



**GUÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE AMONÍACO EN
SECTOR AGROINDUSTRIAL
ID Licitación: 611134-4-LE21**

Estudio solicitado por Subsecretaría del Medio Ambiente

Guía Metodológica

Santiago, 24 de agosto de 2021

Tabla de Contenidos

Tabla de Contenidos	2
Lista de Tablas.....	3
Lista de Figuras.....	3
Acrónimos y Abreviaturas.....	4
Glosario	5
1. Contexto - Establecimiento conceptual de la emisión de Amoníaco (NH ₃).....	8
2. Metodología de estimación de emisiones de línea base.....	12
2.1 Paso 1: Estimación del número de animales	12
2.2 Paso 2: Identificación de las Cadena de Manejo de Estiércol (CME).....	13
2.2.1 Sector Cerdos	13
2.2.2 Sector Aves.....	14
2.3 Paso 3: Estimación de la cantidad de nitrógeno excretada	14
2.4 Paso 4: Identificación o desarrollo de factores de emisión para cada componente de cada cadena de manejo	15
2.4.1 Sector Cerdos	16
2.4.2 Sector Aves.....	16
2.4.3 Incorporación de medidas de reducción de emisiones en la línea base	16
2.5 Paso 5: Estimación de emisiones de amoníaco para cada grupo animal de cada MMT para el sector y año del inventario	18
2.6 Paso 6: Estimación de las emisiones futuras de amoníaco.....	24
3. Aplicación de metodología	30
3.1 Caso 1: Un pabellón slat-pit y laguna en instalación de cerdos. Medida de reducción: cubierta a laguna.....	30
3.2 Caso 2: Dos pabellones slat-flush y slat-pit, pozo de homogeneización y laguna en instalación de cerdos. Medida de reducción: cubierta a pozo de homogeneización y lodos activados	35
3.3 Caso 3: Jaula con almacenaje en instalación de aves. Medida de reducción: extracción automática	43
4. Bibliografía	51

Lista de Tablas

Tabla 2-1 Identificación de los componentes de las cadenas de manejo de excretas en planteles de cerdos.....	13
Tabla 2-2 Identificación de los componentes de las cadenas de manejo de excretas en planteles de aves	14
Tabla 2-3 Tasa de excreción de nitrógeno según tipo y categoría de animal	15
Tabla 2-4 Factores de emisión de amoniaco por tipo de cerdo y componente de la CME.....	16
Tabla 2-5 Factores de emisión de amoniaco por tipo de ave y componente de la CME	16
Tabla 2-6 Medidas a de reducción de emisiones de amoniaco.....	17
Tabla 2-7 Cálculo de emisiones para un pabellón de crianza de cerdos	22
Tabla 2-8 Cálculo de emisiones para un pabellón de crianza de aves.....	23
Tabla 2-9 Medidas de reducción de emisiones junto con su descripción y referencias	25
Tabla 2-10 Medidas de reducción de emisiones de amoniaco.....	28
Tabla 3-1 Cálculo de emisiones para un pabellón de crianza de cerdos, caso 1	33
Tabla 3-2 Cálculo de emisiones para un pabellón de crianza de cerdos, caso 2	39
Tabla 3-3 Cálculo de emisiones para un pabellón de crianza de aves, caso 3	47

Lista de Figuras

Figura 1-1 Esquema del ciclo del amoniaco a partir de la excreta animal	8
Figura 1-2 Modelo conceptual de emisión y remoción de amoniaco	9
Figura 1-3 Modelo conceptual cadena de manejo de purín para el sector porcino y ejemplo de cadena.....	10
Figura 1-4 Modelo conceptual cadena de manejo de guano para el sector aves y las cadenas de manejo consideradas para cada categoría	11
Figura 2-1 Modelo conceptual de la cadena de manejo de estiércol.....	19
Figura 3-1 Modelo conceptual del caso 1.....	30
Figura 3-2 Modelo conceptual del caso 1, escenario de reducción	34
Figura 3-3 Modelo conceptual del caso 2.....	35
Figura 3-4 Modelo conceptual del caso 2, escenario de reducción	40
Figura 3-5 Modelo conceptual del caso 3.....	43
Figura 3-6 Modelo conceptual del caso 3, escenario de reducción	48

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-amoniaco total (<i>Total ammonia-nitrogen</i>)

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 eculización-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)

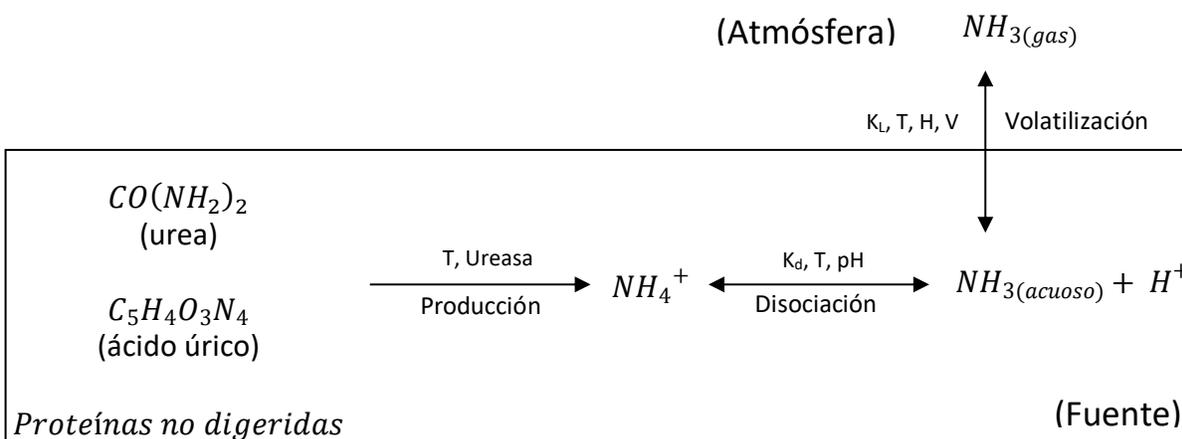
Remoción de emisiones:	La remoción de amoniaco ocurre cuando una medida de reducción de emisiones permite retirar el nitrógeno del flujo del purín, por medio de la transformación de este a otros compuestos estables que no se volatilizan (Criterio del consultor).
Reproductora broiler:	Categoría de aves, 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 amoniaco, 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)

1. Contexto - Establecimiento conceptual de la emisión de Amoníaco (NH₃)

El amoníaco (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 amoníaco (Arogo et al., 2006):

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



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

H: constante de ley de Henry

K_d: constante de disociación

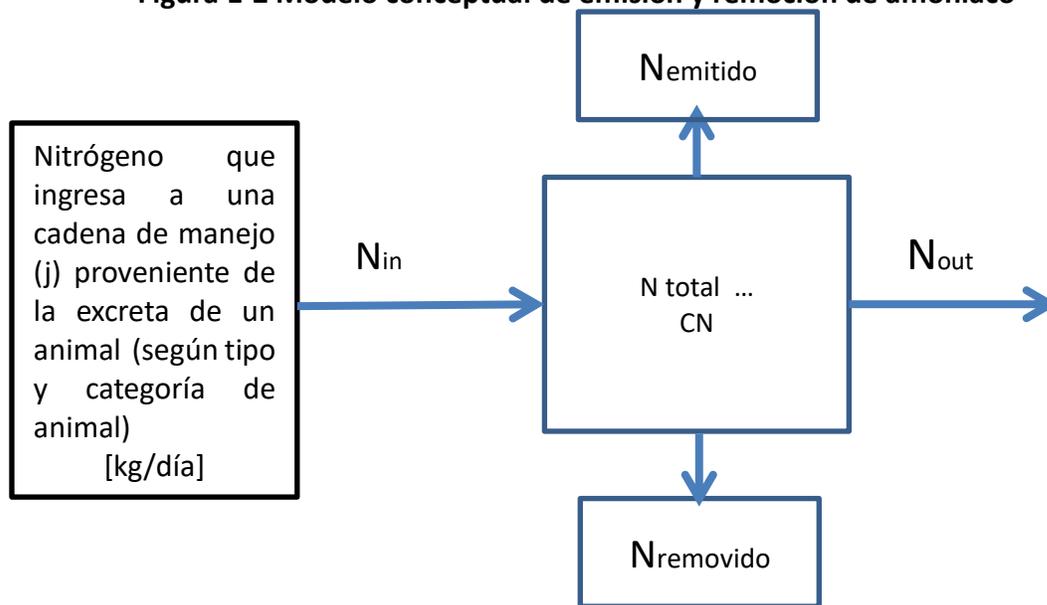
K_L: coeficiente de transferencia de masa

T: temperatura

V: velocidad del viento

A partir de este ciclo se llega al siguiente modelo conceptual de emisión y remoción de amoníaco.

Figura 1-2 Modelo conceptual de emisión y remoción de amoniaco



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

$N_{emitido}$ = como NH_3 a la atmósfera

$N_{removido}$ = removido del proceso, por medio de procesos de transformación del nitrógeno

Fuente: Elaboración propia

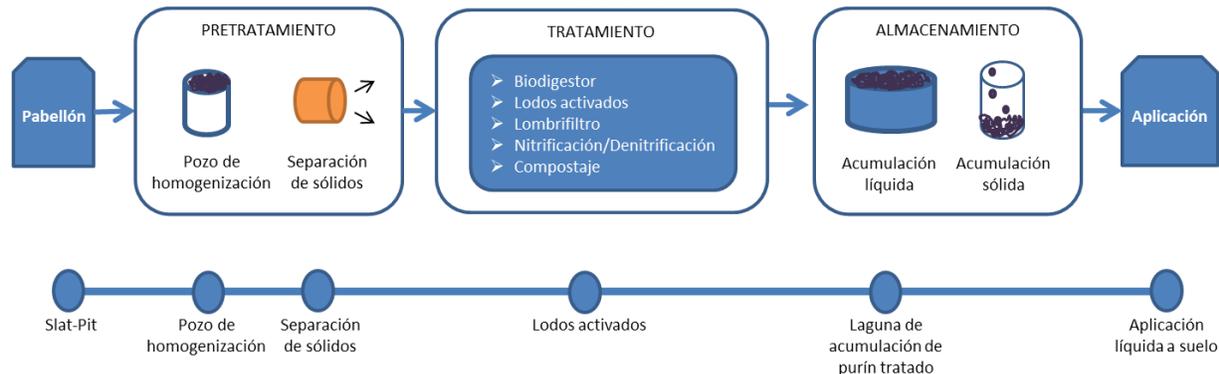
Como se puede apreciar de la Figura 1-2, es muy relevante el orden en el cual se presentan las diferentes componentes de la cadena de manejo, ya que una componente y su efecto en la emisión, reducción o remoción de amoniaco tendrá efecto sobre el nitrógeno restante en el flujo y sobre el cual tendrá efecto la siguiente componente de la cadena. Un ejemplo de esto serían las lagunas de acumulación de purín líquido, ya que este purín puede ser crudo (es decir sin ningún tratamiento previo) o tratado (purín proveniente de un biodigestor o tratamiento aerobio), para la laguna de acumulación el factor de emisión es fijo (ver Sección 2.4), pero la disponibilidad de nitrógeno para que sea volatilizado va a ser mucho mayor en una laguna de purín crudo que tratado.

Para facilitar el trabajo posterior de estimación de emisiones se propone el paso de preparación de establecimiento conceptual de la cadena de manejo de excretas, tanto para cerdos como aves. A continuación se presenta como desarrollar estos modelos conceptuales.

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 1-3 Modelo conceptual cadena de manejo de purín para el sector porcino y ejemplo de cadena



Fuente: Elaboración propia

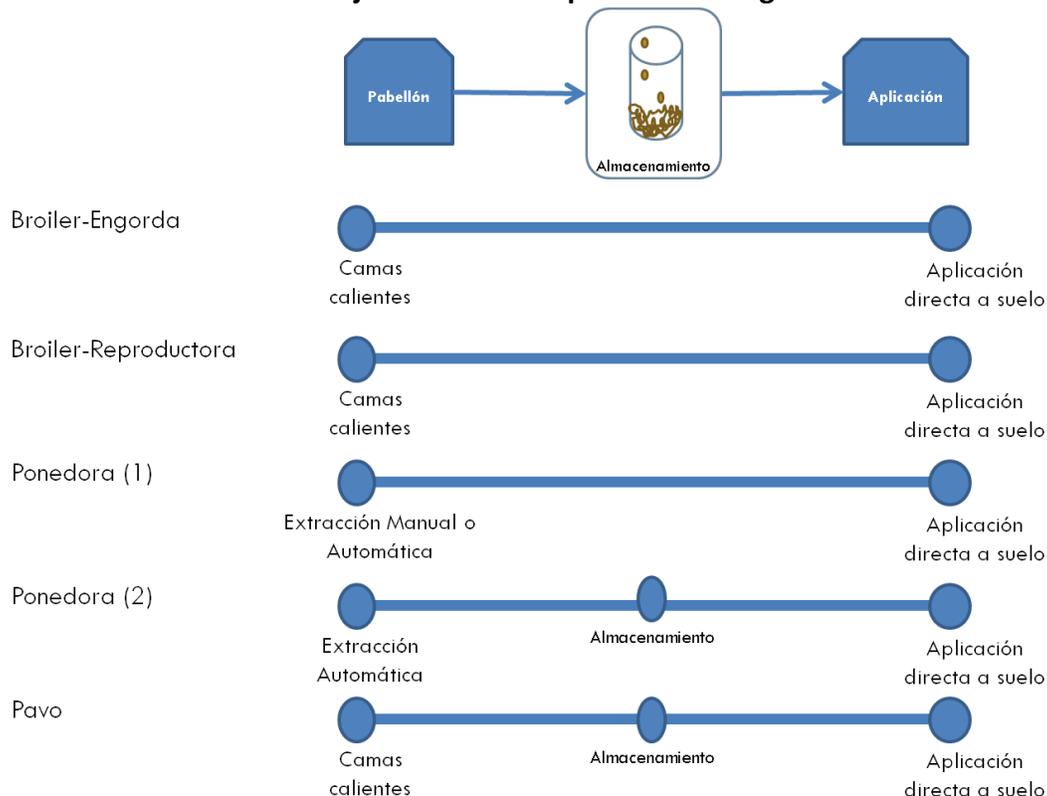
En la Figura 1-3, se presentan las alternativas de configuración de planteles, las cuales consisten en un tipo (o más) de pabellón, un pretratamiento, un tipo de tratamiento (opcional) y un sistema de almacenamiento de excretas. Así, el ejemplo bajo la primera línea, es un modelo simple de un plantel de pabellón tipo slat-pit, con pozo de homogenización, separación de sólidos, sistema de lodos activados, acumulación líquida y aplicación líquida a suelo.

Con esta metodología simplificada, se puede caracterizar cualquier configuración de plantel, identificando las componentes de la CME y el orden de estas.

Sector aves

La creación del modelo de la cadena de manejo de excretas, en el caso de aves, es más simple debido a la limitación de las alternativas de cadenas, así se obtiene el modelo simplificado expuesto en la Figura a continuación.

Figura 1-4 Modelo conceptual cadena de manejo de guano para el sector aves y las cadenas de manejo consideradas para cada categoría



Fuente: Elaboración propia

Los ejemplos bajo la primera línea corresponden a los planteles más comunes presentes en la Región Metropolitana, según el tipo de ave. Por ejemplo, broiler engorda cuenta con planteles con sistema camas calientes, con aplicación directa al suelo, al igual que broiler reproductora. No así las ponedoras, que cuentan con pabellones con extracción manual o automática (generalmente jaula o suelo), con la opción de almacenamiento o aplicación directa.

Al igual que para cerdos, con esta metodología simplificada, se puede caracterizar cualquier configuración de plantel, identificando las componentes de la CME y el orden de estas.

2. Metodología de estimación de emisiones de línea base

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, 2004):

- 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.

2.1 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/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 recria y engorda

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.

2.2 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 2-1 y la Tabla 2-2 presentan las opciones para la cadena de manejo de excretas.

2.2.1 Sector Cerdos

Tabla 2-1 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	
	Destino final del purín		Compostaje
			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).

2.2.2 Sector Aves

Tabla 2-2 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
Tratamiento/Almacenamiento	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. Tratamiento/Almacenamiento: 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).

2.3 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).

$$N_{\text{excretado CME}} = \text{PoblaciónAnimal}_{\text{CMEj}} \times \text{Peso} \times N_{\text{tasa}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde,

$N_{\text{excretado CME}}$: Nitrógeno total excretado en una cadena de manejo de excretas (CME) j [kg/día]

$PoblaciónAnimal_{CMEj}$: 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/1.000kg de masa animal/día]

(EPA, 2004)

La Tabla 2-3 expone las tasas de excreción a utilizar para cada animal según su categoría.

Tabla 2-3 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, 2004)

2.4 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.

2.4.1 Sector Cerdos

Tabla 2-4 Factores de emisión de amoníaco 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 amoníaco	
		Almacenaje líquido	48%		
		Laguna de acumulación de purín	40%	TAN volatilizado	
			71%		
	Tratamiento	Pretratamiento	Pozo de homogenización	6,6%	Amoníaco volatilizado
			Biodigestor	0-25%	
			Lodos activados	80%	
			Lombrifiltro	65%	
			Nitrificación - desnitrificación	55%	
		Compostaje	63%	Nitrógeno volatilizado como amoníaco	

Fuente: Elaboración propia en base a (ASPROCER, 2008; BREF, 2017; EPA, 2004; IPCC, 2019; POCH, 2016; SISTAM Ingeniería, 2013)

2.4.2 Sector Aves

Tabla 2-5 Factores de emisión de amoníaco por tipo de ave y componente de la CME

Categoría	Alternativa	Etapa	FE NH3	Unidad de Medida
Broiler engorda	Instalación	Cama caliente	0,11	Kg/cabeza/año
		Extracción automática	0,11	
		Jaula	0,20	
		Suelo	0,31	
	Almacenamiento (abierto)	20%	Amoníaco volatilizado	
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	Tratamiento	Compostaje	63%	Nitrógeno volatilizado como amoníaco

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

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

A continuación, se presentan las principales medidas de reducción de emisiones de amoníaco 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 (ver Sección 2.6 para descripción de las medidas posibles).

Tabla 2-6 Medidas a de reducción de emisiones de amoniaco

Animal	Etapa	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%		
	Manejo de purín	Pretratamiento	Cubierta flotante	82%	-
			Modificación de pH*	70%	
		Tratamiento	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: (ASPROCER, 2008; European Commission, 2017; IPCC, 2019; MAGRAMA, 2010a; POCH, 2016)

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 amoniaco (según valores de la Tabla 2-4), 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.

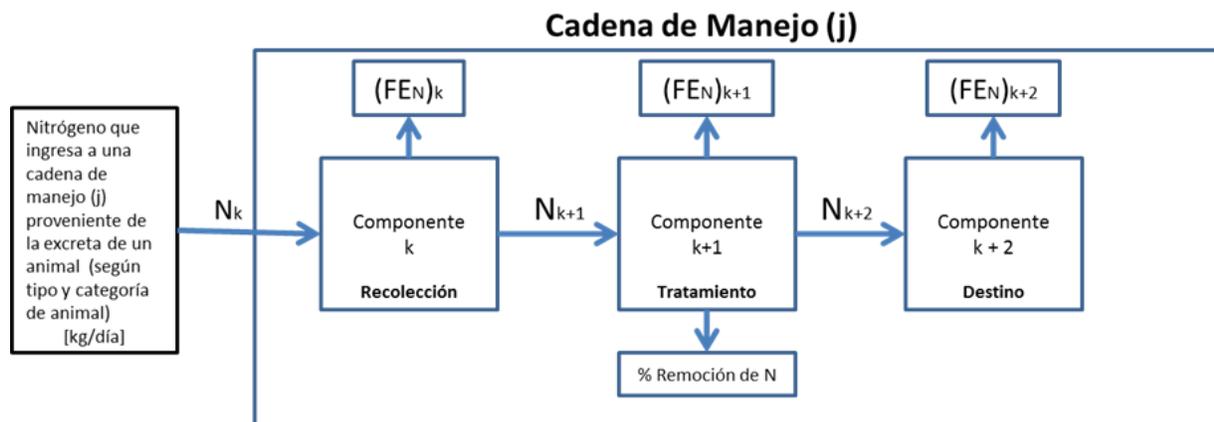
Si es que se busca considerar la presencia de un biodigestor, este genera remoción de emisiones (12,5%, como promedio de remoción, según la Tabla 2-4) pero además es un proceso cerrado, por lo cual sólo removerá emisiones, sin generar una nueva instancia de emisiones. Esto no ocurre al incorporar un 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 2-4), de la cual se remueve un porcentaje de dichas emisiones y finalmente el flujo de excretas tendrá menor contenido de nitrógeno para dicha etapa.

Se debe tener en cuenta las diferentes unidades para los factores de emisión para así utilizarlos correctamente al momento de estimar las emisiones. Se presentan factores de emisión como kg/cabeza-año, amoniacado volatilizado, nitrógeno volatilizado como volatilizado, y TAN volatilizado, TAN se refiere a el nitrógeno amoniacado total. Se destaca que, en el caso de amoniacado volatilizado, kg/cabeza-año y TAN volatilizado, corresponden a emisiones de amoniacado directamente, no es el caso para el nitrógeno volatilizado como amoniacado, ya que se debe transformar a amoniacado por medio del peso molecular del compuesto.

2.5 Paso 5: Estimación de emisiones de amoniacado 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 2.1), la cadena de manejo de cada pabellón (Paso 2, Sección 2.2) y la excreción de nitrógeno asociada a cada cadena (Paso 3, Sección 2.3) y los factores de emisión identificados (Paso 4, Sección 2.4) se podrá estimar la emisión de amoniacado en cada plantel animal.

Figura 2-1 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 amoniaco por cabeza y porcentaje de nitrógeno liberado en la cadena de manejo de excretas, se generan ecuaciones que permiten calcular el amoniaco 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 amoniaco desde un componente (k), de una cadena de manejo (j), con un factor de emisión expresado como porcentaje de amoniaco liberado se calcula con la siguiente expresión (POCH, 2016):

$$NH_{3i,j,k} = N_{en\ flujo\ etapa\ k-1} \times FE_{j,k} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde,

$NH_{3i,j,k}$: Emisión de amoniaco 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 amoniaco]

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:

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

Donde,

$NH_{3i,j,k}$:	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]

Cuando el factor de emisión es expresado como el porcentaje de nitrógeno perdido¹ desde el componente (k) de la cadena de manejo (j) se utiliza la siguiente expresión (POCH, 2016):

$$NH_{3i,j,k} = N_{en\ flujo\ etapa\ k-1} \times FE_{j,k} \times \frac{17NH_3}{14N} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde,

$NH_{3i,j,k}$:	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:

$$N_{restante\ en\ el\ flujo} = N_{en\ flujo\ etapa\ k-1} \times FE_{j,k} \times \frac{14N}{17NH_3} \quad \text{Ecuación 5}$$

¹ 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

Donde,

$N_{\text{restante en el flujo}}$:

$N_{\text{en flujo etapa } k-1}$:

$FE_{j,k}$:

$\frac{14N}{17NH_3}$:

Nitrógeno restante en el flujo de la cadena de manejo [kgN]

Nitrógeno en el flujo luego de pasar por la etapa k-1 de la cadena de manejo del purín [kgN]

Factor de emisión por componente (k) de la CMEj [% de nitrógeno volatilizado como amoniaco]

Factor de conversión molar de amoniaco 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):

$$\text{Emisión de Amonio}_{CME \text{ completa}} = \sum_k \sum_i NH_{3i,j,k} \quad \text{Ecuación 6}$$

Tabla 2-7 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 Tasa de generación de nitrógeno (T_{EN})	$E_{N-rep} = X_{rep} \cdot T_{EN-rep}$	$N_{inicial} = (E_{N-rep} + E_{N-eng})$
	Engorda (X_{eng})		$E_{N-eng} = X_{eng} \cdot T_{EN-eng}$	
Cadena de Manejo	Pabellón ₁	$Emisión_{Pabellón\ 1} = FE_{Pabellón\ 1} \cdot (X_{rep} + X_{eng})$		$N_{restante\ post\ pabellón\ 1} = N_{inicial} - Emisión_{Pabellón\ 1} \cdot \left(\frac{14}{17}\right)$
	Componentes de cadena de manejo de purín	$Emisión_{Componente\ 1}$	$= N_{restante\ post\ pabellón\ 1} \cdot \%Pérdida\ de\ NH_3\ Componente\ 1 \cdot (1 - ER_{Componente\ 1})$	$N_{restante\ post\ componente\ 1} = N_{restante\ post\ pabellón\ 1} - Emisión_{Componente\ 1} \cdot \left(\frac{14}{17}\right)$
		$Emisión_{Componente\ 2}$	$= N_{restante\ post\ componente\ 1} \cdot \%Pérdida\ de\ NH_3\ Componente\ 2 \cdot (1 - ER_{Componente\ 2})$	$N_{restante\ post\ componente\ 2} = N_{restante\ post\ componente\ 1} - Emisión_{Componente\ 2} \cdot \left(\frac{14}{17}\right)$
$Emisión\ Total\ de\ Amoniaco\ Pabellón\ 1 = Emisión_{Pabellón\ 1} + Emisión_{Componente\ 1} + Emisión_{Componente\ 2}$				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-8 Cálculo de emisiones para un pabellón de crianza de aves

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

Fuente: Elaboración propia

2.6 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.

La Tabla a continuación presenta un resumen de las posibles medidas de reducción, junto con referencias disponibles para más información, particularmente con respecto a aplicabilidad y condiciones de operación requeridas para la obtención de los porcentajes de eficiencia de reducción de amoniaco esperadas.

Tabla 2-9 Medidas de reducción de emisiones junto con su descripción y referencias

Medida para reducción de emisiones	Descripción	Condiciones de operación	Referencia/ Información adicional	
Biofiltro (Pabellón abierto)	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 CO ₂ y agua.	Los animales deben estar confinados a un pabellón, requiere consumo de energía y agua un gran espacio para la creación del biofiltro. Genera un efluente líquido alto en nitrógeno.	(European Commission, 2015)	
Mejora a sistemas Slat-Pit, implementación de foso en forma de V	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.	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. 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.	(European Commission, 2015; MAGRAMA, 2010b)	
Cambio de sistema Slat-Pit a Cama caliente	Significa el cambio de un sistema Slat-Pit a sistemas de camas calientes con limpieza semanal y renovación del lecho.	Requiere reformas estructurales en instalaciones existentes, lo que limita su aplicación.	(European Commission, 2015; MAGRAMA, 2010b)	
Extracción automática de guano	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. 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. Esta medida es aplicable a pabellones de aves con sistema manual de extracción de excretas. En instalaciones existentes, la instalación no siempre es posible y requiere de costos adicionales. Se debe considerar el aumento de consumo eléctrico.	(European Commission, 2015)	
Almacenamiento	Cubierta - geotextil	Esta medida consiste en poner una cubierta en los contenedores de purín que no estén tapados, con una membrana de geotextil.	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. La efectividad de la cubierta dependerá de las características de las excretas (densidad, composición, etc.) y también esto podrá provocar la generación de gases tóxicos, por lo cual requeriría algún sistema de gestión de dichos gases.	(European Commission, 2015; POCH, 2016)
	Cubierta - geotextil + filtro de carbón	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	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	(European Commission, 2015; POCH, 2016)

Medida para reducción de emisiones	Descripción	Condiciones de operación	Referencia/ Información adicional	
activado	que queda fuertemente ligado a la superficie del mismo. El ácido sulfúrico brinda al carbón activado una gran capacidad para la retención del amoniaco.	debe ser renovado cada cierto tiempo. Requiere de infraestructura para manejo de ácidos en grandes cantidades.		
Cubierta flotante	Esta medida implica poner una cubierta en los contenedores de purín, de tal forma de evitar la volatilización del amoniaco. La cobertura de los tanques y estanques de almacenamiento de estiércol líquido y las lagunas puede suprimir las emisiones gaseosas de amoniaco, 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. Puede ser de material flotante (cubierta flexible o pelotas o discos plásticos).	La efectividad de la cubierta dependerá de las características de las excretas (densidad, composición, etc.) y también esto podrá provocar la generación de gases tóxicos, por lo cual requeriría algún sistema de gestión de dichos gases.	(European Commission, 2015; MAGRAMA, 2010b)	
Pretratamiento	Modificación de pH*	Esta medida se refiere a la acidificación de las excretas de manera de inhibir la volatilización del amoniaco (se forma sulfato de amonio). 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 mezcla 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.	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. Es una medida de alta complejidad y poco uso general (no hay mucha experiencia al respecto). Produce cambios en olores (pueden ocurrir peaks de olores). Requiere de infraestructura para manejo de ácidos en grandes cantidades. Esta medida no es compatible con ninguna otra medida de reducción de emisiones ya que altera el flujo de nitrógeno.	(European Commission, 2015)
	Biodigestor anaeróbico	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 CH ₄ y CO ₂ , y una fracción importante de nitrógeno orgánico es transformado en amonio (N-NH ₄). El metano se captura y luego es transportado a un dispositivo de combustión donde se quema.	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 amoniaco. La medida requiere del espacio para la infraestructura del biodigestor.	(European Commission, 2015; POCH, 2016)
Tratamiento	Lodos activados	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	Las instalaciones a las cuales se les puede aplicar la medida instalaciones que no cuenten con sistemas de camas calientes, biodigestores o sistema aerobio. Se puede aplicar a cualquier pabellón con sistema de recolección de excretas Slat (tratamiento de purín líquido). Se generan lodos que deben ser adecuadamente	(European Commission, 2015; POCH, 2016)

Medida para reducción de emisiones	Descripción	Condiciones de operación	Referencia/ Información adicional
	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	gestionados.	
Lombrifiltro	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.	Las instalaciones a las cuales se les puede aplicar la medida instalaciones que no cuenten con sistemas de camas calientes, biodigestores o sistema aerobio. Se puede aplicar a cualquier pabellón con sistema de recolección de excretas Slat (tratamiento de purín líquido). Existe un problema de escalabilidad del sistema para planteles con gran cantidad de cerdos, ya que el sistema se vuelve demasiado complejo de operar. 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.	(European Commission, 2015; POCH, 2016)
Nitrificación - desnitrificación	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).	La aplicabilidad es limitada debido a los altos costos de inversión y de operación debido a la energía requerida para aireación. 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.	(European Commission, 2015)

Fuente: Elaboración propia

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 y la naturaleza de su acción.

Tabla 2-10 Medidas de reducción de emisiones de amoniaco

Animal	Etapas	Medida para reducción de emisiones	Eficiencia de reducción de amoniaco		
	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	
Cerdos	Almacenamiento	Cubierta - geotextil	72%	Retención	
		Cubierta - geotextil + filtro de carbón activado	89%		
		Cubierta flotante	82%		
	Pretratamiento	Modificación de pH*	70%		
	Manejo de purín	Tratamiento	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:

$$NH_{3i,j,k} = N_{en\ flujo\ etapa\ k-1} \times FE_{j,k} \times (1 - ER_{j,k}) \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde,

$NH_{3i,j,k}$:	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.

$$Reducción\ emisiones_{NH_3} = 1 - \frac{Emisión\ Total\ Plantel_{escenario\ de\ reducción}}{Emisión\ Total\ Plantel_{línea\ base}} \quad \text{Ecuación 8}$$

3. Aplicación de metodología

A continuación, se presentan casos de estudio a modo de ejemplificación de la aplicación de la metodología en diferentes escenarios.

3.1 Caso 1: Un pabellón slat-pit y laguna en instalación de cerdos. Medida de reducción: cubierta a laguna.

A continuación se presenta el modelo conceptual del caso ejemplo número 1 (en la línea bajo las imágenes), un plantel con sistema de limpieza de pabellón del tipo slat-pit y una laguna de acumulación de purín crudo.

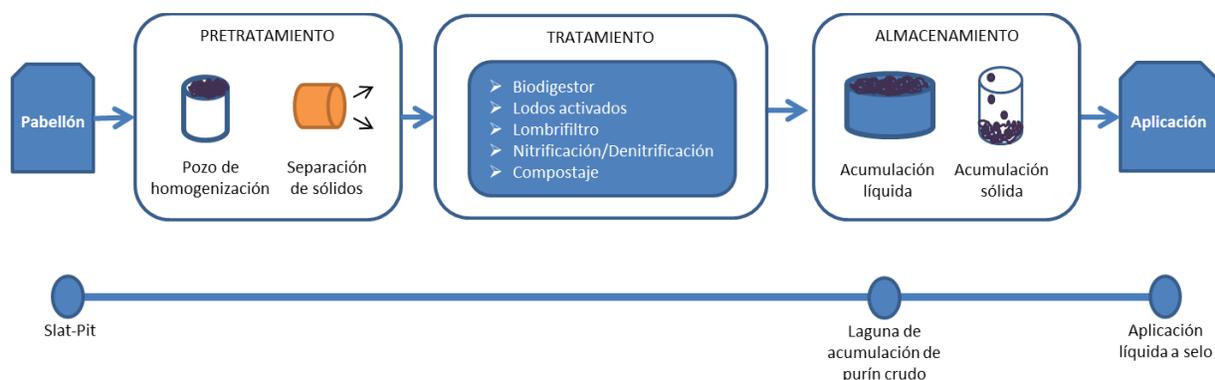


Figura 3-1 Modelo conceptual del caso 1

Fuente: Elaboración propia

Paso 1: Estimación del número de animales

En este caso, se distingue en primer lugar que corresponde a una instalación de cerdos, los que se pueden clasificar en reproductores o de engorda. Se supondrá para este caso que el plantel cuenta con 3.000 cerdos reproductores y 15.000 de engorda. Por lo tanto, se tienen los dos primeros parámetros para el cálculo:

- $X_{rep} = 3.000$
- $X_{eng} = 15.000$

Paso 2: Identificación de la cadena de manejo de estiércol

Luego, se identifican los componentes de la cadena de manejo de estiércol para el sector de cerdos. En este caso, los componentes son los siguientes:

- Sistema de recolección/evacuación de purinas: Slat-Pit
- Sistema de manejo del purín: laguna de acumulación de purín crudo

Paso 3: Estimación de la cantidad de nitrógeno excretada

Se utilizan las tasas de excreción de nitrógeno diarias por animal presentadas en la Sección 2.3 para el caso de cerdos. Estas corresponden a:

- $T_{EN-rep} = 17,4 \frac{kg\ N}{animal \cdot año}$
- $T_{EN-eng} = 12,6 \frac{kg\ N}{animal \cdot año}$

Con estas tasas y la cantidad de animales por categoría, es posible estimar la cantidad de nitrógeno excretada por categoría de animal:

- $E_{N-rep} = 3.000 \cdot 17,4 \frac{kg\ N}{animal \cdot año} = 52.200 \frac{kgN}{año}$
- $E_{N-eng} = 15.000 \cdot 12,6 \frac{kg\ N}{animal \cdot año} = 189.000 \frac{kgN}{año}$

Paso 4: Identificación de los factores de emisión para cada componente de la cadena de manejo

Se identifican, a partir de las tablas de la Sección 2.4, los factores de emisión para cada componente de la cadena de manejo correspondientes a instalaciones de cerdos.

- $FE_{Slat-pit} = 2,76 \frac{kg\ NH_3}{cabeza \cdot año}$
- $FE_{Laguna} = 71\% (40\% NH_3)$

Paso 5: Estimación de las emisiones de amoniaco

Se estiman las emisiones de amoniaco de la cadena de manejo de acuerdo a las fórmulas presentadas en la Sección 2.5. A continuación, se explica paso a paso el seguimiento de la metodología, y finalmente se presenta una tabla resumen donde se incorporan todos los cálculos.

1. En primer lugar, se estima la cantidad de nitrógeno inicial que ingresa al flujo a partir de las excretas de los animales. Esta se calcula de la siguiente manera:

$$N_{inicial} = (E_{N-rep} + E_{N-eng}) = 52.200 + 189.000 = 241.200 \frac{kgN}{año}$$

2. Luego, se estiman las emisiones a partir del pabellón, utilizando en este caso el factor de emisión de un sistema Slat-Pit

$$\begin{aligned} Emisión_{Pabellón\ 1} &= FE_{Slat-pit} \cdot (X_{rep} + X_{eng}) = 2,76 \frac{kg\ NH_3}{cabeza \cdot año} \cdot 18.000\ cabezas \\ &= 49.680 \frac{kgNH_3}{año} \end{aligned}$$

3. Tal como se explica en la Sección 2.5, para estimar las emisiones de la siguiente etapa de manejo, primero es necesario calcular la cantidad de nitrógeno restante luego de que parte del nitrógeno inicial es emitido al ambiente en el pabellón. Para esto, se restan las emisiones de amoniaco (convertidas a nitrógeno) a la cantidad de nitrógeno inicial:

$$\begin{aligned}
 N_{\text{restante post pabellón 1}} &= N_{\text{inicial}} - \text{Emisión}_{\text{Pabellón 1}} \cdot \left(\frac{14}{17}\right) \\
 &= 241.200 \frac{\text{kgN}}{\text{año}} - 49.680 \frac{\text{kgNH}_3}{\text{año}} \cdot \frac{14}{17} \frac{N}{\text{NH}_3} \\
 &= 200.287 \frac{\text{kgN}}{\text{año}}
 \end{aligned}$$

4. Una vez estimada la cantidad de nitrógeno restante que entrará a la siguiente etapa de la cadena de manejo, en este caso una laguna, se procede a calcular las emisiones de esta etapa:

$$\begin{aligned}
 \text{Emisión}_{\text{NH}_3 \text{Laguna}} &= N_{\text{restante post pabellón 1}} \cdot \% \text{Pérdida de N como NH}_3 \text{Laguna} \\
 &= 200.287 \frac{\text{kgN}}{\text{año}} \cdot 40\% \frac{17 \text{ kgNH}_3}{14 \text{ kgN}} = 97,282 \frac{\text{kgNH}_3}{\text{año}}
 \end{aligned}$$

Sin embargo, la volatilización de nitrógeno de la etapa es mayor, es un 71%, por lo cual se debe calcular el nitrógeno total liberado.

$$\begin{aligned}
 \text{Emisión}_{\text{N}_{\text{Laguna}}} &= N_{\text{restante post pabellón 1}} \cdot \% \text{Pérdida de Nitrógeno}_{\text{Laguna}} \\
 &= 200.287 \frac{\text{kgN}}{\text{año}} \cdot 71\% = 142.204 \frac{\text{kgN}}{\text{año}}
 \end{aligned}$$

5. Nuevamente, se calcula la cantidad de nitrógeno que queda luego de la emisión en la laguna (en este caso se cuenta directamente con el factor de emisión del nitrógeno):

$$\begin{aligned}
 N_{\text{restante post componente 1}} &= N_{\text{restante post pabellón 1}} - \text{Emisión}_{\text{N}_{\text{Laguna}}} \\
 &= 200.287 \frac{\text{kgN}}{\text{año}} - 142.204 \frac{\text{kgN}}{\text{año}} \\
 &= 58.083 \frac{\text{kgN}}{\text{año}}
 \end{aligned}$$

6. Por último, la emisión total de amoníaco del plantel se calcula sumando todas las emisiones estimadas de los diferentes componentes de la cadena de manejo:

$$\begin{aligned}
 \text{Emisión total de amoníaco Pabellón 1} &= \text{Emisión}_{\text{Pabellón 1}} + \text{Emisión}_{\text{Laguna}} = \\
 &= 49.680 \frac{\text{kgNH}_3}{\text{año}} + 97.282 \frac{\text{kgNH}_3}{\text{año}} = 146.962 \frac{\text{kgNH}_3}{\text{año}}
 \end{aligned}$$

Tabla 3-1 Cálculo de emisiones para un pabellón de crianza de cerdos, caso 1

Etapa		Emisión de nitrógeno		Nitrógeno restante en el flujo
Cantidad de animales	Reproductora $X_{rep} = 3.000$ animales	Excreción de N = Número de animales x Tasa de generación de nitrógeno (T_{EN})	$E_{N-rep} = X_{rep} \cdot T_{EN-rep}$ $= 52.200 \frac{kgN}{año}$	$N_{inicial} = (E_{N-rep} + E_{N-eng})$ $= 52.200 + 189.000 = 241.200 \frac{kgN}{año}$
	Engorda $X_{eng} = 15.000$ animales		$E_{N-eng} = X_{eng} \cdot T_{EN-eng}$ $= 189.000 \frac{kgN}{año}$	
Cadena de Manejo	Pabellón ₁	$Emisión_{Pabellón\ 1} = FE_{Stat-Pit} \cdot (X_{rep} + X_{eng}) = 49.680 \frac{kgNH_3}{año}$		$N_{restante\ post\ pabellón\ 1} =$ $N_{inicial} - Emisión_{Pabellón\ 1} \cdot \left(\frac{14}{17}\right)$ $= 200.287 \frac{kgN}{año}$
	Componentes de cadena de manejo de purín	$Emisión_{Componente\ 1} =$	$Emisión_{Laguna}$ $= N_{restante\ post\ pabellón\ 1}$ $\cdot \%Pérdida\ de\ N\ como\ NH_3\ Laguna$ $\cdot \left(\frac{17}{14}\right) = 97.282 \frac{kgNH_3}{año}$	$N_{restante\ post\ Laguna}$ $= N_{restante\ post\ pabellón\ 1} - Emisión\ N_{Laguna}$ $= 58.083 \frac{kgN}{año}$
$Emisión\ Total\ de\ Amoniaco\ Pabellón\ 1 = Emisión_{Pabellón\ 1} + Emisión_{Componente\ 1} = 146.962 \frac{kgNH_3}{año}$				

Fuente: Elaboración propia

Paso 6: Estimación de potenciales reducciones por implementación de tecnologías

Se puede estimar el impacto cuantitativo que tendrá la implementación de una medida de reducción de emisiones de amoníaco. Para eso se debe identificar la medida y componente a la cual implementar dicha medida.

En este caso, se aplicará una cubierta flotante a la laguna de almacenamiento de purín crudo.

$$ER_{Cubierta} = 82\%$$

A continuación se presenta el modelo conceptual de la implementación de una cubierta a la laguna del caso ejemplo número 1 (en la línea bajo las imágenes).

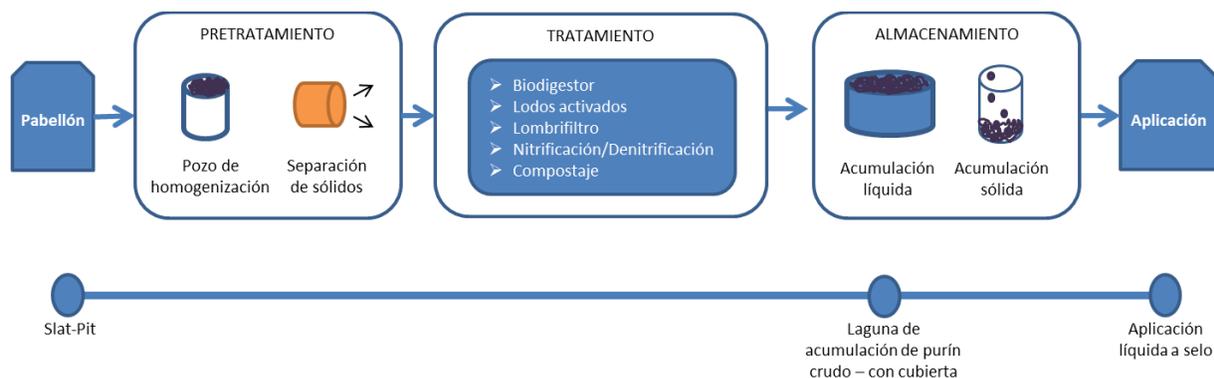


Figura 3-2 Modelo conceptual del caso 1, escenario de reducción

Fuente: Elaboración propia

Debido a que en esta etapa se aplica una medida de reducción de emisiones (en este caso se aplica una cubierta a la laguna), se deben corregir las emisiones utilizando la eficiencia de reducción de emisiones de la medida, tal como se muestra a continuación:

$$\begin{aligned} Emisión_{Final\ Laguna} &= Emisión_{Laguna} \cdot (1 - Eficiencia\ reducción_{cubierta\ laguna}) \\ &= 97.282 \frac{kgNH_3}{año} \cdot (1 - 82\%) = 17.511 \frac{kgNH_3}{año} \end{aligned}$$

Si consideramos estas emisiones finales, contra las emisiones totales de línea base se puede estimar la reducción de emisiones de amoníaco para el plantel completo.

$$\begin{aligned} Reducción\ emisiones_{NH_3} &= 1 - \frac{Emisión\ Total\ Plantel_{escenario\ de\ reducción}}{Emisión\ Total\ Plantel_{línea\ base}} \\ &= 1 - \frac{67.191 \frac{kgNH_3}{año}}{146.962 \frac{kgNH_3}{año}} = 0,542 \end{aligned}$$

Por lo tanto, la reducción alcanzada en las emisiones de amoníaco del plantel, al implementar una cubierta a la laguna, es de un 54,2%.

3.2 Caso 2: Dos pabellones slat-flush y slat-pit, pozo de homogeneización y laguna en instalación de cerdos. Medida de reducción: cubierta a pozo de homogeneización y lodos activados

A continuación se presenta el modelo conceptual del caso ejemplo número 2 (en la línea bajo las imágenes), un plantel con sistema de limpieza de pabellón del tipo slat-pit para cerdos de engorda y sistema slat-flush para cerdos reproductores, un pozo de homogeneización que reúne los flujos de ambos pabellones y una laguna de acumulación de purín crudo.

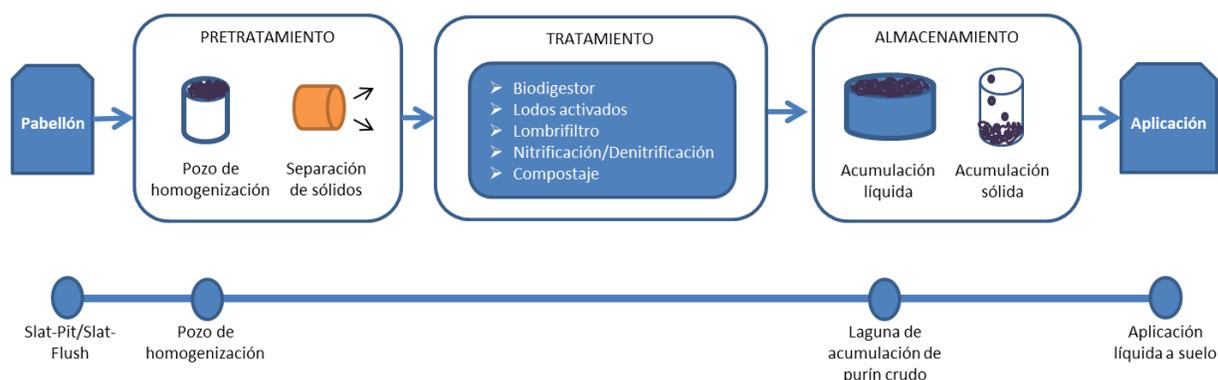


Figura 3-3 Modelo conceptual del caso 2

Fuente: Elaboración propia

Paso 1: Estimación del número de animales

En este caso, se distingue en primer lugar que corresponde a una instalación de cerdos, los que se pueden clasificar en reproductores o de engorda. Se supondrá para este caso que el plantel cuenta con dos pabellones: uno con 10.000 cerdos reproductores, en una instalación slat-flush y otro con 15.000 de engorda, en una instalación slat-pit. Por lo tanto, se tienen los dos primeros parámetros para el cálculo:

- $X_{rep} = 10.000$
- $X_{eng} = 15.000$

Paso 2: Identificación de la cadena de manejo de estiércol

Luego, se identifican los componentes de la cadena de manejo de estiércol para el sector de cerdos. En este caso, los componentes son los siguientes:

- Sistema de recolección/evacuación de purinas: slat-flush para cerdos reproductora y slat-pit para cerdos de engorda
- Sistema de manejo del purín
 - pozo homogeneizador
 - laguna de acumulación de purín crudo

Paso 3: Estimación de la cantidad de nitrógeno excretada

Se utilizan las tasas de excreción de nitrógeno diarias por animal presentadas en la Sección 2.3 para el caso de cerdos. Estas corresponden a:

- $T_{EN-rep} = 17,4 \frac{kg\ N}{animal \cdot año}$
- $T_{EN-eng} = 12,6 \frac{kg\ N}{animal \cdot año}$

Con estas tasas y la cantidad de animales por categoría, es posible estimar la cantidad de nitrógeno excretada por categoría de animal:

- $E_{N-rep} = 10.000 \cdot 17,4 \frac{kg\ N}{animal \cdot año} = 174.000 \frac{kgN}{año}$
- $E_{N-eng} = 15.000 \cdot 12,6 \frac{kg\ N}{animal \cdot año} = 189.000 \frac{kgN}{año}$

Paso 4: Identificación de los factores de emisión para cada componente de la cadena de manejo

Se identifican, a partir de las tablas de la Sección 2.4, los factores de emisión para cada componente de la cadena de manejo correspondientes a instalaciones de cerdos.

- $FE_{Slat-Flush} = 2,08 \frac{kg\ NH_3}{cabeza \cdot año}$
- $FE_{Slat-Pit} = 2,76 \frac{kg\ NH_3}{cabeza \cdot año}$
- $FE_{Pozo} = 6,6\%$
- $FE_{Laguna} = 71\%$ (40% N como NH_3)

Paso 5: Estimación de las emisiones de amoniaco

Se estiman las emisiones de amoniaco de la cadena de manejo de acuerdo a las fórmulas presentadas en la Sección 2.5. A continuación, se explica paso a paso el seguimiento de la metodología, y finalmente se presenta una tabla resumen donde se incorporan todos los cálculos.

1. **Etapas: Pabellón.** En primer lugar, se estima la cantidad de nitrógeno inicial que ingresa al flujo a partir de las excretas de los animales de cada pabellón. Esta se calcula de la siguiente manera:

$$N_{inicial,pabellón\ 1} = E_{N-rep} = 174.000 \frac{kgN}{año}$$

$$N_{inicial,pabellón\ 2} = E_{N-eng} = 189.000 \frac{kgN}{año}$$

2. **Etapas: Pabellón.** Luego, se estiman las emisiones a partir del pabellón, utilizando en este caso el factor de emisión de un sistema Slat-Pit

$$Emisión_{Pabellón\ 1} = FE_{Slat-Flush} \cdot X_{rep} = 2,08 \frac{kg\ NH_3}{cabeza \cdot año} \cdot 10.000\ cabezas$$

$$\begin{aligned}
 &= 20.800 \frac{kgNH_3}{año} \\
 Emisión_{Pabellón 2} &= FE_{Slat-Pit} \cdot X_{eng} = 2,76 \frac{kg NH_3}{cabeza \cdot año} \cdot 15.000 \text{ cabezas} \\
 &= 41.400 \frac{kgNH_3}{año}
 \end{aligned}$$

3. **Etapas: Post Pabellón.** Tal como se explica en la Sección 2.5, para estimar las emisiones de la siguiente etapa de manejo, primero es necesario calcular la cantidad de nitrógeno restante luego de que parte del nitrógeno inicial es emitido al ambiente en los pabellones. Para esto, se restan las emisiones de amoníaco (convertidas a nitrógeno) a la cantidad de nitrógeno inicial:

$$\begin{aligned}
 N_{restante \text{ post pabellón } 1} &= N_{inicial, pabellón 1} - Emisión_{Pabellón 1} \cdot \left(\frac{14}{17}\right) \\
 &= 174.000 \frac{kgN}{año} - 20.800 \frac{kgNH_3}{año} \cdot \frac{14}{17} \frac{N}{NH_3} \\
 &= 156.871 \frac{kgN}{año}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_{restante \text{ post pabellón } 2} &= N_{inicial, pabellón 2} - Emisión_{Pabellón 2} \cdot \left(\frac{14}{17}\right) \\
 &= 189.000 \frac{kgN}{año} - 41.400 \frac{kgNH_3}{año} \cdot \frac{14}{17} \frac{N}{NH_3} \\
 &= 154.906 \frac{kgN}{año}
 \end{aligned}$$

4. **Etapas: Pozo homogeneización.** En la siguiente etapa de la cadena de manejo (pozo de homogeneización), se juntan las excretas de ambos pabellones, por lo que el nitrógeno que ingresa a esta etapa corresponde a la suma del nitrógeno restante luego de los pabellones 1 y 2. Con el nitrógeno restante total y el porcentaje de pérdida de NH₃ del pozo se calculan las emisiones de este.

$$\begin{aligned}
 N_{restante \text{ post pabellones}} &= N_{restante \text{ post pabellón } 1} + N_{restante \text{ post pabellón } 2} \\
 &= 156.871 + 154.906 = 311.776 \frac{kgN}{año}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Emisión_{Pozo} &= N_{restante \text{ post pabellones}} \cdot \%Pérdida \text{ de } NH_3 \text{ Pozo} \\
 &= 311.776 \frac{kgN}{año} \cdot 0,066 = 20.577 \frac{kgNH_3}{año}
 \end{aligned}$$

5. **Etapas: Post Pozo homogeneización.** Nuevamente, se calcula la cantidad de nitrógeno que queda luego de que una parte se emita como amoníaco en el pozo:

$$N_{restante \text{ post componente } 1} = N_{restante \text{ post pabellones}} - Emisión_{Pozo} \cdot \left(\frac{14}{17}\right)$$

$$\begin{aligned}
 &= 311.776 \frac{\text{kgN}}{\text{año}} - 20.577 \frac{\text{kgNH}_3}{\text{año}} \cdot \frac{14 \text{ N}}{17 \text{ NH}_3} \\
 &= 294.831 \frac{\text{kgN}}{\text{año}}
 \end{aligned}$$

6. **Etapas: Laguna de almacenamiento.** Con la cantidad de nitrógeno restante y el factor de emisión del segundo componente de la cadena de manejo (laguna de almacenamiento), se pueden estimar las emisiones de esta etapa:

$$\begin{aligned}
 \text{Emisión}_{Laguna} &= N_{\text{restante post componente 1}} \cdot \% \text{Pérdida de N como NH}_3 \text{ laguna} = \\
 &= 294.831 \frac{\text{kgN}}{\text{año}} \cdot 40\% \frac{17 \text{ kgNH}_3}{14 \text{ kgN}} = 143.204 \frac{\text{kgNH}_3}{\text{año}}
 \end{aligned}$$

Sin embargo, la volatilización de nitrógeno de la etapa es mayor, es un 71%, por lo cual se debe calcular el nitrógeno total liberado.

$$\begin{aligned}
 \text{Emisión}_{N_{Laguna}} &= N_{\text{restante post componente 1}} \cdot \% \text{Pérdida de Nitrógeno}_{Laguna} \\
 &= 294.831 \frac{\text{kgN}}{\text{año}} \cdot 71\% = 209.330 \frac{\text{kgN}}{\text{año}}
 \end{aligned}$$

7. **Etapas: Post laguna de almacenamiento.** Se calcula la cantidad de nitrógeno restante luego de la emisión en la laguna (en este caso se cuenta directamente con el factor de emisión del nitrógeno):

$$\begin{aligned}
 N_{\text{restante post componente 2}} &= N_{\text{restante post componente 1}} - \text{Emisión}_{N_{Laguna}} \\
 &= 294.831 \frac{\text{kgN}}{\text{año}} - 209.330 \frac{\text{kgN}}{\text{año}} = 85.501 \frac{\text{kgN}}{\text{año}}
 \end{aligned}$$

8. **Emisiones totales.** Por último, la emisión total de amoníaco de los pabellones se calcula sumando todas las emisiones estimadas de los diferentes componentes de la cadena de manejo:

$$\begin{aligned}
 &\text{Emisión total de amoníaco Pabellones} \\
 &= \text{Emisión}_{\text{Pabellón 1}} + \text{Emisión}_{\text{Pabellón 2}} + \text{Emisión}_{\text{Componente 1}} \\
 &\quad + \text{Emisión}_{\text{Componente 2}} = \\
 &= 20.800 \frac{\text{kgNH}_3}{\text{año}} + 41.400 \frac{\text{kgNH}_3}{\text{año}} + 20.577 \frac{\text{kgNH}_3}{\text{año}} + 143.204 \frac{\text{kgNH}_3}{\text{año}} = 225.981 \frac{\text{kgNH}_3}{\text{año}}
 \end{aligned}$$

Tabla 3-2 Cálculo de emisiones para un pabellón de crianza de cerdos, caso 2

Etapa		Emisión de nitrógeno		Nitrógeno restante en el flujo	
		Ecuación			
Cantidad de animales	Reproductora $X_{rep} = 10.000$ animales	Excreción de N = Número de animales x Tasa de generación de nitrógeno (T_{EN})	$E_{N-rep} = X_{rep} \cdot T_{EN-rep}$ $= 174.000 \frac{kgN}{año}$	$N_{inicial,pabellón1} = E_{N-rep} = 174.000 \frac{kgN}{año}$	
	Engorda $X_{eng} = 15.000$ animales		$E_{N-eng} = X_{eng} \cdot T_{EN-eng}$ $= 189.000 \frac{kgN}{año}$	$N_{inicial,pabellón2} = E_{N-eng} = 189.000 \frac{kgN}{año}$	
Cadena de Manejo	Pabellón ₁	$Emisión_{Pabellón 1} = FE_{Slat-Flush} \cdot X_{rep} = 20.800 \frac{kgNH3}{año}$		$N_{restante post pabellón 1} =$ $N_{inicial,pabellón1} - Emisión_{Pabellón 1} \cdot \left(\frac{14}{17}\right)$ $= 156.871 \frac{kgN}{año}$	
	Pabellón ₂	$Emisión_{Pabellón 2} = FE_{Slat-Pit} \cdot X_{eng} = 41.400 \frac{kgNH3}{año}$		$N_{restante post pabellón 2} =$ $N_{inicial,pabellón2} - Emisión_{Pabellón 2} \cdot \left(\frac{14}{17}\right)$ $= 154.906 \frac{kgN}{año}$	
	Componentes de cadena de manejo de purín	$Emisión_{Componente 1} =$	$Emisión_{Pozo}$ $= N_{restante post pabellones}$ $\cdot \%Pérdida de NH_3 Pozo$ $= 20.577 \frac{kgNH3}{año}$		$N_{restante post componente 1}$ $= N_{restante post pabellones}$ $- Emisión_{Pozo} \cdot \left(\frac{14}{17}\right)$ $= 294.831 \frac{kgN}{año}$
		$Emisión_{Componente 2} =$	$Emisión_{Laguna}$ $= N_{restante post componente 1}$ $\cdot \%Pérdida de N como NH_3 laguna$ $\cdot \left(\frac{17}{14}\right) = 143.204 \frac{kgNH3}{año}$		$N_{restante post componente 2}$ $= N_{restante post componente 1} - Emisión_{Laguna}$ $= 85.501 \frac{kgN}{año}$
<p>$Emisión Total de Amoniaco Pabellón 1 = Emisión_{Pabellón 1} + Emisión_{Pabellón 2} + Emisión_{Componente 1} + Emisión_{Componente 2}$</p> <p>$= 225.981 \frac{kgNH_3}{año}$</p>					

Fuente: Elaboración propia

Paso 6: Estimación de potenciales reducciones por implementación de tecnologías

Se puede estimar el impacto cuantitativo que tendrá la implementación de medidas de reducción de emisiones de amoníaco. Para eso se debe identificar las medidas y componentes a la cual implementar dicha medida.

En este caso, se aplica una cubierta al pozo de homogeneización y además se añade una etapa de tratamiento aeróbico antes de la laguna de almacenamiento.

A continuación se presenta el modelo conceptual de la implementación de una cubierta al pozo de homogeneización y la incorporación de un sistema de tratamiento de lodos activados al caso ejemplo número 2 (en la línea bajo las imágenes).



Figura 3-4 Modelo conceptual del caso 2, escenario de reducción

Fuente: Elaboración propia

Se deben incorporar los cambios en las emisiones en orden de acuerdo a la configuración de la cadena de manejo. En este caso, primero se encuentra el pozo de homogeneización.

1. **Etapas: Pozo de homogeneización.** Cálculo de las nuevas estimaciones en el pozo de homogeneización al aplicar una cubierta. Para esto, se identifica la eficiencia de reducción de emisiones de acuerdo a la tabla de la Sección 2.6 y se corrigen las emisiones tal como se muestra a continuación:

$$ER_{Cubierta\ geotextil} = 72\%$$

$$\begin{aligned} Emisión_{Final\ Pozo} &= Emisión_{Pozo} \cdot (1 - Eficiencia\ reducción_{Cubierta}) \\ &= 20.577 \frac{kgNH_3}{año} \cdot (1 - 0,72) = 5.762 \frac{kgNH_3}{año} \end{aligned}$$

2. **Etapas: Post pozo de homogeneización.** Nuevamente, se calcula la cantidad de nitrógeno que queda luego de que una parte se emita como amoníaco en el pozo:

$$N_{restante\ post\ componente\ 1} = N_{restante\ post\ pabellones} - Emisión_{Pozo} \cdot \left(\frac{14}{17}\right)$$

$$\begin{aligned}
 &= 311.776 \frac{\text{kgN}}{\text{año}} - 5.762 \frac{\text{kgNH}_3}{\text{año}} \cdot \frac{14 \text{ N}}{17 \text{ NH}_3} \\
 &= 307.032 \frac{\text{kgN}}{\text{año}}
 \end{aligned}$$

3. **Etapas: Tratamiento aeróbico.** Luego, se añade la etapa de tratamiento aeróbico. Con la cantidad de nitrógeno restante y el factor de emisión de esta medida (ver Sección 2.6), se pueden estimar las emisiones de esta etapa. En este paso es importante distinguir que en el tratamiento aeróbico también hay remoción de NH_3 .

$$\begin{aligned}
 E_{\text{Emisiones NH}_3 T.\text{aeróbico}} &= 48\% \\
 E_{\text{Remoción lodos activados}} &= 80\%
 \end{aligned}$$

En primer lugar, se calcula la remoción asociada a la medida de lodos activados, considerando la cantidad de nitrógeno restante de la etapa anterior. Esto permitirá calcular el nitrógeno que queda luego de la medida.

$$\text{Remoción}_{\text{Lodos activados}} = 80\% \cdot 306.015 \frac{\text{kgNH}_3}{\text{año}} = 245,625$$

$$\begin{aligned}
 N_{\text{restante post lodos activados}} &= N_{\text{restante post componente 1}} - \text{Remoción}_{\text{Lodos activados}} \cdot \left(\frac{14}{17}\right) \\
 &= 307.032 \frac{\text{kgN}}{\text{año}} - 245.625 \cdot \frac{14 \text{ N}}{17 \text{ NH}_3} \\
 &= 104.752 \frac{\text{kgN}}{\text{año}}
 \end{aligned}$$

Luego se calculan las emisiones de amoniaco que ocurren luego de que el flujo pase por los lodos activados

$$\begin{aligned}
 E_{\text{Emisión lodos activados}} &= N_{\text{restante post componente 1}} \cdot \%E_{\text{Emisiones NH}_3 \text{ lodos activados}} = \\
 &= 104.752 \frac{\text{kgN}}{\text{año}} \cdot 0,48 = 50.281 \frac{\text{kgNH}_3}{\text{año}}
 \end{aligned}$$

4. **Etapas: Post tratamiento aeróbico.** Se calcula la cantidad de nitrógeno restante luego de la emisión en el sistema de tratamiento aeróbico

$$\begin{aligned}
 &N_{\text{restante post componente 2}} \\
 &= N_{\text{restante post lodos activados}} - (E_{\text{Emisión}_{\text{Lodos activados}}}) \cdot \left(\frac{14}{17}\right) \\
 &= 104.752 \frac{\text{kgN}}{\text{año}} - \left(50.281 \frac{\text{kgNH}_3}{\text{año}}\right) \cdot \frac{14 \text{ N}}{17 \text{ NH}_3} = 63.344 \frac{\text{kgN}}{\text{año}}
 \end{aligned}$$

5. **Etapas: laguna de almacenamiento.** Con la cantidad de nitrógeno restante y el factor de emisión de la laguna de almacenamiento se pueden estimar las emisiones de esta etapa:

$$E_{\text{Emisión}_{\text{Laguna}}} = N_{\text{restante post componente 2}} \cdot \%P\acute{e}r\text{dida de N como NH}_3 \text{ laguna} =$$

$$= 63.344 \frac{kgN}{año} \cdot 40\% \frac{17 kgNH_3}{14 kgN} = 30.767 \frac{kgNH_3}{año}$$

Sin embargo, la volatilización de nitrógeno de la etapa es mayor, es un 71%, por lo cual se debe calcular el nitrógeno total liberado.

$$\begin{aligned} Emisión_{N_{Laguna}} &= N_{restante \text{ post componente } 2} \cdot \%Pérdida \text{ de Nitrógeno}_{Laguna} \\ &= 63.344 \frac{kgN}{año} \cdot 71\% = 44.974 \frac{kgN}{año} \end{aligned}$$

6. **Etapas: Post laguna de almacenamiento.** Se calcula la cantidad de nitrógeno restante luego de la emisión en la laguna (en este caso se cuenta directamente con el factor de emisión del nitrógeno):

$$\begin{aligned} N_{restante \text{ post componente } 3} &= N_{restante \text{ post componente } 2} - Emisión_{N_{Laguna}} \\ &= 63.344 \frac{kgN}{año} - 44.974 \frac{kgN}{año} = 18.370 \frac{kgN}{año} \end{aligned}$$

Por último, la emisión total de amoniaco de los pabellones se calcula sumando todas las emisiones estimadas de los diferentes componentes de la cadena de manejo:

$$\begin{aligned} &Emisión \text{ Total Plantel}_{escenario \text{ de reducción}} \\ &= Emisión_{Pabellón 1} + Emisión_{Pabellón 2} + Emisión_{Componente 1} \\ &\quad + Emisión_{Componente 2} + Emisión_{Componente 3} = \\ &= 20.800 \frac{kgNH_3}{año} + 41.400 \frac{kgNH_3}{año} + 5.762 \frac{kgNH_3}{año} + 50.281 \frac{kgNH_3}{año} + 30.767 \frac{kgNH_3}{año} \\ &= 149.010 \frac{kgNH_3}{año} \end{aligned}$$

Si consideramos estas emisiones finales, contra las emisiones totales de línea base se puede estimar la reducción de emisiones de amoniaco para el plantel completo.

$$\begin{aligned} Reducción \text{ emisiones}_{NH_3} &= \left(1 - \frac{Emisión \text{ Total Plantel}_{escenario \text{ de reducción}}}{Emisión \text{ Total Plantel}_{línea \text{ base}}} \right) \\ &= 1 - \frac{149.010 \frac{kgNH_3}{año}}{225.981 \frac{kgNH_3}{año}} = 1 - 0,659 = 34.1\% \end{aligned}$$

Por lo tanto, la reducción alcanzada en las emisiones de amoniaco del plantel, al implementar una cubierta al pozo y un sistema de lodos activados, es de un 34.1%.

3.3 Caso 3: Jaula con almacenaje en instalación de aves. Medida de reducción: extracción automática

A continuación se presenta el modelo conceptual del caso ejemplo número 3 (en la línea bajo las imágenes), un plantel de aves con un pabellón de ponedoras y un pabellón de broiler engorda, ambos con sistemas de jaulas con almacenamiento sólido de excretas.

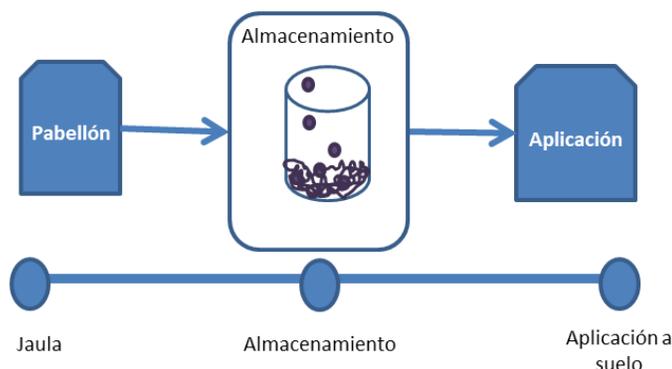


Figura 3-5 Modelo conceptual del caso 3

Fuente: Elaboración propia

Paso 1: Estimación del número de animales

En este caso, se distingue en primer lugar que corresponde a una instalación de aves, los que se pueden clasificar en broiler engorda, reproductora broiler, ponedora y pavos. Se supondrá para este caso que el plantel cuenta con 10.000 gallinas broiler engorda y 15.000 gallinas ponedoras, ambas en instalaciones del tipo jaula. Por lo tanto, se tienen los primeros parámetros para el cálculo:

- $X_{beng} = 10.000$
- $X_{pon} = 15.000$

Paso 2: Identificación de la cadena de manejo de estiércol

Luego, se identifican los componentes de la cadena de manejo de estiércol para el sector de aves. En este caso, los componentes son los siguientes:

- Sistema de recolección: Jaulas
- Sistema de almacenamiento: acopio/abono

Paso 3: Estimación de la cantidad de nitrógeno excretada

Se utilizan las tasas de excreción de nitrógeno diarias por animal presentadas en la Sección 2.3 para el caso de aves. Estas corresponden a:

- $T_{EN-beng} = 0,4 \frac{kg N}{animal \cdot año}$
- $T_{EN-pon} = 0,5 \frac{kg N}{animal \cdot año}$

Con estas tasas y la cantidad de animales por categoría, es posible estimar la cantidad de nitrógeno excretada por categoría de animal:

- $E_{N-beng} = 10.000 \cdot 0,4 \frac{kg\ N}{animal \cdot año} = 4.000 \frac{kgN}{año}$
- $E_{N-pon} = 15.000 \cdot 0,5 \frac{kg\ N}{animal \cdot año} = 7.500 \frac{kgN}{año}$

Paso 4: Identificación de los factores de emisión para cada componente de la cadena de manejo

Se identifican, a partir de las tablas de la Sección 2.4, los factores de emisión para cada componente de la cadena de manejo correspondientes a instalaciones de aves. Tanto para broiler engorda como reproductoras broiler se utilizan los mismos factores de emisión.

- $FE_{Jaula,beng} = 0,2 \frac{kg\ NH_3}{cabeza \cdot año}$
- $FE_{Jaula,pon} = 0,14 \frac{kg\ NH_3}{cabeza \cdot año}$
- $FE_{Alm,beng} = 20\%$
- $FE_{Alm,pon} = 14\%$

Paso 5: Estimación de las emisiones de amoniaco

Finalmente, se estiman las emisiones de amoniaco de la cadena de manejo de acuerdo a las fórmulas presentadas en la Sección 2.5. A continuación, se explica paso a paso el seguimiento de la metodología, y finalmente se presenta una tabla resumen donde se incorporan todos los cálculos.

1. **Etapas: Pabellón.** En primer lugar, se estima la cantidad de nitrógeno inicial que ingresa al flujo a partir de las excretas de los animales. Esta se calcula de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 N_{inicial,beng} &= E_{N-beng} = 4.000 \frac{kgN}{año} \\
 N_{inicial,pon} &= E_{N-pon} = 7.500 \frac{kgN}{año} \\
 N_{inicial} &= N_{inicial,beng} + N_{inicial,pon} \\
 &= 4.000 + 7.500 \frac{kgN}{año} \\
 &= 11.500 \frac{kgN}{año}
 \end{aligned}$$

2. **Etapas: Pabellón.** Luego, se estiman las emisiones a partir del pabellón, utilizando en este caso el factor de emisión de un sistema de jaulas. Debido a que los factores de emisión de jaulas dependen de la categoría de animal, las emisiones se calculan por separado para la categoría de animal:

$$\begin{aligned}
 Emisión_{Pabellón\ 1,beng} &= FE_{Jaula,beng} \cdot X_{beng} \\
 &= 0,2 \frac{kg\ NH_3}{cabeza \cdot año} \cdot 10.000\ cabezas
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2.000 \frac{\text{kgNH}_3}{\text{año}} \\
 \text{Emisión}_{\text{Pabellón 1,pon}} &= FE_{\text{Jaula,pon}} \cdot X_{\text{pon}} \\
 &= 0,14 \frac{\text{kg NH}_3}{\text{cabeza} \cdot \text{año}} \cdot 15.000 \text{ cabezas} \\
 &= 2.100 \frac{\text{kgNH}_3}{\text{año}} \\
 \text{Emisión}_{\text{Pabellón 1}} &= \text{Emisión}_{\text{Pabellón 1,beng}} + \text{Emisión}_{\text{Pabellón 1,pon}} \\
 &= 2.000 \frac{\text{kgNH}_3}{\text{año}} + 2.100 \frac{\text{kgNH}_3}{\text{año}} \\
 &= 4,100 \frac{\text{kgNH}_3}{\text{año}}
 \end{aligned}$$

3. **Etapas: Post Pabellón.** Tal como se explica en la Sección 2.5, para estimar las emisiones de la siguiente etapa de manejo, primero es necesario calcular la cantidad de nitrógeno restante luego de que parte del nitrógeno inicial es emitido al ambiente en el pabellón. Para esto, se restan las emisiones de amoníaco (convertidas a nitrógeno) a la cantidad de nitrógeno inicial. Esto también se realiza de forma separada para cada categoría de animal.

$$\begin{aligned}
 N_{\text{restante post pabellón 1,beng}} &= N_{\text{inicial,beng}} - \text{Emisión}_{\text{Pabellón 1,beng}} \cdot \left(\frac{14}{17}\right) \\
 &= 4.000 \frac{\text{kgN}}{\text{año}} - 2.000 \frac{\text{kgNH}_3}{\text{año}} \cdot \frac{14 \text{ N}}{17 \text{ NH}_3} \\
 &= 2.353 \frac{\text{kgN}}{\text{año}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_{\text{restante post pabellón 1,pon}} &= N_{\text{inicial,beng}} - \text{Emisión}_{\text{Pabellón 1,pon}} \cdot \left(\frac{14}{17}\right) \\
 &= 7.500 \frac{\text{kgN}}{\text{año}} - 2.100 \frac{\text{kgNH}_3}{\text{año}} \cdot \frac{14 \text{ N}}{17 \text{ NH}_3} \\
 &= 5.771 \frac{\text{kgN}}{\text{año}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_{\text{restante post pabellón 1}} &= N_{\text{restante post pabellón 1,beng}} + N_{\text{restante post pabellón 1,pon}} \\
 &= 2.353 \frac{\text{kgN}}{\text{año}} + 5.771 \frac{\text{kgN}}{\text{año}} = 8.124 \frac{\text{kgN}}{\text{año}}
 \end{aligned}$$

4. **Etapas: almacenamiento.** Una vez estimada la cantidad de nitrógeno restante que entrará a la siguiente etapa de la cadena de manejo, en este caso almacenamiento, se procede a calcular las emisiones de esta etapa. Debido a que las emisiones de amoníaco de los almacenamientos son diferentes para gallinas broiler engorda y ponedoras, se realizan los cálculos por separado. Además, se debe tener en cuenta que el factor de emisión para las gallinas ponedoras se encuentra expresado como TAN (Nitrógeno Amoniacal Total), por lo cual no requiere conversión

$$\text{Emisión}_{\text{Almacenamiento,beng}} = N_{\text{restante post pabellón 1,beng}} \cdot \% \text{Pérdida de NH}_3 \text{ Almacenamiento,beng}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2.353 \frac{\text{kgN}}{\text{año}} \cdot 20\% = 471 \frac{\text{kgNH}_3}{\text{año}} \\
 &\quad \text{Emisión}_{\text{Almacenamiento,pon}} \\
 &= N_{\text{restante post pabellón 1,pon}} \cdot \% \text{Pérdida de NH}_3 \text{ Almacenamiento,pon} (\text{TAN}) \cdot \\
 &= 5.771 \frac{\text{kgN}}{\text{año}} \cdot 14\% = 808 \frac{\text{kgNH}_3}{\text{año}}
 \end{aligned}$$

$$\text{Emisión}_{\text{Almacenamiento}} = \text{Emisión}_{\text{Almacenamiento,beng}} + \text{Emisión}_{\text{Almacenamiento,pon}}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Emisión}_{\text{Almacenamiento}} &= 471 \frac{\text{kgNH}_3}{\text{año}} + 808 \frac{\text{kgNH}_3}{\text{año}} \\
 &= 1.278 \frac{\text{kgNH}_3}{\text{año}}
 \end{aligned}$$

5. **Etapas: Post almacenamiento.** Nuevamente, se calcula la cantidad de nitrógeno que queda luego de que una parte se emita como amoníaco en el almacenamiento:

$$\begin{aligned}
 N_{\text{restante post almacenamiento}} &= N_{\text{restante post pabellón 1}} - \text{Emisión}_{\text{Almacenamiento}} \cdot \left(\frac{14}{17}\right) \\
 &= 8.124 \frac{\text{kgN}}{\text{año}} - 1.278 \frac{\text{kgNH}_3}{\text{año}} \cdot \frac{14}{17} \frac{\text{N}}{\text{NH}_3} \\
 &= 7.071 \frac{\text{kgN}}{\text{año}}
 \end{aligned}$$

6. **Emisiones totales.** Por último, la emisión total de amoníaco del pabellón se calcula sumando todas las emisiones estimadas de los diferentes componentes de la cadena de manejo:

$$\begin{aligned}
 \text{Emisión total de amoníaco Pabellón 1} &= \text{Emisión}_{\text{Pabellón 1}} + \text{Emisión}_{\text{Almacenamiento}} = \\
 &= 4.100 \frac{\text{kgNH}_3}{\text{año}} + 1.278 \frac{\text{kgNH}_3}{\text{año}} = 5.378 \frac{\text{kgNH}_3}{\text{año}}
 \end{aligned}$$

Tabla 3-3 Cálculo de emisiones para un pabellón de crianza de aves, caso 3

Etapa		Emisión de nitrógeno	
		Ecuación	Nitrógeno restante en el flujo
Cantidad de animales	Ponedora (X_{pon})	$E_{N-pon} = X_{pon} \cdot T_{EN-pon}$ $= 4.000 \frac{kgN}{año}$	$N_{inicial,beng} = E_{N-beng} = 4.000 \frac{kgN}{año}$ $N_{inicial,pon} = E_{N-pon} = 7.500 \frac{kgN}{año}$ $N_{inicial} = N_{inicial,beng} + N_{inicial,pon}$ $= 11.500 \frac{kgN}{año}$
	Broiler engorda (X_{beng})	$E_{N-beng} = X_{beng} \cdot T_{EN-beng}$ $= 7.500 \frac{kgN}{año}$	
Cadena de Manejo	Pabellón ₁	$Emisión_{Pabellón\ 1,beng} = FE_{Jaula,beng} \cdot X_{beng}$ $= 2.000 \frac{kgNH_3}{año}$ $Emisión_{Pabellón\ 1,pon} = FE_{Jaula,pon} \cdot X_{pon}$ $= 2.100 \frac{kgNH_3}{año}$ $Emisión_{Pabellón\ 1}$ $= Emisión_{Pabellón\ 1,beng}$ $+ Emisión_{Pabellón\ 1,pon}$ $= 4.100 \frac{kgNH_3}{año}$	$N_{restante\ post\ pabellón\ 1,beng}$ $= N_{inicial,beng} - Emisión_{Pabellón\ 1,beng} \cdot \left(\frac{14}{17}\right)$ $= 2.353 \frac{kgN}{año}$ $N_{restante\ post\ pabellón\ 1,pon}$ $= N_{inicial,beng} - Emisión_{Pabellón\ 1,pon} \cdot \left(\frac{14}{17}\right)$ $= 5.771 \frac{kgN}{año}$ $N_{restante\ post\ pabellón\ 1}$ $= 8.124 \frac{kgN}{año}$
	Almacenamiento	$Emisión_{Almacenamiento,beng}$ $= N_{restante\ post\ pabellón\ 1,beng} \cdot \%Pérdida\ de\ NH_3\ Alm,beng$ $= 471 \frac{kgNH_3}{año}$ $Emisión_{Almacenamiento,pon}$ $= N_{restante\ post\ pabellón\ 1,pon} \cdot \%Pérdida\ de\ NH_3\ Alm,pon$ $= 808 \frac{kgNH_3}{año}$ $Emisión_{Almacenamiento} = 1.278 \frac{kgNH_3}{año}$	$N_{restante\ post\ almacenamiento}$ $= N_{restante\ post\ pabellón\ 1} - Emisión_{Almacenamiento} \cdot \left(\frac{14}{17}\right)$ $= 7.071 \frac{kgN}{año}$
$Emisión\ total\ de\ amoniaco\ Pabellón\ 1 = Emisión_{Pabellón\ 1} + Emisión_{Almacenamiento} = 5.378 \frac{kgNH_3}{año}$			

Fuente: Elaboración propia

Paso 6: Estimación de potenciales reducciones por implementación de tecnologías

Se puede estimar el impacto cuantitativo que tendrá la implementación de medidas de reducción de emisiones de amoníaco. Para eso se debe identificar las medidas y componentes a la cual implementar dicha medida.

En este caso, se aplicará una cinta transportadora.

$$ER_{Cinta} = 70\%$$

A continuación se presenta el modelo conceptual de la implementación de un sistema de extracción automática de guano al caso ejemplo número 3 (en la línea bajo las imágenes).

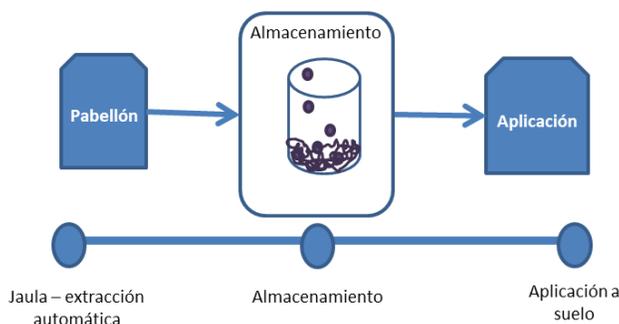


Figura 3-6 Modelo conceptual del caso 3, escenario de reducción

Fuente: Elaboración propia

1. **Etapas: Pabellón.** Cálculo de las nuevas estimaciones en el pabellón al aplicar cintas transportadoras. Para esto, se identifica la eficiencia de reducción de emisiones de acuerdo a la tabla de la Sección 2.6 y se corrigen las emisiones tal como se muestra a continuación:

$$\begin{aligned}
 Emisión_{Pabellón\ 1,beng} &= FE_{Jaula,beng} \cdot X_{beng} \cdot (1 - ER_{Cinta}) \\
 &= 0,2 \frac{kg\ NH_3}{cabeza \cdot año} \cdot 10.000\ cabezas \cdot (1 - 0,7) \\
 &= 600 \frac{kgNH_3}{año} \\
 Emisión_{Pabellón\ 1,pon} &= FE_{Jaula,pon} \cdot X_{pon} \cdot (1 - ER_{Cinta}) \\
 &= 0,14 \frac{kg\ NH_3}{cabeza \cdot año} \cdot 15.000\ cabezas \cdot (1 - 0,7) \\
 &= 630 \frac{kgNH_3}{año} \\
 Emisión_{Pabellón\ 1} &= Emisión_{Pabellón\ 1,beng} + Emisión_{Pabellón\ 1,pon} \\
 &= 600 \frac{kgNH_3}{año} + 630 \frac{kgNH_3}{año}
 \end{aligned}$$

$$= 1.230 \frac{kgNH_3}{año}$$

2. **Etapas: Post Pabellón.** Cálculo de la cantidad de nitrógeno restante luego de que parte del nitrógeno inicial es emitido al ambiente en el pabellón.

$$\begin{aligned} N_{\text{restante post pabellón 1,beng}} &= N_{\text{inicial,beng}} - \text{Emisión}_{\text{Pabellón 1,beng}} \cdot \left(\frac{14}{17}\right) \\ &= 4.000 \frac{kgN}{año} - 600 \frac{kgNH_3}{año} \cdot \frac{14}{17} \frac{N}{NH_3} \\ &= 3.506 \frac{kgN}{año} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{\text{restante post pabellón 1,pon}} &= N_{\text{inicial,beng}} - \text{Emisión}_{\text{Pabellón 1,pon}} \cdot \left(\frac{14}{17}\right) \\ &= 7.500 \frac{kgN}{año} - 630 \frac{kgNH_3}{año} \cdot \frac{14}{17} \frac{N}{NH_3} \\ &= 6.981 \frac{kgN}{año} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{\text{restante post pabellón 1}} &= N_{\text{restante post pabellón 1,beng}} + N_{\text{restante post pabellón 1,pon}} \\ &= 3.506 \frac{kgN}{año} + 6.981 \frac{kgN}{año} = 10.487 \frac{kgN}{año} \end{aligned}$$

3. **Etapas: almacenamiento.** Una vez estimada la cantidad de nitrógeno restante que entrará a la siguiente etapa de la cadena de manejo, en este caso almacenamiento, se procede a calcular las emisiones de esta etapa. Debido a que las emisiones de amoníaco de los almacenamientos son diferentes para gallinas broiler engorda y ponedoras, se realizan los cálculos por separado. Además, se debe tener en cuenta que el factor de emisión para las gallinas ponedoras se encuentra expresado como TAN (Nitrógeno Amoniacal Total).

$$\begin{aligned} \text{Emisión}_{\text{Almacenamiento,beng}} &= N_{\text{restante post pabellón 1,beng}} \cdot \% \text{Pérdida de } NH_3 \text{ Almacenamiento,beng} \\ &= 3.506 \frac{kgN}{año} \cdot 20\% = 701 \frac{kgNH_3}{año} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Emisión}_{\text{Almacenamiento,pon}} &= N_{\text{restante post pabellón 1,pon}} \cdot \% \text{Pérdida de } NH_3 \text{ Almacenamiento,pon (TAN)} \\ &= 6.981 \frac{kgN}{año} \cdot 14\% = 977 \frac{kgNH_3}{año} \end{aligned}$$

$$\text{Emisión}_{\text{Almacenamiento}} = \text{Emisión}_{\text{Almacenamiento,beng}} + \text{Emisión}_{\text{Almacenamiento,pon}}$$

$$\begin{aligned} \text{Emisión}_{\text{Almacenamiento}} &= 701 \frac{kgNH_3}{año} + 977 \frac{kgNH_3}{año} \\ &= 1.679 \frac{kgNH_3}{año} \end{aligned}$$

4. **Emisiones totales.** Por último, la emisión total de amoníaco del pabellón se calcula sumando todas las emisiones estimadas de los diferentes componentes de la cadena de manejo:

$$\begin{aligned} \text{Emisión total plantel}_{\text{escenario de reducción}} &= \text{Emisión}_{\text{Pabellón 1}} + \text{Emisión}_{\text{Almacenamiento}} = \\ &= 1.230 \frac{\text{kgNH}_3}{\text{año}} + 1.679 \frac{\text{kgNH}_3}{\text{año}} = 2.909 \frac{\text{kgNH}_3}{\text{año}} \end{aligned}$$

Si consideramos estas emisiones finales, contra las emisiones totales de línea base se puede estimar la reducción de emisiones de amoníaco para el plantel completo.

$$\begin{aligned} \text{Reducción emisiones}_{\text{NH}_3} &= \left(1 - \frac{\text{Emisión Total Plantel}_{\text{escenario de reducción}}}{\text{Emisión Total Plantel}_{\text{línea base}}} \right) \\ &= 1 - \frac{2.909}{5.378} = 1 - 0,54 = 45,9\% \end{aligned}$$

Logrando una reducción del 45,9% de las emisiones del plantel, al implementar cintas de transporte automático de excretas.

4. Bibliografía

- 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.
- EPA. (2004). National Emission Inventory — Ammonia Emissions from Animal Husbandry Operations Draft Report. *Population (English Edition)*, 131.
- European Commission. (2015). *Best Available Techniques (BAT), Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry and Pigs*. (August 2015), 911.
- European Commission. (2017). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs*. <https://doi.org/10.2760/020485>
- Hutchings, N., Amon, B., Dämmgen, U., & Webb, J. (2015). 3.B Manure Management. *EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook 2013*, (July), 1–14.
- IPCC. (2019). Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. In *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.
- MAGRAMA. (2010a). *Guía de Mejores Técnicas Disponibles del Sector Avicultura de Puesta*.
- MAGRAMA. (2010b). *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>
- 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*.
- SISTAM Ingenieria. (2013). *Actualización de metodología de estimación de emisiones de NH3*.
- 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>