la precipitación acumulada (EPA, 2001).

Estas medidas generan beneficios adicionales como la reducción general de emisiones atmosféricas y reducción de olores. Tienen la ventaja de la adaptabilidad a diferentes condiciones y, en el caso de las baldosas geométricas con filtro de carbón activado, reducen emisiones de metano.

Desventajas

Algunos materiales de cobertura temporal pueden saturarse y hundirse en el estiércol almacenado, obstruyendo potencialmente el sistema de bombeo (EPA, 2001).

Las emisiones suprimidas se liberarán del embalse cuando se quite la cubierta y cuando el estiércol almacenado se aplique al suelo. Además, las cubiertas se deterioran con el tiempo debido a las fluctuaciones de temperatura y la luz solar y deben ser reemplazados periódicamente (EPA, 2001).

Por otra parte, el informe de Envirometrika (2020) indica que para cubiertas rígidas, se puede producir acumulación de gases nocivos, por lo que si al retirar la cubierta no se diluye adecuadamente, puede provocar molestias significativas a los receptores cercanos. Respecto a las cubiertas flotantes, estas no funcionan adecuadamente si no se logra minimizar la turbulencia en la superficie.

7.1.2.6 Cubierta de lagunas anaeróbicas con colección de biogás y combustión – Conversión a Biodigestor

Descripción

Aunque las cubiertas sin sellar pueden suprimir las emisiones de amoníaco, sulfuro de hidrógeno y emisiones de COVs de los tanques de almacenamiento de estiércol, estanques y lagunas anaeróbicas, estos gases pueden emitirse cuando se quita la cubierta o durante la aplicación del estiércol estabilizado al suelo.

Sin embargo, las cubiertas selladas no solo suprimirán estas emisiones, sino que también capturarán el metano producido para su eliminación mediante quema o uso como combustible.

Aplicabilidad

Dada la tasa relativamente baja de producción de metano de los tanques y estanques de almacenamiento de estiércol, el uso de cubiertas selladas con recolección de biogás solo puede justificarse económicamente con lagunas anaeróbicas, que están diseñadas para reducir los sólidos volátiles a metano para la estabilización de desechos. Aunque las lagunas cubiertas no se utilizan extensamente en el manejo de abonos animales, hay un pequeño número de lagunas anaeróbicas cubiertas a gran escala para abonos porcinos y lecheros. Esta medida está evaluada en el informe de la EPA (2001).

Aunque los datos de rendimiento de las lagunas anaeróbicas cubiertas con captura y utilización de biogás no se encontraron en la revisión de la literatura, las reducciones de las emisiones de amoníaco, sulfuro de hidrógeno, COV y metano de la laguna cubierta deberían acercarse al 100%. Sin embargo, las emisiones posteriores de amoníaco, sulfuro de hidrógeno y COV de los estanques de almacenamiento de efluentes con dos sistemas de celdas probablemente igualarán a las de las lagunas descubiertas.

El biogás capturado se puede utilizar como combustible para la generación de electricidad.

7.1.2.7 Cubierta para estiércol sólido almacenado

Descripción

Uso de materiales para cubrir excrementos sólidos en almacenamientos o en aplicación. Pueden ser turba, aserrín, astillas de madera o una cubierta de plástico hermética estabilizada por rayos UV. Estos crean una barrera física reduciendo la liberación de amoníaco. Disminuye el intercambio de aire y la actividad microbiana, disminuyendo las emisiones (European Commission, 2015a).

Los montones de estiércol deben ser cubiertos lo antes posible debido a que la mayoría del amoníaco se evapora en los primeros días. Se deben distribuir de manera de reducir al máximo la superficie ocupada. Las reducciones de amoníaco se producen cuando se aplica la cubierta y luego se deja sin intervenir hasta el próximo ciclo de cultivo. En la siguiente tabla se presentan las eficiencias de reducción de amoníaco al cubrir estiércol sólido de cerdos (European Commission, 2015a).

Tabla 7-17 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco al cubrir estiércol sólido almacenado de cerdos

Categoría animal	Sistema de recolección	Eficiencia remoción	Fuente
Cerdos	Cama caliente	48%	European Commission, 2015

Fuente: Elaboración propia

Aplicabilidad

La técnica es generalmente aplicable cuando estiércol sólido es secado o pre-secado. Una cubierta puede no ser apropiada para sistemas de manejo de estiércol sólido no seco que implican adiciones regulares de material a los montones de estiércol existentes, ya que habría una necesidad continua de retirar y reemplazar las hojas (European Commission, 2015a).

Reducción de olores, así como prevención de lixiviación debido a lluvia (European Commission, 2015a).

7.1.2.8 Aplicación de una cubierta sólida para el almacenaje de purín**Descripción**

Las cubiertas rígidas son cubiertas ajustadas (por ejemplo, un techo o una tapa) que están hechas de material inflexible como concreto, paneles de fibra de vidrio o láminas de poliéster con una plataforma plana o forma cónica. Deben estar bien sellados o "herméticos" para minimizar el intercambio de aire, pero deben estar provistos de conductos de ventilación para evitar la acumulación de gases inflamables (European Commission, 2015a).

Una cubierta de concreto permite alcanzar reducciones de emisiones de amoníaco de 90%. Cubiertas rígidas especialmente diseñadas han reportado reducciones de entre 80 y 90% para amoníaco y olores.

Generalmente, los niveles de emisión de NH₃ del almacenamiento de purines en condiciones climáticas cálidas son más altos que en condiciones frías; por lo tanto, se espera que la eficiencia de reducción de cubrir los depósitos de purines sea mayor en condiciones climáticas cálidas cuando se expresa en relación con un depósito descubierto (European Commission, 2015a).

Las cubiertas rígidas como las tapas y techos de plástico u hormigón se caracterizan por un largo período de servicio. Se evita una dilución del purín, como puede ocurrir en los pozos de estiércol descubiertos debido a que la lluvia reduce la materia sólida y el contenido de nutrientes (European Commission, 2015a).

Aplicabilidad

Las cubiertas rígidas usualmente son instaladas al mismo tiempo que el almacenaje. Una cubierta fija puede no ser aplicable para reacondicionar tanques existentes, ya que requiere que el almacenaje sea estructuralmente apropiado y puede necesitar refuerzos adicionales para soportar la carga extra. Por razones técnicas, las cubiertas rígidas no pueden adaptarse a lagunas de tierra de grandes dimensiones y almacenes revestidos de geomembranas (European Commission, 2015a).

Desventajas

Puede producirse una acumulación de gases tóxicos (por ejemplo H_2S) o explosivos (metano), lo que debe tenerse en cuenta por motivos de seguridad. Se necesitan algunas pequeñas aberturas o una instalación para ventilar, para evitar la acumulación de dichos gases.

7.1.2.9 Filtro percolador

Descripción

El filtro percolador corresponde a una tecnología de tratamiento secundario de tipo biológico, fundamentalmente orientado a tratar aguas residuales con altos contenidos de materia orgánica. El principal objetivo del dispositivo apunta a reducir significativamente la carga de DBO5 del afluente, con un consumo bajo de energía. En este sistema de tratamiento se cuenta con un sustrato fijo sobre el cual se desarrollan los cultivos bacterianos, los cuales se alimentan de la materia orgánica y nutrientes contenidos en el agua residual a tratar. El sistema está configurado por una torre en cuyo interior contiene materiales plásticos de características rugosas que permiten el alojamiento de las bacterias que degradarán la materia orgánica, a través de la cual se hace pasar la fracción líquida de los purines ((ASPROCER, 2008).

Las eficiencias estimadas para estos sistemas son de 56% para DBO5, 20% para SST y 15% para NTK.

Tabla 7-18 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco para medida filtro percolador

Eficiencia	Fuente
0-15% NTK	ASPROCER, 2008

Fuente: Elaboración propia

7.1.2.10 Laguna anaeróbica

Descripción

En este sistema los purines ingresan a una laguna de almacenamiento y tratamiento de tipo anaeróbica, luego de haber pasado por un sistema de separación primario y de un tanque de equalización donde son agitados de manera de obtener un efluente uniforme.

La laguna anaeróbica consiste en una fosa excavada en tierra e impermeabilizada completamente por geomembrana impermeable u otro sistema equivalente (arcillas compactadas, etc.) de manera que no existan percolados a las aguas subterráneas. Para que se produzca una adecuada anaerobiosis, esta debe tener una profundidad mayor a 4 m.

Al interior de la laguna se lleva a cabo la descomposición anaeróbica de los purines bajo condiciones naturales, de temperatura variable, dado que la fuente de calor para el proceso proviene sólo del proceso de fermentación (ASPROCER, 2008).

Las eficiencias estimadas para estos sistemas son de 55% para DBO5, 86% para SST y 43% para NTK (ASPROCER, 2008).

Tabla 7-19 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco para medida laguna anaeróbica

Eficiencia	Fuente
10-43% NTK	ASPROCER, 2008

Fuente: Elaboración propia

Aplicabilidad

El tamaño de la laguna debe ser suficiente para contener el volumen de tratamiento, periodo que fluctúa entre 30 y 180 días (ASPROCER, 2008).

7.1.2.11 Nitrificación – Desnitrificación

Descripción

El proceso de Nitrificación-Desnitrificación tiene como objetivo fundamental la eliminación del N presente en las deyecciones. Se trata de un proceso microbiológico en el cual el amonio es oxidado por bacterias autótrofas a nitrato en presencia de oxígeno y carbono inorgánico (nitrificación) y a continuación, este nitrato es reducido por bacterias heterótrofas a nitrógeno molecular en ausencia de oxígeno y presencia de carbono orgánico (desnitrificación). El nitrógeno molecular (N_2) es un gas inerte, componente mayoritario de la atmósfera.

Existen varios modelos de tratamientos de Nitrificación-Desnitrificación, pero todos tienen en común la necesidad de infraestructura especializada (estanques reactores) y consumo energético para oxigenación y mezcla (ASPROCER, 2008).

Con este proceso es posible alcanzar eficiencias de reducción de N de 90% a 99% (ASPROCER, 2008).

Por otra parte, la Comisión Europea (2015a) indica que la máxima remoción de N alcanzable para slurry sin tratar puede ser hasta 70%. El resto del N se separa en la fracción sólida, asimilado por el lodo activado o queda en el efluente líquido. Si la eficiencia de remoción de N se evalúa en la fase líquida, puede ser mayor a 90%.

Los resultados de un estudio que compara un tratamiento de nitrificación/desnitrificación (aireación intermitente) con un almacenamiento convencional de purines de 6 meses antes de esparcirlo, informan una reducción del 30-52% de la emisión de amoníaco para un sistema biológico combinado con separación mecánica (centrifugadora o prensa de tornillo). Se reporta una mayor reducción de emisiones de amoníaco (68%) para una combinación sin separación, consistente en almacenamiento, tratamiento biológico y decantación (European Commission, 2015a).

Tabla 7-20 Eficiencias de reducción de las emisiones de amoníaco para medida nitrificación - desnitrificación

Tipo de sistema	Eficiencia	Fuente
S.I.	95% NTK	ASPROCER, 2008
Sistema combinado con separación mecánica	30-52%	European Commission, 2015
Almacenamiento, tratamiento biológico y decantación	68%	European Commission, 2015
Eficiencia promedio	55% (95% NTK)	

Fuente: Elaboración propia

La técnica requiere el control de una serie de parámetros operativos, tales como: composición del efluente, cargas aplicadas, poblaciones de bacterias, temperatura, etc. El proceso es sensible a la presencia de sustancias tóxicas y otras que pueden inhibir la actividad microbiana. El lodo resultante necesita una gestión adecuada.

Aplicabilidad

Esta medida no es aplicable a nuevas instalaciones debido a las desventajas mencionadas a continuación. En instalaciones existentes, sólo es aplicable cuando la remoción de nitrógeno es necesaria debido a la poca disponibilidad de suelo para aplicación del estiércol.

La aplicabilidad es limitada debido a los altos costos de inversión y de operación debido a la energía requerida para aireación.

Un tratamiento previo de separación mecánica del slurry puede reducir la demanda de oxígeno, y por ende los costos de energía, y evitar posibles problemas durante el proceso debido a la alta producción de lodos, sedimentación y obstrucción del equipo. La temperatura de proceso óptima es de 35° C.

En lo que respecta al sector avícola, la técnica es teóricamente adecuada para purines de pato, pero el volumen necesario y los costos de tratamiento aún no son económicos para su uso común en la granja (European Commission, 2015a).

Reducción de las emisiones de olores. También se produce reducción de la DQO debido a la aireación. Las emisiones de gases de efecto invernadero (metano y óxido nitroso), se reducen, en comparación con el almacenamiento de estiércol solo (European Commission, 2015a).

Desventajas

Las desventajas de la aplicación de esta medida mencionadas por la Comisión Europea (2015a) son:

- Aumento del consumo de energía debido a aireación y bombas.
- Se produce una mayor cantidad de lodo comparado con sistemas de tratamiento anaeróbico.

- El valor fertilizante del purín disminuye cuando no hay excedente de nutrientes y, por lo tanto, se necesitan fertilizantes minerales. La producción de nitrógeno mineral consume mucha energía y utiliza fuentes de energía fósil.
- Si el proceso no está bien manejado, parte del nitrógeno se emite al aire en forma de NH_3 o N_2O .

7.1.2.12 Acidificación de las excretas en el almacenamiento

Descripción

Variación de la medida presentada en la Sección 7.1.1.7, donde se acidifica el slurry directamente en el tanque de almacenamiento al añadir ácido sulfúrico mientras el slurry es agitado, justo antes de ser transferido al campo para su aplicación al suelo.

Las reducciones de las emisiones de amoníaco se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 7-21 Eficiencias de reducción de las emisiones de amoníaco para medida modificación del pH de las excretas en almacenamiento

Tipo de sistema	Eficiencia	Fuente
Almacenamientos cubiertos	50%	European Comission, 2015
Almacenamientos descubiertos	90%	European Comission, 2015
Eficiencia promedio	70%	

Fuente: Elaboración propia

Aplicabilidad

Ver Sección 7.1.1.7

7.2 Identificación de Medidas de Reducción de Emisiones Potenciales a ser aplicadas - Sector Aves

A continuación, nuevamente se comienza con una revisión crítica de las técnicas propuestas por POCH (2016), para posteriormente revisar la existencia de medidas no incluidas presentes en estudios internacionales y nacionales. POCH se refiere a las mejores técnicas disponibles (MTD) como un resultado de su revisión internacional y se dividen en las categorías según el momento del proceso de crianza en el cual se pueden aplicar como pabellón, manejo del guano y aplicación a suelos.

Tabla 7-22 Resumen de las MTDs encontradas en la revisión bibliográfica de POCH 2016 para el sector de aves

Categoría	Medida para disminución de emisiones
Alimentación	Modificación en la dieta
Instalación	Ventilación forzada
	Sistemas de extracción automáticos o que permitan aumentar la frecuencia de descarga
	Tratamiento de gases (proceso biológico con agua (biofiltros) o químico (scrubber))
	Cubierta a pilas de acumulación de estiércol
Manejo⁸	Tratamiento secundario de las excretas (tratamientos aerobios)
Aplicación	Incorporación inmediata
	Inhibidores enzimáticos

Fuente: (POCH, 2016)

Del listado contenido en la Tabla 7-22 POCH (2016) analiza cada medida y evalúa las medidas que de antemano muestren mayor aplicabilidad y efectividad. Para aves POCH no identifica ninguna medida a aplicar.

7.2.1 Medidas a aplicar en la etapa pabellón

7.2.1.1 Biofiltro en pabellones

Descripción

Misma medida que para el sector porcino (ver sección 7.1.1.1)

Reducción de emisiones

Ver sección 7.1.1.1

Tabla 7-23 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco para medida biofiltro en pabellones de aves

Tipo de pabellón	Eficiencia	Fuente
Pabellón cerrado	70-90%	POCH, 2016
Pabellón abierto	70%	POCH, 2016
Eficiencia promedio	75%	

Fuente: Elaboración propia

Aplicabilidad

Es aplicable a planteles de aves donde los animales están confinados en pabellones, ya sea abiertos o cerrados (POCH, 2016). La implementación de esta medida en el sector de aves

⁸ De las fuentes revisadas por POCH (2016) sólo 2 incluían técnicas de disminución en el manejo de excretas y de estas una las descarta por viabilidad técnico-económica

ponedoras se consideraría sólo para los pabellones cerrados, ya que la configuración de los pabellones que cuentan con sistema de extracción manual (jaulas en altura) no es el adecuado para la implementación de biofiltros (POCH, 2016).

Illanes (Jaime Illanes y Asociados, 2016) por su parte analiza que, para el correcto funcionamiento del biofiltro y para alcanzar los niveles de eficiencia mencionados por POCH se deben contar con factores como tiempo de residencia suficiente (del contaminante en el filtro para que alcance a degradarse) y condiciones operativas para los microorganismos (nutrientes, oxígeno, agua, pH y temperatura), lo cual dificulta la implementación de la medida. Además el aumento del consumo de electricidad y agua son significantes por lo cual debieran incluirse en el análisis costo-efectividad (Jaime Illanes y Asociados, 2016).

7.2.1.2 Extracción automática de guano desde pabellones

Descripción

La extracción automática de guano cuenta con varias opciones de implementación. Para aves incluye cintas transportadoras que permiten retirar el guano generado por las aves ponedoras del pabellón, generalmente se retira el guano cada 1 o 2 días. Esto disminuye el tiempo de exposición del guano y por consiguiente la emisión de NH_3 en el pabellón. Para reducir las emisiones se debe hacer una extracción inmediata del guano para su aplicación a suelo, no puede haber acumulación (POCH, 2016).

Por otra parte, el sistema scraper consiste en un sistema automático de raspado del suelo para recolectar todas las excretas, de manera recurrente. Esto permite reducir las emisiones ya que continuamente recoge las excretas y disminuye el área de emisión desde el pabellón completo a una fosa de recolección (DIMSER S.A.C., n.d.)⁹.

Reducción de emisiones

La revisión bibliográfica lleva a factores de emisión menores para planteles de aves ponedoras con extracción automática (0,14 kg NH_3 /cabeza/año) (EPA, 2004a) que pabellones con extracción manual (0,4 kg NH_3 /cabeza/año) (Wang et al., 2009). Esto corresponde a una eficiencia de 65% de remoción. Esta disminución de amoníaco es en pabellón, por lo que no se considera una medida de reducción de amoníaco si el guano no se retira y aplica inmediatamente.

El sistema de cinta transportadora descrito por la Comisión Europea (2015a) es idéntico al descrito por POCH (2016), sin embargo se explicita que la extracción del guano es por lo menos 2 veces a la semana en el caso de que no haya ventilación previa del guano, y una vez a la semana en caso de pre-secado, para asegurar la eficiencia de reducción calculada respecto a un sistema de extracción manual con camas calientes. A partir de los datos de la Comisión Europea, también es posible calcular la eficiencia de reducción de un sistema con scraper respecto a un sistema de

⁹ <http://www.dimsersac.com/recojodeguano.html>

extracción manual de camas calientes. Los valores de las diferentes eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco en los diferentes escenarios se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 7-24 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco para medida extracción automática de guano en pabellones de aves

Sistema medida	Categoría animal	Eficiencia	Frecuencia de remoción	Fuente
Cinta transportadora	Ponedora	65%	No específica	POCH, 2016
	Broiler	58%	Dos veces a la semana	European Commission, 2015
Cinta transportadora sin ventilación	Ponedoras no enjauladas	70-85%	Dos veces a la semana	European Commission, 2015
Cinta transportadora con ventilación	Ponedoras no enjauladas	80-95%	Una vez a la semana	European Commission, 2015
Scraper	Ponedoras no enjauladas	80-85%	No específica	European Commission, 2015
	Broiler	50%	Una vez al día	European Commission, 2015
Eficiencia promedio		70%		

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, la Comisión Europea (2015a) presenta las diferentes eficiencias de reducción para variaciones en las frecuencias de extracción de sistemas con cintas transportadoras en instalaciones con aves ponedoras en jaulas enriquecidas. Estas eficiencias son respecto a sistemas con cintas transportadoras con remoción semanal del estiércol.

Tabla 7-25 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco al variar la frecuencia de extracción de guano mediante cintas transportadoras, aves ponedoras enjauladas

Sistema medida	Eficiencia	Frecuencia de remoción	Fuente
Cinta transportadora sin ventilación	54-58%	Dos veces a la semana	European Commission, 2015
	66%	Tres veces a la semana	European Commission, 2015
	76%	Diaria	European Commission, 2015
Cinta transportadora con ventilación	30-40%	Dos veces a la semana	European Commission, 2015
	35-45%	Más de dos veces a la semana	European Commission, 2015

Fuente: Elaboración propia

La Comisión Europea (2015a) también presenta una eficiencia de reducción de 81% al pasar de un sistema con pequeños grupos de aves en jaulas enriquecidas, con remoción semanal mediante cintas transportadoras y sin secado previo, al mismo sistema pero con secado. En el caso de un sistema para aves no enjauladas de camas calientes con pozo profundo, al agregar cintas transportadoras sin ventilación, con remoción dos veces a la semana, las emisiones de amoníaco disminuyen en un 81%.

Aplicabilidad

Esta medida es aplicable a pabellones de aves con sistema manual de extracción de excretas. En instalaciones existentes, la instalación de una cinta transportadora de estiércol o un scraper en el foso bajo el piso ranurado no siempre es posible y requiere de costos adicionales (European Commission, 2015a). Se debe considerar el aumento de consumo eléctrico para el funcionamiento frecuente de los sistemas de remoción.

Se genera disminución de olores al retirar de manera periódica la excreta, además de proteger a las aves de posibles efectos de la acumulación de excretas en el pabellón (altas concentraciones de amoníaco en el aire pueden dañar a las aves).

7.2.1.3 Adición de químicos al guano

Descripción

Esta medida consiste en la adición química de alumbre a la cama de aves. El alumbre se utiliza para estabilizar la cama de las aves y reducir las emisiones de amoníaco. El alumbre, un compuesto formador de ácido, mantiene el pH de la arena de las aves por debajo de 7, lo que inhibe la volatilización del amoníaco. Esta medida es evaluada por la EPA y la Oficina de Planificación y Normas de Calidad del Aire (2006).

Las emisiones se reducen en un 75% respecto a un escenario sin control. La efectividad de la medida de control es mayor durante la primera parte del ciclo de crecimiento (eficiencia mayor a 95%).

Tabla 7-26 Eficiencias de reducción de emisiones de amoníaco para medida adición de químicos al guano en pabellones de aves

Eficiencia	Fuente
75%	EPA, 2006

Fuente: Elaboración propia

Aplicabilidad

Aplica a todas las operaciones de aves y pollos asociadas a emisiones de desechos avícolas

Reducción de costos en ventilación debido a los menores niveles de amoníaco. Mayor valor del fertilizante debido a mayores niveles de nitrógeno.

7.2.1.4 Bioscrubbers (biodepuradores)

Descripción

Misma medida que para el sector porcino (ver sección 7.1.1.9)

Reducción de amoniaco

La eficiencia de reducción de las emisiones de amoniaco en alojamientos de aves ponedoras y broilers es de 70% de acuerdo a la Comisión Europea (2015a). Tal como se explica en la Sección 7.1.1.9, la eficiencia de reducción en instalaciones avícolas tiende a ser menor debido a la alta carga de polvo y plumas que disminuyen la eficiencia del depurador.

Tabla 7-27 Eficiencias de reducción de emisiones de amoniaco para medida bioscrubbers en pabellones de aves

Eficiencia	Fuente
70%	European Commission, 2015

Fuente: Elaboración propia

Aplicabilidad

Los biodepuradores son más adecuados para la producción porcina, ya que en los galpones avícolas disminuye la eficiencia del depurador (ver Sección 7.1.1.9). Simultáneamente se reducen las emisiones de amoniaco, olores y polvo.

Desventajas

Ver Sección 7.1.1.9

7.2.1.5 Depurador de ácido húmedo

Descripción

Ver Sección 7.1.1.10

Reducción de amoniaco

La eficiencia de reducción de las emisiones de amoniaco en alojamientos de aves varía entre 70 y 90% de acuerdo a la Comisión Europea (2015a). Tal como se explica en la Sección 7.1.1.10, la eficiencia de reducción en instalaciones avícolas tiende a ser menor debido a la alta carga de polvo y plumas que disminuyen la eficiencia del depurador.

Tabla 7-28 Eficiencias de reducción de emisiones de amoniaco para medida ozonización en alojamientos de cerdos

Eficiencia	Fuente
70-90%	European Commission, 2015

Fuente: Elaboración propia

Aplicabilidad

Ver Sección 7.1.1.10

Beneficios adicionales

Ver Sección 7.1.1.10

Desventajas

Ver Sección 7.1.1.10

7.2.2 Medidas a aplicar en la etapa del manejo

7.2.2.1 Cubierta para estiércol sólido almacenado

Descripción

Ver Sección 7.1.2.7

Reducción de amoniaco

Los montones de estiércol deben ser cubiertos lo antes posible debido a que la mayoría del amoniaco se evapora en los primeros días. Se deben distribuir de manera de reducir al máximo la superficie ocupada. Las reducciones de amoniaco se producen cuando se aplica la cubierta y luego se deja sin intervenir hasta el próximo ciclo de cultivo. En la siguiente tabla se presentan las eficiencias de reducción de amoniaco al cubrir estiércol sólido de diferentes categorías de animales (European Commission, 2015a).

Tabla 7-29 Eficiencias de reducción de emisiones de amoniaco al cubrir estiércol sólido almacenado de aves

Categoría animal	Sistema de recolección	Eficiencia remoción	Fuente
Ave broiler	Cama caliente	33%	European Commission, 2015
Ave ponedora	Pozo profundo	52%	European Commission, 2015
Ave ponedora	Cintas transportadoras	74%	European Commission, 2015
Aves ponedoras	Cama caliente	50%	European Commission, 2015
Aves broilers, patos y pavos	Cama caliente	47%	European Commission, 2015
Eficiencia promedio		51%	

Fuente: Elaboración propia

Aplicabilidad

Ver Sección 7.1.2.7

Beneficios adicionales

Ver Sección 7.1.2.7

7.3 Medidas a Incluir

El foco al momento de evaluar una medida de reducción de emisiones siempre debe estar en la Mejor Técnica Disponible (MTD). Esto POCH (2016) lo enfrenta con una revisión internacional de

las tecnologías disponibles y recomendadas. El Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España (MAGRAMA, 2010c) crea una guía con las Mejores Técnicas Disponibles para el sector porcino y propone los siguientes criterios para definir las mejores técnicas

- Mejores: las técnicas más eficaces para alcanzar un alto nivel general de protección del medio ambiente en su conjunto y de la salud de las personas
- Técnicas: la tecnología utilizada, junto con la forma en que la instalación está diseñada, construida, mantenida, explotada o paralizada
- Disponibles: las técnicas desarrolladas a una escala que permita su aplicación en el contexto del correspondiente sector industrial, en condiciones económicas y técnicamente viables, tomando en consideración los costes y beneficios, tanto si las técnicas se utilizan o producen en España, como si no, siempre que el titular pueda tener acceso a ellas en condiciones razonables

En adelante, al referirse a las MTD se evaluarán con respecto a los criterios mencionados.

Es importante mencionar que en Europa (European Commission, 2015a; MAGRAMA, 2010c) se considera que una medida relevante debido a su eficacia e impacto sobre todo el proceso productivo es la estrategia alimentaria. La estrategia alimentaria busca reducir la producción de nitrógeno en la excreta mediante la optimización del alimento en cuanto a contenido nutricional, disponibilidad de nutrientes y equilibrio de componentes. Si bien esta medida genera reducción de emisiones, en este estudio no se considerará debido a que no es un parámetro que se pueda alterar libremente. La composición del alimento se define como el punto óptimo para maximizar variables tales como nutrición y salud del animal, peso final, contenido nutricional de la carne, etc. La importancia de estos factores vuelve secundario el factor de reducción de emisiones de amoníaco, por lo cual se enfocan las medidas en otras etapas de la crianza animal.

Al aplicar los criterios mencionados previamente mencionados a las medidas de reducción de emisiones para aves y cerdos se determinan las medidas a evaluar que se encuentran expuestas en la tabla a continuación:

Tabla 7-30 Medidas a considerar en la guía metodológica

Animal	Etapas	Medida para reducción de emisiones	Eficiencia de reducción de amoníaco	
Cerdos	Pabellón	Biofiltro (Pabellón abierto)	70%	Remoción
		Mejora a sistemas Slat-Pit, implementación de foso en forma de V	43%	Reducción
		Cambio de sistema Slat-Pit a Cama caliente	46%	Reducción
	Almacenamiento	Cubierta - geotextil	72%	Retención
		Cubierta - geotextil + filtro de carbón activado	89%	
		Cubierta flotante	82%	
	Pretratamiento	Modificación de pH*	70%	
	Manejo de purín	Biodigestor anaeróbico	0-25%	Remoción
			0%	Emisión
		Lodos activados	80%	Remoción
			48%	Emisión
		Lombrifiltro	65%	Remoción
			48%	Emisión
			55%	Remoción
	Tratamiento	Nitrificación-desnitrificación	48%	-
Aves	Pabellón	Extracción automática de guano	70%	Reducción

*La medida de modificación de pH se aplica en el pozo homogenización y no es compatible con ninguna otra medida.

Fuente: Elaboración propia

8. Estimación de emisiones

La metodología para la estimación de emisiones de amoníacos de un plantel de crianza intensiva de animales (cerdos o aves) consiste en la elaboración de 6 pasos, los cuales se presentan a continuación (EPA, 2004a):

- Paso 1: Estimación del número de animales (según tipo de animal y categoría)
- Paso 2: Identificación de las Cadena de Manejo de Estiércol (MMT por sus siglas en inglés) utilizadas para cada grupo animal y la distribución de la población animal que utiliza cada tipo de MMT
- Paso 3: Estimación de la cantidad de nitrógeno excretada por los animales (según tipo y categoría), considerando la MMT utilizada
- Paso 4: Identificación o desarrollo de factores de emisión para cada componente de cada cadena de manejo
- Paso 5 Estimación de emisiones de amoníaco para cada grupo animal de cada MMT para el sector y año del inventario
- Paso 6: Estimación de las emisiones futuras de amoníaco

A continuación se detalla el paso a paso para la estimación de las emisiones.

8.1 Paso 1: Estimación del número de animales

La EPA divide los cerdos en 5 categorías según su peso y estado de desarrollo, en Chile generalmente se realiza la cuantificación siguiendo dos categorías, reproductora y crianza/engorda (Ministerio de Agricultura (MINAGRI), 2019).

Las categorías a utilizar para cerdos son las siguientes:

- Cerdos reproductores: corresponden a las cerdas madre, debido a esto tienen un gran peso ya que se encuentran en período de gestación o lactancia. En esta etapa se encuentran los animales reproductores (machos y hembras), además de los lechones hasta su destete (Ministerio de Agricultura (MINAGRI), 2019). Incluye las categorías de gestación, maternidad, verraco y cría/lechón¹⁰.
- Cerdos de engorda: corresponden a los cerdos en cualquiera de sus estados de desarrollo, entre los 21 y 180 días aproximadamente. En esta etapa se realizan las actividades asociadas al crecimiento y engorda (crianza) de los animales desde el destete hasta la salida del plantel (Ministerio de Agricultura (MINAGRI), 2019). Incluye las categorías de recría y engorda

¹⁰ Se incluyen las crías en reproducción debido a que, en la crianza de cerdos, las crías se mantienen junto a la madre para su crecimiento y alimentación, hasta los 16 kg, por lo cual, un pabellón que cuente con cerdas madres, también tendrá crías.

Las categorías a utilizar para aves son:

- Gallinas
 - Broiler engorda
 - Reproductora broiler
 - Ponedora
- Pavos

Identificar, para cada categoría de animal, el número de animales, por pabellón.

8.2 Paso 2: Identificación de las Cadena de Manejo de Estiércol (CME)

En la ganadería la emisión de amoniaco se encuentra directamente relacionada con las excretas de los animales. Es por esta razón que se da especial énfasis a la cadena de manejo de excretas durante todo el proceso y la vida del animal. Esta cadena tiene diversos componentes y emisiones relacionadas a cada uno de ellos, la Tabla 8-1 y la Tabla 8-2 presentan las opciones para la cadena de manejo de excretas.

8.2.1 Sector Cerdos

Tabla 8-1 Identificación de los componentes de las cadenas de manejo de excretas en planteles de cerdos

Componente		Opciones
Sistema de recolección/evacuación de purinas		Slat-Flush
		Slat-Pit
		Cama caliente
		Cemento
Manejo del purín	Almacenamiento	Laguna de acumulación de purín crudo
		Laguna de acumulación de purín tratado
	Pretratamiento	Separación de sólidos
		Pozo de homogenización
	Tratamiento	Lombrifiltro
		Lodos activados
		Biodigestor
		Nitrificación-denitrificación
		Compostaje
Destino final del purín		Aplicación líquida
		Aplicación sólida
		Alimento

Fuente: Elaboración propia

Para porcinos se debe identificar, para cada pabellón (considerando la categoría y número de animal identificados en el paso anterior), la cadena de manejo de la excreta, con los siguientes componentes:

1. Sistema de recolección: sólo una opción por pabellón.
2. Procesos de manejo del purín: puede ser más de un proceso. Se debe identificar claramente el orden de los procesos y si es que los pabellones tienen una sola cadena que reúne los purines o más de una (identificando cada cadena por separado y los purines de qué pabellón recolecta).
3. Destino del purín: identificar el uso que se le da al purín una vez que completa el tratamiento (si es que hay uno o más destinos, identificando el pabellón al cual corresponde cada destino).

8.2.2 Sector Aves

Tabla 8-2 Identificación de los componentes de las cadenas de manejo de excretas en planteles de aves

Componente	Opciones
Sistema de recolección	Cama caliente
	Suelo
	Jaula
	Extracción automática
Almacenamiento/tratamiento	Compostaje
	Acopio/abono
Destino	Aplicación líquida
	Aplicación sólida
	Alimento

Fuente: extracto de POCH (2016)

Para aves se debe identificar, para cada pabellón (considerando la categoría y número de animal identificados en el paso anterior), la cadena de manejo de la excreta, con los siguientes componentes:

1. Sistema e recolección: sólo una opción por pabellón.
2. Almacenamiento/tratamiento: una opción de almacenamiento de la excreta (o tratamiento, en el caso de compostaje).
3. Destino de la excreta: identificar el uso que se le da a la excreta una vez que completa el tratamiento (si es que hay uno o más destinos, identificando el pabellón al cual corresponde cada destino).

8.3 Paso 3: Estimación de la cantidad de nitrógeno excretada

La emisión de nitrógeno está directamente relacionada con la generación de excretas de los animales, ya que este forma parte de la composición. Para estimar la cantidad de nitrógeno

excretado en una instalación se utiliza una tasa de excreción para cada animal promedio (kg/día) y de este se obtiene la fracción de nitrógeno de la excreta (kgN/día) (EPA, 2004a).

$$N_{\text{excretado CME}} = \text{PoblaciónAnimal}_{\text{CMEj}} \times \text{Peso} \times N_{\text{tasa}} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde,

$N_{\text{excretado CME}}$:	Nitrógeno total excretado en una cadena de manejo de excretas (CME) j [kg/día]
$\text{PoblaciónAnimal}_{\text{CMEj}}$:	Fracción de la población animal que utiliza la CMEj [número de animales]
Peso :	Peso promedio por animal [kg/cabeza]
N_{tasa} :	Tasa de excreción de nitrógeno por tipo de animal [kg/1000kg de masa animal/día]

La Tabla 8-3 expone las tasas de excreta a utilizar por categoría de animal.

Tabla 8-3 Tasa de excreción de nitrógeno según tipo y categoría de animal

Animal	Categoría	Promedio de TNE (kg N/animal/año)
Cerdo	Engorda	12,6
	Reproductor	17,4
Gallina	Broiler engorda	0,4
	Broiler reproductora	0,8
	Ponedora	0,5
Pavo		1,8

Estos valores son calculados a partir de la tasa de excreción de nitrógeno por kg de animal y el peso promedio por categoría animal

Fuente: Elaboración propia a partir de (BREF, 2017; EPA, 2004a)

8.4 Paso 4: Identificación o desarrollo de factores de emisión para cada componente de cada cadena de manejo

En Chile no se cuenta con factores nacionales de emisión de amoníaco para animales ganaderos, por lo cual se deben identificar factores de emisión internacionales y analizar la aplicabilidad en Chile. Estos factores de emisión se pueden presentar como emisión por animal o como porcentaje del nitrógeno entrante a cada etapa que es emitido como amoníaco.

A continuación se presentan los factores de emisión a utilizar para la estimación de las emisiones de amoníaco de la cadena completa.

8.4.1 Sector Cerdos

Tabla 8-4 Factores de emisión de amoniaco por tipo de cerdo y componente de la CME

Etapa		Alternativa	FE NH3	Unidad de Medida
Instalación		Cama caliente	4,50	Kg/cabeza/año
		Cemento	2,41	
		Raspador	1,65	
		Slat-flush	2,08	
		Slat-pit	2,76	
		Suelo inclinado	1,22	
Manejo	Almacenamiento	Almacenaje sólido	45%	Nitrógeno volatilizado como amoniaco
		Almacenaje líquido	48%	TAN volatilizado
		Laguna de acumulación de purín crudo o tratado	40%	
			71%	
	Pretratamiento	Pozo de homogenización	6,6%	Amoniaco volatilizado
	Tratamiento	Biodigestor	12,5% (remoción) (0% emisión)	
		Tratamiento aeróbico	60% (remoción) (48% emisión)	
		Nitrificación - denitrificación	55% (remoción) (48% emisión)	
		Compostaje	63% (remoción)	Nitrógeno volatilizado como amoniaco

Fuente: Elaboración propia en base a (BREF, 2017; EPA, 2004a; IPCC, 2019; POCH, 2016; SISTAM Ingeniería, 2013)

8.4.2 Sector Aves

Tabla 8-5 Factores de emisión de amoniaco por tipo de ave y componente de la CME

Categoría	Alternativa	Etapas	FE NH3	
Broiler engorda	Instalación	Cama caliente	0,11	kg/cabeza/año
		Extracción automática	0,11	
		Jaula	0,20	
		Suelo	0,31	
	Almacenamiento (abierto)		20%	Nitrógeno volatilizado como amoniaco
Ponedora	Instalación	Cama caliente	0,49	kg/cabeza/año
		Extracción automática	0,08	
		Jaula	0,14	
	Almacenamiento (abierto)		14%	TAN volatilizado
Pavo	Instalación	Cama caliente	0,20	kg/cabeza/año
		General	0,51	
	Almacenamiento (abierto)		24%	TAN volatilizado
General	Compostaje		63%	Nitrógeno volatilizado como amoniaco

Fuente: Elaboración propia en base a (Arogo et al., 2006; BREF, 2017; EPA, 2004a; Hutchings et al., 2015; IPCC, 2019; POCH, 2016; SISTAM Ingeniería, 2013; Wang et al., 2009)

8.4.3 Incorporación de medidas de reducción de emisiones en la línea base

A continuación, se presentan las principales medidas de reducción de emisiones de amoniaco que se pueden aplicar durante la cadena de manejo de excretas junto con sus eficiencias de reducción. Es importante considerar estas medidas de reducción a la hora de calcular las emisiones de los componentes de la cadena.

Tabla 8-6 Medidas de reducción de emisiones de amoníaco

Animal	Etapas	Medida para reducción de emisiones	Eficiencia de reducción de amoníaco	
Cerdos	Pabellón	Biofiltro (Pabellón abierto)	70%	Remoción
		Mejora a sistemas Slat-Pit, implementación de foso en forma de V	43%	Reducción
		Cambio de sistema Slat-Pit a Cama caliente	46%	Reducción
	Almacenamiento	Cubierta - geotextil	72%	Retención
		Cubierta - geotextil + filtro de carbón activado	89%	
		Cubierta flotante	82%	
	Pretratamiento	Modificación de pH*	70%	
	Manejo de purín	Biodigestor anaeróbico	0-25%	Remoción
			0%	Emisión
		Lodos activados	80%	Remoción
			48%	Emisión
		Lombrifiltro	65%	Remoción
			48%	Emisión
		Nitrificación-desnitrificación	55%	Remoción
			48%	-
Aves	Pabellón	Extracción automática de guano	70%	Reducción

*La medida de modificación de pH se aplica en el pozo homogenización y no es compatible con ninguna otra medida.

Fuente: Elaboración propia

En el caso de que se cuente con alguna de estas medidas en la línea base del plantel se deberá identificar en qué parte de la cadena se encuentra dicha medida para poder estimar las emisiones considerando las reducciones asociadas a dicha medida.

Por ejemplo si es que el plantel cuenta con una laguna ya cubierta, las emisiones de la etapa laguna de 71% de nitrógeno y dentro de ese 71% un 40% de amoníaco (según valores de la Tabla 8-4), serán todas reducidas en un 72% debido a la retención de emisiones atribuida a una cubierta de geotextil. Esto tendrá dos efectos, disminuirán las emisiones de ese componente de la cadena de manejo, sin embargo, el segundo efecto es que las emisiones retenidas se mantienen en el flujo de excretas, por lo cual la siguiente componente de la cadena de manejo probablemente tendrá emisiones mayores.

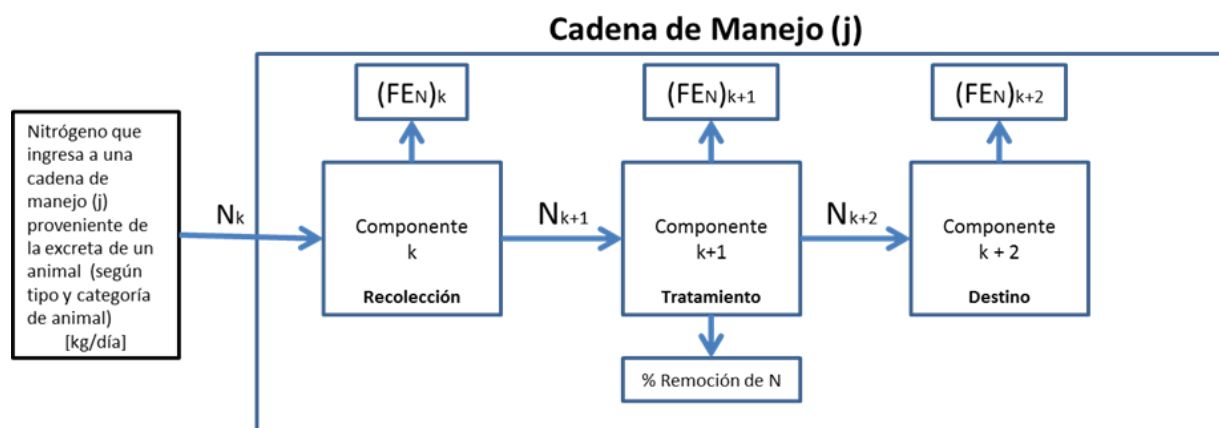
Si es que se busca considerar la presencia de un biodigestor, este genera remoción de emisiones (12,5%, según la Tabla 8-4) pero además es un proceso cerrado, por lo cual sólo removerá emisiones, sin generar una nueva instancia de emisiones. Esto no ocurre al incorporar un tratamiento aeróbico, ya que lodos activados, lombrifiltro u otros incorporan a la cadena un

tratamiento de reducción de emisiones pero también incorporan una nueva fuente de emisión ya que son tratamientos cerrados. La manera de incorporar dicho tratamiento a la cadena es considerar una fuente de emisión de almacenaje líquido (48%, según la Tabla 8-4), de la cual se remueve un porcentaje de dichas emisiones y finalmente el flujo de excretas tendrá menor contenido de nitrógeno para dicha etapa.

8.5 Paso 5: Estimación de emisiones de amoníaco para cada grupo animal de cada MMT para el sector y año del inventario

Con la identificación de la categoría y número de animales por pabellón (Paso 1, Sección 8.1), la cadena de manejo de cada pabellón (Paso 2, Sección 8.2) y la excreción de nitrógeno asociada a cada cadena (Paso 3, Sección 8.3) y los factores de emisión identificados (Paso 4, Sección 8.4) se podrá estimar la emisión de amoníaco en cada plantel animal.

Figura 8-1 Modelo conceptual de la cadena de manejo de estiércol



$$N_{k+1} = N_k - \text{Lo emitido}_k$$

$$N_{k+2} = N_{k+1} - \text{Lo emitido}_{k+1} - \text{Lo removido}$$

$$\text{Lo emitido}_{k/k+1} = (FEN)_{k/k+1} \times N_{k/k+1}$$

$$\text{Lo removido} = (N_{k+1} - \text{Lo emitido}_{k+1}) \times (1 - \% \text{ Remoción de N})$$

Fuente: Elaboración propia

Considerando ambos enfoques, nitrógeno liberado como amoníaco por cabeza y porcentaje de nitrógeno liberado en la cadena de manejo de excretas, se generan ecuaciones que permiten calcular el amoníaco total liberado a la atmósfera por la crianza ganadera.

Se define de antemano

i: tipo y categoría de animal

j: diferentes cadenas de manejo de excretas

k: componente particular de una cadena de manejo

Entonces, la emisión de amoníaco desde un componente (k), de una cadena de manejo (j), con un factor de emisión expresado como porcentaje de amoníaco liberado se calcula con la siguiente expresión (POCH, 2016):

$$NH_{3ij,k} = N_{en\ flujo\ etapa\ k-1} \times FE_{j,k} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde,

$NH_{3ij,k}$:	Emisión de amoníaco para el componente (k) de la CME (j) [kgNH ₃ /año]
$N_{en\ flujo\ etapa\ k-1}$:	Nitrógeno restante en el flujo luego de pasar por la etapa k-i de la cadena de manejo del purín [kgN]
$FE_{j,k}$:	Factor de emisión por componente (k) de la CMEj [% de volatilización de amoníaco]

En el caso de que el componente (k) de la cadena de manejo (j) cuente con una medida de reducción de emisiones, se debe incorporar esta reducción en el cálculo de la emisión de la siguiente forma:

$$NH_{3ij,k} = N_{en\ flujo\ etapa\ k-1} \times FE_{j,k} \times (1 - ER_{j,k}) \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde,

$NH_{3ij,k}$:	Emisión de amoníaco para el componente (k) de la CME (j) [kgNH ₃ /año]
$N_{en\ flujo\ etapa\ k-1}$:	Nitrógeno restante en el flujo luego de pasar por la etapa k-i de la cadena de manejo del purín [kgN]
$FE_{j,k}$:	Factor de emisión por componente (k) de la CMEj [% de volatilización de amoníaco]
$ER_{j,k}$:	Eficiencia de reducción de las emisiones de amoníaco para el componente (k) de la CME (j) [% de volatilización de amoníaco]

Cuando el factor de emisión es expresado como el porcentaje de nitrógeno perdido¹¹ desde el componente (k) de la cadena de manejo (j) se utiliza la siguiente expresión (POCH, 2016):

$$NH_{3ij,k} = N_{en\ flujo\ etapa\ k-1} \times FE_{j,k} \times \frac{17NH_3}{14N} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde,

¹¹ Al presentar un factor de emisión como el porcentaje de nitrógeno volatilizado como amoníaco se debe hacer la transformación por el peso molecular para obtener la emisión de amoníaco

$NH_{3i,j,k}$:	Emisión de amoníaco para animales de categoría (i) desde el componente (k) de la CME (j) [kgNH ₃ /año]
$N_{en\ flujo\ etapa\ k-1}$:	Nitrógeno restante en el flujo luego de pasar por la etapa k-1 de la cadena de manejo del purín [kgN]
$FE_{j,k}$:	Factor de emisión por componente (k) de la CMEj [% de nitrógeno]
$\frac{17NH_3}{14N}$:	Factor de conversión molar de nitrógeno volatilizado a emisión de nitrógeno amoniacal

A la vez, para calcular el nitrógeno restante en el flujo se debe llevar el porcentaje de amoníaco emitido a nitrógeno, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$N_{restante\ en\ el\ flujo} = N_{en\ flujo\ etapa\ k-1} \times FE_{j,k} \times \frac{14N}{17NH_3} \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde,

$N_{restante\ en\ el\ flujo}$:	Nitrógeno restante en el flujo de la cadena de manejo [kgN]
$N_{en\ flujo\ etapa\ k-1}$:	Nitrógeno en el flujo luego de pasar por la etapa k-1 de la cadena de manejo del purín [kgN]
$FE_{j,k}$:	Factor de emisión por componente (k) de la CMEj [% de nitrógeno volatilizado como amoníaco]
$\frac{14N}{17NH_3}$:	Factor de conversión molar de amoníaco volatilizado a emisión de nitrógeno

Finalmente, para calcular la emisión de una cadena de manejo de excretas j completa se deben sumar las emisiones de cada componente como muestra la siguiente ecuación (POCH, 2016):

$$Emisión\ de\ Amonio_{CME\ completa} = \sum_k \sum_i NH_{3i,j,k} \quad \text{Ecuación 14}$$

Tabla 8-7 Cálculo de emisiones para un pabellón de crianza de cerdos

Etapa		Emisión de nitrógeno		Nitrógeno restante en el flujo
Cantidad de animales	Reproductora (X _{rep})	Excreción de N = Número de animales x Peso x Tasa de generación de nitrógeno (T _{EN})	E _{N-rep} = X _{rep} x T _{EN-rep}	N _{inicial} = (E _{N-rep} + E _{N-eng})
	Engorda (X _{eng})		E _{N-eng} = X _{eng} x T _{EN-emg}	
Cadena de Manejo	Pabellón ₁	Emisión _{pabellón 1} = FE _{pabellón 1} x (X _{rep} + X _{eng})		N _{restante post pabellón 1} = (E _{N-rep} + E _{N-eng}) - Emisión _{pabellón 1}
	Componentes de cadena de manejo de purín	Emisión _{componente 1}	= N _{restante post pabellón 1} · %Pérdida de NH ₃ Componente 1 · (1 – ER _{Componente 1})	N _{restante post comp 1} = N _{restante post pabellón 1} – Emisión _{componente 1} x (14/17)
		Emisión _{componente 2}	= N _{restante post componente 1} · %Pérdida de NH ₃ Componente 2 · (1 – ER _{Componente 2})	N _{restante post comp 2} = N _{restante post componente 1} – Emisión _{componente 2} x (14/17)
Emisión Total de Amoniaco Pabellón 1 = Emisión _{pabellón 1} + Emisión _{componente 1} + Emisión _{componente 2}				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8-8 Cálculo de emisiones para un pabellón de crianza de aves

Etapa		Emisión de nitrógeno		Nitrógeno restante en el flujo
Cantidad de animales	Ponedora (X_{pon})	Excreción de N = Número de animales x Peso x Tasa de generación de nitrógeno (T_{EN})	$E_{N-rep} = X_{pon} \times T_{EN-pon}$	$N_{inicial} = (E_{N-pon} + E_{N-beng} + E_{N-brep} + E_{N-pavo})$
	Broiler engorda (X_{beng})		$E_{N-beng} = X_{beng} \times T_{EN-beng}$	
	Reproductora broiler (X_{brep})		$E_{N-brep} = X_{brep} \times T_{EN-brep}$	
	Pavos (X_{pav})		$E_{N-pavo} = X_{pavo} \times T_{EN-pavo}$	
Cadena de Manejo	Pabellón ₁	$Emisión_{pabellón\ 1} = FE_{pabellón\ 1} \times (X_{pon} + X_{beng} + X_{brep} + X_{pavo})$		$N_{restante\ post\ pabellón\ 1} = (E_{N-pon} + E_{N-beng} + E_{N-brep} + E_{N-pavo}) - Emisión_{pabellón\ 1} \times (\frac{14}{17})$
	Almacenamiento	Emisión _{almacenamiento}	$= N_{restante\ post\ pabellón\ 1} \times Pérdida\ de\ NH_3\ almacenamiento \cdot (1 - ER_{almacenamiento})$	$N_{restante\ post\ almacenamiento} = N_{restante\ post\ pabellón\ 1} - Emisión_{almacenamiento} \times (\frac{14}{17})$
Emisión Total de Amoníaco Pabellón 1 = Emisión_{pabellón 1} + Emisión_{almacenamiento}				

Fuente: Elaboración propia

8.6 Paso 6: Estimación de las emisiones futuras de amoniaco

El cálculo de las estimaciones futuras, para el caso de la presente guía, cumple la funcionalidad de analizar el impacto, en las emisiones de amoniaco de un plantel, de la implementación de medidas de reducción de emisiones.

A continuación, se presentan las principales medidas de reducción de emisiones de amoniaco que se pueden aplicar durante la cadena de manejo de excretas junto con sus eficiencias de reducción.

Tabla 8-9 Medidas de reducción de emisiones de amoniaco

Animal	Etapas	Medida para reducción de emisiones	Eficiencia de reducción de amoniaco	
Cerdos	Pabellón	Biofiltro (Pabellón abierto)	70%	Remoción
		Mejora a sistemas Slat-Pit, implementación de foso en forma de V	43%	Reducción
		Cambio de sistema Slat-Pit a Cama caliente	46%	Reducción
	Almacenamiento	Cubierta - geotextil	72%	Retención
		Cubierta - geotextil + filtro de carbón activado	89%	
		Cubierta flotante	82%	
	Pretratamiento	Modificación de pH*	70%	
	Manejo de purín	Biodigestor anaeróbico	0-25%	Remoción
			0%	Emisión
		Lodos activados	80%	Remoción
			48%	Emisión
		Lombrifiltro	65%	Remoción
			48%	Emisión
		Nitrificación-desnitrificación	55%	Remoción
			48%	-
Aves	Pabellón	Extracción automática de guano	70%	Reducción

*La medida de modificación de pH se aplica en el pozo homogenización y no es compatible con ninguna otra medida.

Fuente: Elaboración propia

Se busca que la implementación de medidas para la reducción de emisiones de amoniaco sea lo más eficiente posible, para ese fin, se debe seleccionar la medida a evaluar, siguiendo los criterios presentados a continuación:

- Categoría animal.
- Etapa de la cadena de manejos que, en línea base, cuenta con mayor emisiones.

- Seleccionar potenciales medidas a implementar, considerando las reducciones que se busca alcanzar.
- Evaluar factibilidad de implementación de posibles medidas en el plantel, considerando por lo menos, espacio físico de implementación, disponibilidad tecnológica, factibilidad económica, factibilidad temporal de implementación.
- Estimar las emisiones para luego tomar la decisión de la medida a evaluar.

Una vez seleccionada la medida a evaluar se debe identificar en qué posición, de la cadena de manejo completa, se incorporará.

Si se implementará en un componente existente, se deberá implementar la reducción a las emisiones atribuidas a dicho componente. Si se incorporará como un nuevo componente de la cadena (por ejemplo en el caso de biodigestores o tratamientos aerobios) se deben identificar las emisiones atribuibles a dicho nuevo componente, para luego aplicar la reducción esperada para dicha tecnología.

Para incorporar en el componente (k) de la cadena de manejo (j) una medida de reducción de emisiones, se debe considerar esta reducción en el cálculo de la emisión de la siguiente forma:

$$NH_{3_{i,j,k}} = N_{en\ flujo\ etapa\ k-1} \times FE_{j,k} \times (1 - ER_{j,k}) \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde,

$NH_{3_{i,j,k}}$:	Emisión de amoníaco para el componente (k) de la CME (j) [kgNH ₃ /año]
$N_{en\ flujo\ etapa\ k-1}$:	Nitrógeno restante en el flujo luego de pasar por la etapa k-i de la cadena de manejo del purín [kgN]
$FE_{j,k}$:	Factor de emisión por componente (k) de la CMEj [% de volatilización de amoníaco]
$ER_{j,k}$:	Eficiencia de reducción de las emisiones de amoníaco para el componente (k) de la CME (j) [% de volatilización de amoníaco]

Para estimar la reducción de emisiones de amoníaco total obtenida para el plantel, se debe seguir la siguiente ecuación.

$$Reducción\ emisiones_{NH_3} = 1 - \frac{Emisión\ Total\ Plantel_{escenario\ de\ reducción}}{Emisión\ Total\ Plantel_{línea\ base}} \quad \text{Ecuación 16}$$

9. Bibliografía

- Aarnink, A. J. A., Keen, A., Metz, J. H. M., Speelman, L., & Verstegen, M. W. A. (1995). Ammonia emission patterns during the growing periods of pigs housed on partially slatted floors. *Journal of Agricultural Engineering Research*, Vol. 62, pp. 105–116. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1006/jaer.1995.1069>
- Andersson, M. (1998). Reducing ammonia emissions by cooling of manure in manure culverts. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 51(1), 73–79. <https://doi.org/10.1023/A:1009755311356>
- Aqualogy. (2014). *Generación de antecedentes para la elaboración de una regulación para el control y prevención de olores en Chile*.
- Arogo, J., Westerman, P. W., Heber, A. J., Robarge, W. P., & Classen, J. J. (2006). Ammonia emissions from animal feeding operations. *National Center for Manure and Animal Waste Management*.
- ASPROCER. (2008). *Alternativas para el manejo de purines*. 1–32. Retrieved from www.asprocer.cl
- BREF, E. comission. (2017). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs* No Title.
- Chowdhury, A., Rong, L., Feilberg, A., & Adamsen, A. P. S. (2014). Review of ammonia emissions from a pig house slurry pit and outside storage: Effects of emitting surface and slurry depth. *The Danish Environmental Protection Agency*, (1611), 1–30.
- DICTUC. (2019). *Apoyo en el proceso de levantamiento de antecedentes técnicos para el proceso de elaboración de norma de emisión de olores de planteles porcinos en Chile*.
- DIMSERS A.C. (n.d.). Sistema de Recojo de Guano. Retrieved August 31, 2016, from Perú website: <http://www.dimsersac.com/recojodeguano.html>
- Dong, H., Mangino, J., McAllister, T. A., Hatfield, J. L., Johnson, D. E., Lassey, K. R., ... Romanovskaya, A. (2006). Capítulo 10: Emisiones resultantes de la gestión del ganado y del estiércol. In *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de GEI. Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra* (pp. 1–91).
- E.H. Pechan & Associates, I. (2006). *Air Control Net* (I. E.H. Pechan & Associates, Ed.). Springfield, VA: US Government.
- Envirometrika. (2020). *Generación de antecedentes técnicos para la elaboración de la norma de emisión de olores para centros de cultivos y plantas procesadoras de recursos hidrobiológicos*.
- EPA. (2001). *Emissions From Animal Feeding Operations*. (68).
- EPA. (2004a). National Emission Inventory — Ammonia Emissions from Animal Husbandry Operations Draft Report. *Population (English Edition)*, 131.
- EPA. (2004b). *Review of Ammonia Emission Modeling Techniques for Natural Landscapes and Fertilized Soils*.
- EPA. (2013). *Important Information Concerning the Menu of Control Measures*. (310901), 11–12.
- EPA, & Office of Air Quality Planning and Standards. (2006). *Air Control Net* (I. E.H. Pechan & Associates, Ed.). Springfield, VA: US Government.

- European Commission. (2015a). *Best Available Techniques (BAT), Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry and Pigs*. (August 2015), 911.
- European Commission. (2015b). *Best Available Techniques (BAT), Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry and Pigs*. (August 2015), 911. <https://doi.org/10.2760/020485>
- European Commission. (2017). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs*. <https://doi.org/10.2760/020485>
- European Environment Agency. (2019). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 3.B Manure management 2019*. 1–70. Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/4-agriculture/3-b-manure-management/view>
- Germán, S., Georgitzikis, K., Scalet, B. M., Montobbio, P., Roudier, S., & Sancho, L. D. (2017). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs*.
- GreenLab-Dictuc. (2019). *Antecedentes para la elaboración de análisis económico de la Norma de Emisión de Olores para Sector Porcino*.
- GreenLab UC. (2016). *Análisis crítico AGIES y Anteproyecto PPDA RM Sector cerdos y aves Estudio solicitado por ASPROCER Informe Final*.
- Hassouna, M. V. A. G. N. B. C. E. N. E. T. E. S. E. M. G. S. L. S. L. E. L. L. P. P. R. P. (2019). *Database to collect emission values for livestock systems: ELFE database*. Retrieved from <https://doi.org/10.15454/MHJPYT>
- Hutchings, N., Amon, B., Dämmgen, U., & Webb, J. (2015). 3.B Manure Management. *EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook 2013*, (July), 1–14.
- IIASA. (2013). Policy Scenarios for the Revision of the Thematic Strategy on Air Pollution. *Laxenburg, International Institute for Applied Systems Analysis*, (TSAP report, No. 10).
- Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), & Scottish Environment Protection Agency (SEPA). (2002). *Horizontal Guidance for Odour. Part 2 - Assessment and Control*.
- IPCC. (2019). Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. In *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.
- Jaime Illanes y Asociados. (2016). *Revisión técnica artículos Anteproyecto del PPDA-RM relacionados con control de emisión del amoníaco (NH3)*.
- Jonassen, K. E. N. (2012). Emissions from pig units – effects of the age of slurry. *Pig Research Center, The Danish Agriculture & Food Council*.
- Jonassen, K., & Lyngbye, M. (2010). *Draining of slurry pits - A simple way to reduce emissions from pig housing units*. (711), 0–6.
- Klimont, Z., & Brink, C. (2004). Modelling of Emissions of Air Pollutants and Greenhouse Gases from Agricultural Sources in Europe. *IIASA*, (September), 75.
- MAGRAMA. (2010a). *Guía de Mejores Técnicas Disponibles del Sector Avicultura de Puesta*.
- MAGRAMA. (2010b). *Guía de Mejores Técnicas Disponibles del Sector de la Avicultura de Carne*.
- MAGRAMA. (2010c). *Guía de Mejores Técnicas Disponibles del Sector Porcino*.
- Ministerio de Agricultura (MINAGRI). (2005). *Recomendaciones Técnicas para la Gestión Ambiental en el Manejo de Purines de la Explotación Porcina*.
- Ministerio de Agricultura (MINAGRI). (2018). *Guía de Buenas Prácticas sobre Bienestar Animal en los diferentes Sistemas de Producción de Huevos*.

- Ministerio de Agricultura (MINAGRI). (2019). *Manual de Buenas Prácticas sobre Bienestar Animal en Sistemas de Producción de Cerdos*.
- MMA. DS 40 - *Aprueba reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental*. , (2013).
- MMA. (2016). *Decreto 31: Establece Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana de Santiago*. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2013.10.100>
- Ni, J. Q. (1999). Mechanistic Models of Ammonia Release from Liquid Manure: a Review. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 72(1), 1–17.
- Ni, J. Q., Vinckier, C., Coenegrachts, J., & Hendriks, J. (1999). Effect of manure on ammonia emission from fattening pig house with partly slatted floor. *Livestock Production Science*, 59(1), 25–31.
- Oosthoek, J., Kroodsma, W., & Hoeksma, P. (1991). *Ammonia emission from dairy and pig housing systems*.
- Philippe, F. X., Cabaraux, J. F., & Nicks, B. (2011). Ammonia emissions from pig houses: Influencing factors and mitigation techniques. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 141(3–4), 245–260. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.03.012>
- POCH. (2016). *Generación de Antecedentes Técnicos y Económicos para la Elaboración de Medidas para la Reducción de Emisiones del Sector Agropecuario, en el marco del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA) para la Región Metropolitana de Santiago*.
- Priem, R. (1977). *Deodorization by Means of Ozone*. 3, 229–237.
- SISTAM Ingeniería. (2013). *Actualización de metodología de estimación de emisiones de NH₃*.
- SISTAM Ingeniería. (2014). *Generación de antecedentes técnicos y económicos para la elaboración de una norma de emisión para calderas y procesos industriales con combustión en el sector industrial, comercial y residencial*.
- Sommer, S. G., Zhang, G. Q., Bannink, A., Chadwick, D., Misselbrook, T., Harrison, R., ... Webb, J. (2006). Algorithms Determining Ammonia Emission from Buildings Housing Cattle and Pigs and from Manure Stores. *Advances in Agronomy*, 89(05), 261–335. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(05\)89006-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(05)89006-6)
- Sutton MA, Reis, S, Riddick SN, Dragosits U, et. al. (2013). Towards a climate-dependent paradigm of ammonia emission and deposition. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 368, 1–13. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0166>
- USEPA. (2004). National emission inventory—ammonia emissions from animal husbandry operations (Draft Report). *United States Environmental Protection Agency*, (January 30), D1–D16.
- Wang, S., Zhao, L., Wang, X., Manuzon, R., Darr, M., Li, H., ... Ni, J. (2009). Estimation of Ammonia Emission from Manure Belt Poultry Layer Houses Using an Alternative Mass-Balance Method. *Iowa State University*, 0300(10), 20. <https://doi.org/10.13031/trans.57.10506>

10. Anexo 1: Recomendación del consultor acerca de la estimación de las emisiones en etapa de aplicación/destino

Existe una gran discusión con respecto a la etapa de aplicación para la estimación de emisiones de amoníaco. Esto se debe a que la agroindustria cuenta con una sobreposición de emisiones para la ganadería y la agricultura en este punto.

Se recomienda no considerar la etapa de aplicación en la estimación de emisiones de amoníaco para plantales de cerdos y aves ya que se considera que dicha emisión es atribuible a la agricultura que utilice las excretas como abono. La etapa de aplicación, rara vez está a cargo del productor de ganadería, si no que las excretas tratadas se venden o donan a terceros para su valorización como abono natural. Así además, se generarían incentivos para la retención de nitrógeno en las excretas (por medio de cubiertas y su transporte adecuado para evitar pérdidas de nitrógeno por volatilización), y aumentar su valor como abono para suelos agrícolas.

Se incorporará esta etapa como anexo a la guía para el posterior análisis desde una perspectiva legal acerca de la incorporación de dicha etapa. Se recomienda, en caso de uso, la elección de los factores propuestos por la EPA, en particular los porcentajes de emisión, ya que generará una alta diferencia en la emisión asociada a la aplicación si la excreta se encuentra en estado sólido o líquido y si dicha excreta contó con un tratamiento previo o no. Esto toma particular importancia al analizar la aplicación de purín de cerdos, ya que el tratamiento al que este purín puede ser sometido previamente afectará drásticamente el contenido de nitrógeno del flujo, y por lo tanto el nitrógeno (y amoníaco) que podrá ser emitido en la etapa de aplicación. Por este motivo se propone el uso de los porcentajes de emisión para aplicación líquida y sólida para aves boiler, pero para todos los tipos de aves, ya que esto permitirá incorporar la diferencia entre el estado de la materia de la excreta y también considerar la cantidad de nitrógeno disponible en el flujo. Para cerdos se propone el uso de porcentajes de volatilización para cerdos de engorda de la EPA, ya que no se considera que debiera existir una diferenciación entre la categoría de cerdos (esta variación ya se considera al momento de estimar la excreta y el flujo inicial de nitrógeno).

Adicionalmente se debe considerar en el análisis que las metas de reducción establecidas en el PPDA de la RM fueron determinados en base a un análisis de factibilidad previo que no consideró las emisiones para la etapa de aplicación o destino final. Al analizar escenarios posibles, si se considera la etapa de aplicación, no serían alcanzables los montos de reducción propuestos en la normativa.

Si se considera un escenario de un plantel con 10,000 cerdos de engorda y 2,500 cerdos reproductores, con un pabellón del tipo slat-pit, pozo de homogenización, laguna de acumulación y etapa final de aplicación líquida, se pueden calcular las emisiones de línea base como muestra la Tabla a continuación.

Tabla 10-1 Cálculo de emisiones de línea base para plantel de 12,000 animales

Etapa de la cadena de manejo de excreta					
	Excreción de nitrógeno	Instalación	Manejo		Aplicación
	kgN/año	kgNH3/año	6,6% emisión NH3	71% nitrógeno (40% amoniaco)	22% emisión NH3
		Slat-Pit	Pozo de homogenización	Laguna	líquida
Nitrógeno emitido	0	0		100.073	
Amoniaco emitido	0	34.500	9.303	56.379	7.307
% de emisión del total de Nitrógeno	0	20,4%	5,5%	59,1%	4,3%
Nitrógeno en flujo	169.360	140.948	133.287	33.214	27.196
Emisión total amoniaco: 107.489					

Fuente: Elaboración propia

Este plantel ficticio corresponde de manera ajustada a casi un 20% de los planteles existentes en la Región Metropolitana. Este plantel deberá implementar reducciones de emisiones, las medidas con mayores porcentajes de eficiencia son la cobertura a laguna (80% de retención) o un tratamiento aerobio (60% de remoción de NH₃). Las tablas a continuación presentan los cálculos ajustados para reflejar estos escenarios, se considera que, en ambos escenarios se implementa una cubierta al pozo homogenizador ya que esto es lo que establece el PPDA de la RM.

Tabla 10-2 Cálculo de emisiones – implementación cubierta a laguna

	Excreción de nitrógeno	Instalación	Etapas de la cadena de manejo de excreta		Aplicación
			Manejo		
	kgN/año	kgNH3/año	6,6% emisión NH3	71% nitrógeno (40% amoníaco)	22% emisión NH3
			80% de reducción	80% de reducción	
		Slat-Pit	Pozo de homogenización	Laguna	líquida
Nitrógeno emitido	0	0	0	20.015	0
Amoníaco emitido	0	34.500	1.861	11.276	26.268
% de emisión del total de Nitrógeno	0	20,4%	1,1%	11,8%	15,5%
Nitrógeno en flujo	169.360	140.948	139.416	119.401	97.769
Emisión total amoníaco: 73.905					
Reducción de emisiones de amoníaco: 31,2%					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10-3 Cálculo de emisiones – implementación cubierta a laguna

Etapa de la cadena de manejo de excreta					
	Excreción de nitrógeno	Instalación	Manejo		Aplicación
	kgN/año	kgNH3/año	6,6% emisión NH3	71% nitrógeno (40% amoniaco)	22% emisión NH3
			80% de reducción	80% de reducción	
		Slat-Pit	Pozo de homogenización	Laguna	líquida
Nitrógeno emitido	0	0		40.029	0
Amoniaco emitido	0	34.500	1.861	22.552	21.865
% de emisión del total de Nitrógeno	0	20,4%	1,1%	23,6%	12,9%
Nitrógeno en flujo	169.360	140.948	139.416	99.387	81.380
Emisión total amoniaco: 80.777					
Reducción de emisiones de amoniaco: 24,9%					

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar del cálculo de las emisiones para los diferentes escenarios, la reducción máxima alcanzable es de un 31,2%. El mismo ejercicio para un plantel de 35.000 cerdos de engorda y 2.500 cerdos reproductores, el cual tendría una obligación de reducción de un 40%, alcanzando sólo un 30,7% si se considera la etapa de aplicación.

El PPDA de la RM define el concepto de plantel como “espacio físico que consta de uno o más sectores, donde se encuentran los animales, operado en forma técnicamente independiente o con un manejo sanitario, y administrativo común.” (MMA, 2016). Esta definición deja fuera los lugares de disposición final del purín, ya que estos no se encuentran dentro del espacio físico de los planteles y, en la mayoría de los casos, se encuentra bajo una operación independiente.

Se destaca que, en el artículo 70 se explicita que las reducciones sí pueden realizarse en las etapas de la cadena de manejo (incluyendo la disposición final a suelos). En ese caso los planteles podrían actuar de forma similar a los esquemas de compensación, haciéndose responsable por la implementación de medidas durante las etapas de disposición. Esto sujeto a los mismos principios que tienen los planes de compensación (medibles, verificables, adicionales y permanentes).

11. Anexo 2: Identificación de Medidas de Reducción de Emisiones Potenciales a ser aplicadas en la etapa de aplicación

En general, las medidas de reducción de emisiones relacionadas a la etapa de aplicación se basan en reducir la cantidad de tiempo que el estiércol está expuesto a la atmósfera una vez aplicado. Para esto, se buscan técnicas para incorporar rápidamente el estiércol al suelo. En general, una técnica que aplica e incorpora el estiércol en una sola etapa va a tener menos emisiones que una técnica que requiere varias etapas (por ejemplo, inyección directa vs. esparcimiento seguido de incorporación mediante sistema de discos). Cuando el estiércol se incorpora al suelo, el amoníaco, COVs y sulfuro de hidrógeno se absorben en las partículas del suelo, permitiendo la oxidación mediante microorganismos del suelo a nitratos, sulfatos, dióxido de carbono y agua (EPA, 2001).

11.1.1 Medidas a aplicar en la etapa de aplicación en el Sector Porcino

11.1.1.1 Entierro del purín mediante arado de vertedera o cultivador

Descripción

El purín o estiércol se esparce mediante sistema de plato difusor y luego es enterrado mediante arado de vertedera o cultivador dentro de las 24 horas siguientes a la aplicación. Esta medida está evaluada en la Guía de Mejores Técnicas Disponibles del sector porcino de MAGRAMA (2010c).

Reducción de amoníaco

Reducción de las emisiones de amoníaco entre un 16 y 40% respecto al sistema de referencia (esparcidor en superficie convencional mediante sistema de plato difusor sin incorporación del purín al perfil del suelo de forma inmediata).

Aplicabilidad

Esta técnica sólo es aplicable en terrenos cultivables (no se puede emplear sobre praderas ni sobre cultivo)

11.1.1.2 Aplicación mediante sistema de mangueras

Descripción

El purín se aplica directamente sobre la superficie del terreno mediante la utilización de sistemas de mangueras. Esta medida está evaluada en la Guía de Mejores Técnicas Disponibles del sector porcino de MAGRAMA (2010c) y en la guía de Mejores Técnicas Disponibles (BAT) de la Comisión Europea (2017).

Reducción de amoníaco

MAGRAMA (2010c) indica una reducción de las emisiones de amoníaco entre un 40 y 50%, variable en función del tipo de terreno y la época de aplicación. Esta reducción es respecto al sistema de referencia (esparcidor en superficie convencional mediante sistema de plato difusor sin incorporación del purín al perfil del suelo de forma inmediata). Por otra parte, la Comisión Europea (2017) presenta un rango de reducción de emisiones de amoníaco entre 30 y 50% respecto a un esparcidor por difusión convencional.

La eficiencia de estas máquinas puede variar en función de la altura del cultivo. En particular, el potencial de reducción de las emisiones de amoníaco es mayor cuando el slurry se aplica debajo de cultivos bien desarrollados, en lugar de sobre suelo desnudo, ya que la dosel protege el slurry aplicado del viento y la radiación solar (European Commission, 2017).

Aplicabilidad

Esta técnica se puede aplicar en terrenos cultivables, en praderas y sobre cultivo. Su rendimiento de trabajo es similar al del sistema de plato difusor. Los equipos requieren un mantenimiento regular (MAGRAMA, 2010c).

Las mangueras de arrastre se pueden utilizar para todo tipo de lodos, por ejemplo purines sin tratar, purines digeridos de plantas de biogás, fracción líquida de la separación de purines y purines acidificados. La técnica es aplicable a pastos y tierras cultivables, por ejemplo para aplicar purines entre hileras de cultivos en crecimiento (European Commission, 2017).

Debido al ancho de la máquina, la técnica no es adecuada para campos pequeños de forma irregular o terrenos con pendientes pronunciadas debido al potencial de escorrentía. Las mangueras también pueden obstruirse si el contenido de materia seca del slurry es alto (> 10%), o si contiene partículas sólidas grandes (por ejemplo si el contenido de paja de la lechada es demasiado alto). La obstrucción de las tuberías generalmente se evita al incluir un sistema de corte, pero esto aumenta significativamente el costo del sistema (European Commission, 2017).

La tecnología depende de un remolque de slurry adecuado con suficiente resistencia, y también del equipo para montar la barra de manguera de arrastre.

Beneficios adicionales

Reducción de las emisiones de olores comparado a los sistemas estándar de esparcimiento.

Desventajas

Hay un riesgo potencial de emisión de óxido nítrico desde la superficie de aplicación. Pueden generar bandas anchas. El esparcimiento en bandas también aumenta la tasa de carga hidráulica por unidad de área, lo que en algunas ocasiones (generalmente para slurry con alto contenido de materia seca) puede impedir la infiltración en el suelo (European Commission, 2017).

11.1.1.3 Aplicación mediante sistema de zapato de arrastre

Descripción

Evolución del sistema de esparcimiento mediante mangueras. La salida de cada conducto está equipada con una unidad de distribución especial, que generalmente está diseñada como un refuerzo similar a un zapato que se desliza (o flota) sobre la superficie del suelo. El diseño del distribuidor es tal que los cultivos se apartan o la hierba se separa de manera más eficaz que con la manguera durante el proceso de distribución, incluso si la manguera está muy cerca del suelo. De esta manera, el purín se deposita en bandas debajo del dosel del cultivo, sobre la superficie del suelo, con la mínima contaminación del cultivo o del pasto. El zapato de arrastre permite incorporar el slurry en la capa superior del suelo (0-3 cm) (European Commission, 2017). Esta medida está evaluada en la guía de Mejores Técnicas Disponibles (BAT) de la Comisión Europea (2017).

Reducción de amoníaco

De acuerdo a la Comisión Europea (2017), las emisiones de amoníaco se reducen entre 40 y 65% respecto a un esparcidor por difusión convencional.

En cultivos más cortos, se espera que la eficiencia de reducción de emisiones de amoníaco de este sistema y el de mangueras sea similar. Por el contrario, para cultivos más altos, una zapata de arrastre puede ser más eficaz para reducir las emisiones de amoníaco que una manguera de arrastre, no solo debido a la entrega más precisa del slurry a la superficie del suelo y al grado reducido de contaminación del dosel del cultivo, sino también porque la descarga del slurry debajo del dosel reduce el movimiento del aire y la temperatura en la zona de emisión.

Aplicabilidad

La técnica es aplicable a pastos y tierras cultivables, por ejemplo para aplicar purines entre hileras de cultivos en crecimiento. El sistema con mangueras de arrastre es menos restrictivo que el de zapatos porque se puede usar más ampliamente en cultivos sin dañarlos y es adecuado para sistemas de carriles. El sistema con zapatas de arrastre se aplica principalmente a pastizales y cultivos herbáceos en etapas tempranas o con filas muy espaciadas; no se recomienda para cultivos herbáceos de semillas sólidas, donde la acción del zapato puede resultar en una alteración excesiva de la planta (European Commission, 2017).

Debido al ancho de la máquina, la técnica no es adecuada para campos pequeños de forma irregular o terrenos con pendientes pronunciadas debido al potencial de escorrentía. Las mangueras también pueden obstruirse si el contenido de materia seca del slurry es alto (> 10%), o si contiene partículas sólidas grandes (por ejemplo si el contenido de paja de la lechada es demasiado alto). La obstrucción de las tuberías generalmente se evita al incluir un sistema de corte, pero esto aumenta significativamente el costo del sistema (European Commission, 2017).

La tecnología depende de un remolque de slurry adecuado con suficiente resistencia, y también del equipo para montar la barra de manguera de arrastre.

Beneficios adicionales

Reducción de las emisiones de olores comparado a los sistemas estándar de esparcimiento.

Desventajas

Hay un riesgo potencial de emisión de óxido nitroso desde la superficie de aplicación. Pueden generar bandas anchas. El esparcimiento en bandas también aumenta la tasa de carga hidráulica por unidad de área, lo que en algunas ocasiones (generalmente para slurry con alto contenido de materia seca) puede impedir la infiltración en el suelo (European Commission, 2017).

11.1.1.4 Aplicación mediante sistema de discos**Descripción**

El purín se aplica directamente sobre la superficie del terreno mediante la utilización de un sistema de discos, que realizan una hendidura poco profunda en el terreno. Esta medida está evaluada en la Guía de Mejores Técnicas Disponibles del sector porcino de MAGRAMA (2010c).

Reducción de amoníaco

MAGRAMA (2010c) indica una reducción de las emisiones de amoníaco en un 50%. Esta reducción es respecto al sistema de referencia (esparcidor en superficie convencional mediante sistema de plato difusor sin incorporación del purín al perfil del suelo de forma inmediata).

Aplicabilidad

Esta técnica se puede aplicar en terrenos cultivables y en praderas. Su rendimiento de trabajo es similar al sistema de plato difusor. Los equipos requieren un mantenimiento regular. Como desventaja se indica el aumento del consumo de combustible.

11.1.1.5 Inyección del purín en el terreno**Descripción**

El purín se inyecta superficialmente en el terreno mediante la utilización de maquinaria o aperos adecuados que dejan el surco abierto. La técnica de inyección profunda, con surco cerrado, requiere unas condiciones de terreno muy favorables, lo que junto a sus costes asociados limitan su aplicabilidad.

De acuerdo a la Comisión Europea (2017), la inyección superficial se realiza a una profundidad entre 3 y 8 cm, con ranuras que normalmente se dejan abiertas después de la aplicación del slurry. Solo una pequeña parte del slurry está en contacto con el aire, reduciendo las emisiones de amoníaco y olores. En cambio, la inyección profunda se realiza mediante inyectoros profundos a una profundidad entre 10 y 15 cm o, en algunos casos, hasta 20 cm, y luego el suelo se vuelve a cerrar mediante ruedas de presión o rodillos.

Esta medida está evaluada en la Guía de Mejores Técnicas Disponibles del sector porcino de MAGRAMA (2010c), en el reporte de la EPA (2001) y en la guía de Mejores Técnicas Disponibles (BAT) de la Comisión Europea (2017).

Reducción de amoníaco

MAGRAMA (2010c) indica que la reducción de las emisiones de amoníaco varía entre un 50-60%. Esta reducción es respecto al sistema de referencia (esparcidor en superficie convencional mediante sistema de plato difusor sin incorporación del purín al perfil del suelo de forma inmediata).

Por otra parte, de acuerdo a EPA (2001), estudios han demostrado reducciones de amoníaco entre 87 y 98% al usar inyección directa en el suelo (a diferentes profundidades).

En la guía de la Comisión Europea (2017) se distingue entre inyección superficial (ranura abierta) e inyección profunda (ranura cerrada). La primera tiene una eficiencia de reducción entre 56 y 80%, mientras que la segunda tiene una eficiencia entre 80 y 90%, respecto a un esparcidor por difusión convencional. La efectividad del abatimiento de amoníaco aumenta con la profundidad.

Aplicabilidad

Esta técnica sólo es aplicable en terrenos cultivables (no se puede emplear sobre praderas ni sobre cultivo). El rendimiento de trabajo se reduce respecto al sistema de plato difusor. Los equipos requieren un mantenimiento regular. Como desventaja se indica el aumento del consumo de combustible (MAGRAMA, 2010c).

De acuerdo a la Comisión Europea (2017), la técnica de inyección superficial es adecuada para su aplicación en pastizales y cultivos en crecimiento. No es aplicable en suelos pedregosos o en suelos poco profundos o compactados, donde es imposible lograr una penetración uniforme a la profundidad de trabajo requerida. La aplicabilidad puede ser limitada donde los cultivos pueden resultar dañados por la maquinaria. La técnica es aplicable a muchos tipos de slurry, como slurry procedente de la producción de biogás, slurry separado mecánicamente, slurry acidificado o sin tratar.

Por otra parte, la técnica de inyección profunda es aplicable en terrenos cultivables sin vegetación. No aplica durante la vegetación de los cultivos. Se limita principalmente a la temporada previa a la siembra y a cultivos en hileras muy espaciados (por ejemplo, maíz). El daño mecánico (corte de las raíces durante la inyección) puede disminuir los rendimientos en el cultivo de cultivos herbáceos con semillas sólidas. Las reducciones de rendimiento pueden derivarse también del secado del suelo y las condiciones anaeróbicas y tóxicas de la concentración del estiércol en las ranuras de inyección. Este efecto puede ser mayor con múltiples aplicaciones durante la temporada. Es aplicable a muchos tipos de slurry, como slurry procedente de la producción de biogás, slurry separado mecánicamente, slurry acidificado o sin tratar.

Se requiere una inyección más profunda cuando se deben inyectar mayores volúmenes de estiércol, para evitar que el estiércol rezume/se filtre a la superficie. Se informa que la profundidad de trabajo y la facilidad de penetración del suelo aumentan con el contenido de agua del suelo. Por lo tanto, se puede usar una estimación de la resistencia del suelo como un parámetro para determinar el momento óptimo para la inyección del slurry, con el fin de lograr profundidades de trabajo suficientes. Por otro lado, se debe enfatizar que la inyección profunda debe realizarse dentro de la capacidad del suelo para retener agua para evitar el drenaje.

Otras limitaciones incluyen la profundidad del suelo, la humedad del suelo, el contenido de arcilla y piedra y la pendiente. El tipo y las condiciones del suelo deben permitir un cierre eficaz de la hendidura; de lo contrario, no se obtiene el beneficio adicional de la cobertura total del slurry. La inyección profunda se limita a los momentos en que los suelos están lo suficientemente secos; de lo contrario, puede existir un alto riesgo de escurrimiento y lixiviación debajo de la zona de la raíz del cultivo.

Beneficios adicionales

Aumenta la utilización del nitrógeno, por lo que disminuye el uso de fertilizantes minerales. Experimentos indican que la utilización de nitrógeno es mayor que con difusión superficial, lo que significa que disminuye el potencial de lixiviación de nitrato al ambiente. Además, en la inyección profunda se disminuyen las emisiones de olores al mínimo (European Commission, 2017).

Desventajas

En la inyección superficial se pueden producir emisiones de óxido nitroso debido a la falta de oxígeno. Una inyección más profunda puede no conducir a mayores emisiones de N_2O , ya que la mayor distancia entre el sitio de desnitrificación hasta la superficie del suelo puede conducir a una mayor proporción de N desnitrificado que se emite como N_2 .

Los sistemas de inyección de slurry requieren una mayor potencia del tractor (mayor consumo de combustible) que los equipos de esparcimiento o esparcido en banda, dado que un diente o un disco deben atravesar el suelo (European Commission, 2017).

11.1.1.6 Aplicación mediante irrigadores de slurry diluido

Descripción

Las emisiones de la aplicación de slurry diluido (con menos de 2% de contenido de materia seca) generalmente son menores que para slurry sin diluir, debido a que el primero tiene una infiltración más rápida al y una menor concentración de NH_4-N . La dilución se puede lograr en sistemas de irrigación de agua o al agregar agua antes de la aplicación ya sea en el almacenamiento de slurry o en el tanque móvil. Otros métodos para reducir el contenido de materia seca del slurry incluyen digestión anaeróbica y separación mecánica de sólido-líquido. Esta medida está en la guía de Mejores Técnicas Disponibles (BAT) de la Comisión Europea (2017).

Se presentan como opciones para la irrigación del slurry sistemas de irrigación de agua de baja presión, irrigador de chorro de pulso y líneas de goteo.

Reducciones de amoníaco

La reducción de emisiones es proporcional a la dilución. La dilución con agua de 1:1 agua-slurry, puede reducir las emisiones hasta 30%. Las proporciones de dilución pueden llegar hasta 50:1 agua-slurry (European Commission, 2017).

Aplicabilidad

La aplicación de slurry diluido por irrigadores de agua es posible en casi cualquier etapa de crecimiento del cultivo, permitiendo la máxima utilización del nitrógeno por las plantas. Debido al riesgo de contaminación, esta medida no es apropiada para cultivos destinados a ser comidos crudos. Aplicable a terreno plano y a cualquier tamaño y forma de los campos. No es aplicable a cultivos que requieren poca agua.

Beneficios adicionales

Previene la formación de costras, reduce el daño y compactación del suelo. Además, la operación intermitente puede limitar la emisión de olores.

Desventajas

Con sistemas de irrigación de slurry diluido, la duración de la aplicación es mucho más larga. Además, los grandes volúmenes de slurry diluido aplicados mediante irrigación pueden exceder la capacidad de infiltración del suelo, llevando a mayores emisiones en el periodo inmediato luego de la aplicación.

Al diluir el slurry, es necesaria capacidad extra de almacenamiento. Debido a que los volúmenes de almacenamiento y aplicación aumentan, también lo hacen los costos.

11.1.1.7 Incorporación de estiércol o purines sólidos

Descripción

Incorporación de estiércol sólido (o la fracción sólida generada a partir de la separación mecánica del slurry) o slurry (o la fracción líquida generada a partir de la separación mecánica del slurry) esparciéndolo sobre la superficie del suelo, usando por ejemplo mangueras de arrastre. Se realiza mediante arado u otro equipo de cultivo poco profundo, como discos, gradas o púas, según el tipo y las condiciones del suelo. El estiércol se mezcla completamente con el suelo o se entierra bajo el suelo lo más rápido posible después de esparcirse en la superficie.

Como las pérdidas de amoníaco se producen rápidamente después de esparcirse, las emisiones de amoníaco y el olor se reducen al limitar el tiempo de exposición del estiércol al aire. La reducción de la volatilización del NH_3 depende de los procedimientos de incorporación, en particular del lapso de tiempo entre la aplicación y la incorporación, así como de las condiciones climáticas entre la aplicación y la incorporación, y el grado de enterramiento en el suelo. Se

pueden lograr elevadas reducciones de emisiones con la incorporación inmediata (tan pronto como sea posible después de la propagación); en cambio, una gran parte de las emisiones de amoníaco ya se ha producido cuando la incorporación se realiza a las 4, 6, 12 o 24 horas (European Commission, 2015a).

Reducción de amoníaco

Es importante diseñar bien la estrategia de aplicación e incorporación, ya que las eficiencias de reducción de las emisiones de amoníaco varían mucho dependiendo de el tiempo que pasa entre la aplicación y la incorporación al suelo. La eficiencia también depende del método de incorporación. En la siguiente tabla se presentan las eficiencias de reducción para diferentes equipos de incorporación. Las técnicas que incorporan el estiércol a más profundidad tienen mayor eficiencia, sin embargo, otras técnicas más superficiales pueden en ocasiones ser más eficientes debido a que trabajan más rápido y exponen un menor tiempo el estiércol a la superficie. Además, en la Tabla 11-2 se presentan las eficiencias de reducción para la incorporación inmediata del estiércol de diferentes categorías de animales, respecto a una aplicación en que no hay incorporación.

Tabla 11-1 Eficiencias de remoción para medida incorporación de estiércol o purines sólidos

Equipo de incorporación	Tipo de estiércol	Reducción promedio (%)	Fuente
Arado	Slurry	92	European Commission, 2015
Disco	Slurry	80	European Commission, 2015
Tine	Slurry	66	European Commission, 2015
Harrow	Slurry	68	European Commission, 2015
Arado	Sólido	91	European Commission, 2015
Disco	Sólido	63	European Commission, 2015
Tine	Sólido	57	European Commission, 2015
Harrow	Sólido	90	European Commission, 2015

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11-2 Eficiencias de remoción para medida incorporación de estiércol o purines sólidos para diferentes categorías de animales

Categoría animal	Arado	Disco	Tine
Cerdo	95%	60%	58%
Ponedora	96%	69%	53%
Broiler	100%	80%	81%

Fuente: Elaboración propia en base a (European Commission, 2015a)

Aplicabilidad

La aplicación del estiércol en un campo en sí solo toma muy poco tiempo (en horas) y no es necesario esperar a la incorporación.

La incorporación dentro de las cuatro horas puede considerarse difícil de organizar, porque los agricultores generalmente no poseen toda la maquinaria requerida y no tienen suficiente

personal. El tamaño del campo y la maquinaria disponible para la incorporación también pueden afectar la finalización oportuna de la incorporación del estiércol, ya que la tasa de esparcimiento suele ser mayor que la tasa de arado. Sin embargo, otro informe mencionado por la Comisión Europea (2015a) sostiene que la incorporación dentro de las siguientes cuatro horas luego de la aplicación es factible, incluso para las granjas pequeñas.

Además, las condiciones climáticas o la poca luz pueden detener el progreso del trabajo; No sería una buena práctica trabajar en tierras anegadas, ya que es perjudicial para la gestión del suelo.

La aplicabilidad de la técnica se limita a tierras cultivables que se pueden cultivar fácilmente después de esparcir estiércol sólido o purines. Para la labranza de pastizales o de conservación, la incorporación no es posible, o solo es posible cuando se cambia a tierra cultivable (por ejemplo, en un sistema de rotación) o cuando se vuelve a sembrar. No es aplicable a tierras cultivadas con cultivos en crecimiento que puedan resultar dañados por la incorporación de estiércol sólido o purines. En el caso del slurry, la técnica no es aplicable después de la aplicación en tierra con inyectores poco profundos o profundos.

Beneficios adicionales

La rápida incorporación de estiércol sólido o purines mejora la disponibilidad de nitrógeno (valor fertilizante del estiércol) para la producción de cultivos al evitar pérdidas de N.

Desventajas

El equipo de una sola pasada es pesado y puede producir problemas de compactación del suelo; mientras que el equipo para la incorporación de doble recorrido es más ligero pero el tractor consume más combustible.

La incorporación de estiércol sólido al suelo puede aumentar las emisiones directas de N_2O . La disponibilidad de nitrógeno del estiércol sólido para un cultivo en crecimiento es menor que la del estiércol líquido, debido a la mayor concentración de materia orgánica que mejora la inmovilización y desnitrificación del N.

El hecho de que el estiércol sólido produzca mayores emisiones de NH_3 y N_2O que los purines o los fertilizantes minerales depende de varios factores, incluida la relación C: N del estiércol y la degradabilidad de la materia orgánica. Por otro lado, los resultados de otros estudios siguen siendo ambiguos sobre el impacto de la incorporación de estiércol sólido después de la aplicación, con respecto a las emisiones de N_2O .

Para el slurry tratado y no tratado, se han reportado resultados contrastantes sobre las emisiones de N_2O . La variabilidad depende principalmente de las propiedades del suelo y del contenido de materia orgánica del slurry.

Si no hay cultivos presentes para absorber el N fácilmente disponible, la incorporación de estiércol aumenta el riesgo de pérdida de N por lixiviación, con un posible desplazamiento de la contaminación del aire al agua; pero, reduce el riesgo de escorrentía superficial de eventos de lluvia subsecuentes. Por esta razón, el momento de la aplicación de purines y estiércol sólido debe equilibrar todos estos aspectos (European Commission, 2015a).

11.1.1.8 Acidificación de las excretas

Descripción

Una descripción más completa de esta medida se presenta en la Sección 7.1.1.7. La acidificación de las excretas para inhibir la volatilización del amoníaco se puede hacer ya sea a nivel de pabellón, almacenamiento o de aplicación. En el caso de esta última etapa, la acidificación se hace continuamente durante la aplicación del slurry. El ácido sulfúrico se transporta y almacena en un contenedor montado frente al tractor que tira del esparcidor de estiércol líquido. El ácido se bombea a través de tuberías hasta la salida del esparcidor de estiércol, donde el estiércol líquido se mezcla con el ácido (European Commission, 2015a).

Reducción de amoníaco

Según la Comisión Europea (2015a), se ha reportado un 60% de reducción en las emisiones de amoníaco al acidificar el slurry durante la aplicación.

Aplicabilidad

La alternativa de acidificación durante el esparcimiento no ha sido probada con sistemas de riego y esparcimiento al voleo. Con las técnicas de inyección, se espera que el efecto de la reducción de emisiones sea limitado (European Commission, 2015a).

Beneficios adicionales

Ver Sección 7.1.1.7

Limitaciones

Ver Sección 7.1.1.7

11.1.2 Medidas a aplicar en la etapa de aplicación en el Sector Aves

11.1.2.1 Entierro del estiércol mediante arado de vertedera o cultivador

Descripción

El estiércol se esparce y se entierra mediante arado de vertedera o cultivador lo antes posible (dentro de un máximo de 24 horas). Esta medida está evaluada en la Guía de Mejores Técnicas Disponibles de la Avicultura de la Carne de MAGRAMA (2010b).

Reducción de amoníaco

Reducción de las emisiones de amoniaco en un 90%. Esta reducción es respecto al sistema de referencia (utilización de un esparcidor en superficie convencional sin incorporación del estiércol al perfil del suelo de forma inmediata).

Aplicabilidad

Esta técnica sólo es aplicable en terrenos cultivables (no se puede emplear sobre praderas ni sobre cultivo).