

REVISIÓN Y PROYECCIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES DE AMONIACO PARA LA REGIÓN METROPOLITANA.

Informe Final

Noviembre 2024

Ingeniería Sustentable Spa

Contenidos

1. Introducción.....	3
2. Identificación de las fuentes emisoras de amoniaco sin combustión.....	4
2.1 Crianza de cerdos:.....	5
2.2 Aves.....	6
2.3 Bovinos.....	7
2.4 Fertilizantes.....	7
2.5 Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas.....	8
2.6 Rellenos Sanitarios.....	9
3. Revisión metodología y resultado de estudios anteriores.....	11
3.1 Estudio POCH 2016.....	11
3.2 Estudio DICTUC 2021.....	13
4. Metodología para la estimación de emisiones de amoniaco.....	14
4.1 Estimación del número de animales y plantas.....	14
4.2 Identificación de la cadena de manejo.....	15
4.3 Identificación de factores de emisión de NH ₃	15
4.4 Cálculos para la estimación de emisiones de NH ₃	18
5. Resultados actualización de estimación de emisiones de amoniaco.....	19
5.1. Emisiones aves ponedoras.....	21
5.2. Emisión aves broiler.....	21
5.3. Emisión porcinos.....	21
6. Proyección del inventario de amoniaco.....	22
6.1. Proyección total.....	24
6.2. Calculadora de emisiones.....	26
6.3. Contenido excel.....	26
7. Propuesta de medidas de reducción de amoniaco.....	28
8. Conclusiones.....	43
9. Bibliografía.....	44

1. Introducción

El presente informe corresponde al informe final del estudio “Revisión Y Proyección Del Inventario De Emisiones De Amoníaco Para La Región Metropolitana” encargado por la Subsecretaría de Medio Ambiente.

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

Mediante Resolución Exenta N°1442 del MMA, de 24 de noviembre de 2022, se da inicio al proceso de revisión y actualización del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana. Para lo anterior se requiere contar con el inventario de emisiones de contaminantes locales de los distintos sectores identificados en el PPDA vigente. En este caso en particular, se considera la elaboración del inventario de emisiones de Amoníaco proveniente de fuentes sin combustión.

Durante el año 2021, se realizó un estudio denominado “Elaboración de guía para la estimación de emisiones de Amoníaco en Sector Agroindustrial”. En este estudio se efectuó una caracterización del sector Agroindustrial, estableciendo fuentes sin combustión emisoras de Amoníaco (NH3) pertenecientes a empresas productoras de cerdos y Planteles de Aves de corral. Además, se elaboró una Guía de Estimación de emisiones de Amoníaco (NH3) para el Sector Agroindustrial, la cual incluye mecanismos y medidas que permitan la reducción de emisiones de Amoníaco (NH3).

Durante 2023 se desarrolló el inventario para el sector Agroindustrial (año base 2022), identificando emisiones asociadas a la producción animal, así como también de uso de productos del sector.

El objetivo general del estudio consiste en contar con un inventario de emisiones actualizado para el año 2022 y proyectado a 15 años para el contaminante Amoníaco (NH3) proveniente de fuentes sin combustión, el cual sirva de medio habilitante para evaluar el aporte en masa de este gas precursor de material particulado, además de generar los insumos necesarios para llevar a cabo el Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) sobre posibles medidas asociadas a la reducción de este contaminante, en el marco de la actualización del PPDA RMS.

Los objetivos específicos del estudio consideran:

- a. Revisar y ajustar metodológicamente el Inventario de Amoníaco proveniente de fuentes sin combustión del año 2022
- b. Obtener una proyección del inventario de emisiones del contaminante Amoníaco (NH3) proveniente de fuentes sin combustión para la RMS
- c. Elaborar un listado de al menos 7 posibles medidas de reducción de amoníaco en la RMS

A continuación, se presenta de manera resumida la metodología desarrollada para llevar a cabo los objetivos planteados en el presente estudio. (**Ver Figura 1, 2 y 3**)

Figura 1. Flujo metodología objetivo específico a. Revisar y ajustar metodológicamente el Inventario de Amoniacó proveniente de fuentes sin combustión del año 2022.

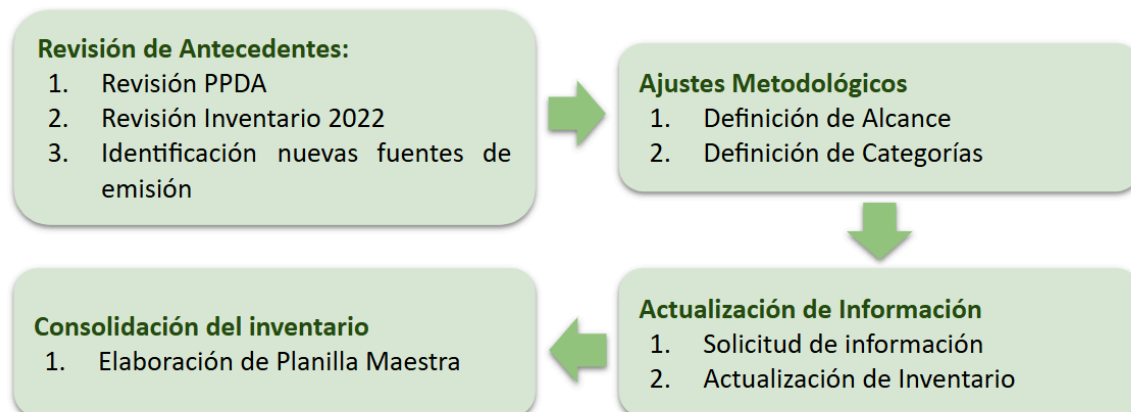


Figura 2. Flujo metodología objetivo específico b. Obtener una proyección del inventario de emisiones del contaminante Amoniacó (NH₃) proveniente de fuentes sin combustión para la RMS.

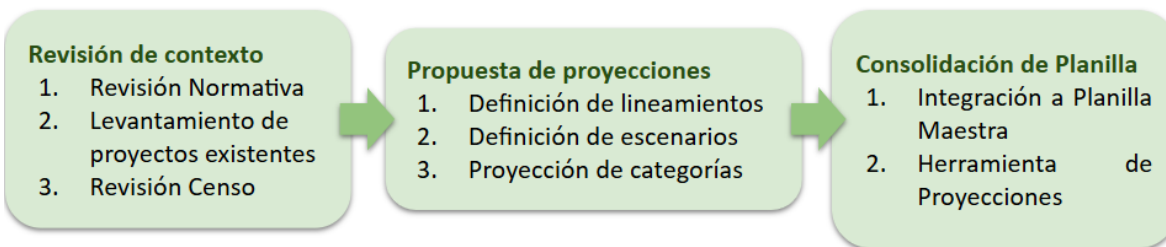
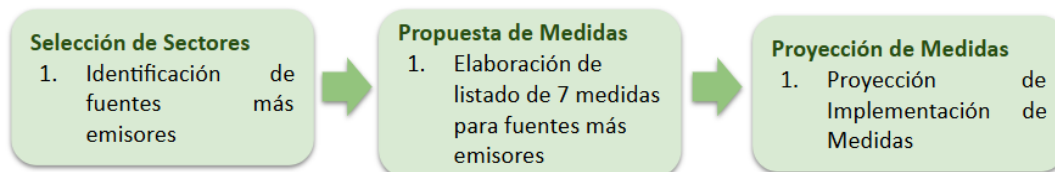


Figura 3. Flujo metodología objetivo específico c. Elaborar un listado de al menos 7 posibles medidas de reducción de amoniacó en la RMS.



Fuente: elaboración propia.

2. Identificación de las fuentes emisoras de amoniacó sin combustión

Con el fin de actualizar y robustecer el Inventario de Emisiones de Amoniacó del año 2022, desarrollado por Dictuc (2023), se realizó una revisión para determinar otras fuentes de emisión de amoniacó que pudieran ser significativas para el estudio. En esta línea, en la **Tabla 1**, se presentan las nueve fuentes de emisión que conforman el inventario 2022.

Tabla 1. Fuentes de Emisión Inventario de Amoníaco 2022.

N°	Nombre de la fuente	Origen
1	Cerdos	Revisión de inventario DICTUC 2023
2	Aves Broiler	Revisión de inventario DICTUC 2023
3	Aves Ponedoras	Revisión de inventario DICTUC 2023
4	Bovinos carne	Revisión de inventario DICTUC 2023
5	Bovinos leche	Revisión de inventario DICTUC 2023
6	Fertilizantes	Revisión de inventario DICTUC 2023
7	Pavos	Revisión de inventario DICTUC 2023
8	Planta de Tratamiento de Aguas Servidas ¹	Nueva integración con datos de 2022
9	Rellenos Sanitarios ²	Nueva integración con datos de 2022

Fuente: elaboración propia.

Los resultados del levantamiento de información para cada categoría se resumen a continuación:

Para la crianza de animales, se utilizó información de diversas fuentes, incluyendo la "Norma de Olores", la "Guía para la Estimación de Emisiones de Amoníaco en el Sector Agroindustrial" y los datos proporcionados por la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA) en relación con el número de animales.

2.1 Crianza de cerdos:

Para estimar las emisiones asociadas a los planteles de cerdos, se utilizaron las bases de datos de la Norma de Olores Porcinos y la Guía para la Estimación de Emisiones de Amoníaco en el Sector Agroindustrial.

Los planteles de cerdos en la Región Metropolitana operan con tres tipos principales de sistemas de evacuación de excretas: el sistema de piso ranurado con arrastre del purín con agua (Flush o Pit), el sistema de camas calientes y el sistema de piso completo de cemento.

¹ Información entregada por SISS.

² Información entregada por Seremi MMA.

En cuanto al manejo o gestión del purín, este se lleva a cabo fuera de la instalación o plantel, se utilizan los mismos métodos descritos en el documento de POCH (2016), ver **Tabla 2**:

Tabla 2. Sistemas de Manejo de Purín.

Sistema Manejo Purín	Descripción
Separación de sólidos	Separación física del purín en un efluente líquido y otro sólido
Laguna anaerobia	Tratamiento anaerobio del purín en lagunas abiertas
Biodigestor anaerobio	Tratamiento anaerobio del purín en biodigestores cerrados
Tratamiento aerobio	Tratamiento aerobio del purín en un sistema de lodos activados o lombrifiltros.
Compostaje	Tratamiento aerobio de los sólidos del purín que se obtienen luego de procesos de separación
Acopio	Sistema de acumulación de los sólidos del purín que se obtienen luego de procesos de separación

Fuente: POCH 2016.

Del análisis realizado, se estimó un total de 1.117.978 cerdos en 75 instalaciones, esto según la base de datos del Inventario RMS Industria – Agroindustria realizado por Dictuc (2023). Para el caso de porcinos, se decidió, en conjunto a la contra parte técnica, utilizar la información dicha información y no la proveniente del Censo 2022. Esto con el fin de utilizar la base de datos más precisa y detallada.

2.2 Aves

Para la cuantificación de las emisiones, se agruparon bajo 3 subcategorías que contemplan los siguientes animales:

- Aves broiler:
- Aves ponedoras
- Pavos

Se utilizaron las categorías descritas en el informe de POCH (2016) para cada categoría de ave y su respectiva cadenas de manejo:

Tabla 3. Categorías y cadena de manejo aves.

Categoría	Cadena de manejo
Aves broiler	Cama y aplicación a terreno
Pavos	Cama, almacenamiento y aplicación a terreno
Aves ponedoras	Extracción automática-aplicación directa
	Extracción automática-almacenamiento-aplicación
	Extracción manual-aplicación directa

Fuente: POCH 2016.

Según los datos del inventario de Dictuc (2023), se registraron un total de 3.054.775 aves ponedoras, 7.788.285 aves broiler y 246.472 pavos. De acuerdo con la información recopilada del último Censo Agropecuario disponible (2022) y las bases de datos, los números actualizados son los siguientes: 5.251.645 aves ponedoras distribuidas en 124 instalaciones; para aves broiler, hay

un total de 13.389.302 en 86 instalaciones; y para pavos, un total de 122.644 aves en 4 instalaciones.

Este análisis revela un notable aumento en la producción de aves ponedoras y broiler, con un incremento del 150% y 33%, respectivamente, lo que indica un crecimiento significativo en la capacidad productiva de estos sectores. En contraste, la producción de pavos experimenta una drástica disminución, con 122.644 aves registradas en 4 instalaciones, lo que podría reflejar una transición en la industria hacia una menor producción de pavos. Un ejemplo de esta tendencia es Agrosuper, que ha decidido dejar de producir pavos, optando por concentrar sus recursos en la más rentable producción de aves y cerdos. Esta reorientación podría ser un reflejo de cambios en las dinámicas de mercado y de rentabilidad en el sector.

2.3 Bovinos

De acuerdo a la metodología seguida y a lo establecido en POCH 2016, la categoría de bovinos se dividió en dos tipos:

- Bovinos lecheros: dentro de su crianza considera Terneras de 1 a 2 meses; Terneras de 3 a 6 meses; Vaquillas de 7 a 14 meses (pre-encaste y encaste); Vaquillas preñadas; Vacas en ordeña; Vacas en periodo seco.
- Bovinos de carne: dentro de su crianza considera Terneros-as; Novillos; Vaquillas; Vacas; Toros y Bueyes

Según el Censo Agropecuario 2022, existen en total 60.114 bovinos destinados a la producción de carne y leche. Para desglosar esta cifra entre ambos tipos de producción, se utilizaron los datos de POCH (2016), que indican que el 76% corresponde a bovinos para carne y el 24% a bovinos para leche. De esta forma se obtuvo que para el inventario del año 2022 se consideraron 45.708 bovinos de producción de carne y 14.406 bovinos para leche.

2.4 Fertilizantes

Las emisiones derivadas de fertilizantes se calcularon aplicando los factores de emisión de acorde a la metodología dispuesta por informe POCH 2016, actualizando las superficies de cultivo al año 2023 para los diferentes tipos de cultivos. Este informe estimó el uso de fertilizantes en la Región Metropolitana en función de la superficie cultivada por tipo de cultivo y sus necesidades nutricionales. Para esto, se utilizó la información de ODEPA sobre cultivos y las tasas de requerimiento de nitrógeno, fósforo y potasio de la FAO. Las emisiones de amoníaco en la ganadería dependen del manejo del estiércol, mientras que las emisiones por fertilizantes varían según el tipo y la superficie de aplicación, expresándose generalmente como un porcentaje del contenido de nitrógeno del fertilizante.

Tabla 4. Tipo de cultivo y superficie 2022.

Cultivo	Superficie [ha]
Cebada	-
Remolacha	-
Forraje	21.491
Frutas	54.472
Maíz	3.325
Otros cereales	1.425
Papas	1.486
Legumbres	155
Raps	-
Arroz	0
Sorgo	0
Girasol	643
Tabaco	0
Verduras	26.843
Trigo	5.944

Fuente: Elaboración propia en base a la información de ODEPA.

Para efectos de este estudio se utilizó la información de ODEPA estimando una superficie total de 115.784 hectáreas comparadas con el Estudio POCH 2016 de 113.761 hectáreas.

2.5 Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas

Para estimar las emisiones asociadas a las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) en la Región Metropolitana, se solicitó a la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) información actualizada sobre el número de plantas, la población atendida y el volumen tratado en cada una. Con los datos proporcionados, se identificó un total de 33 PTAS en funcionamiento en la región.

Para calcular las emisiones de amoníaco, se aplicó un factor de emisión basado en el volumen anual tratado en metros cúbicos. La liberación de amoníaco ocurre principalmente durante la nitrificación (conversión de amoníaco en nitritos y nitratos) y en procesos anaerobios, como la digestión, donde la materia orgánica se degrada sin oxígeno, siendo así el volumen tratado un factor clave en la cantidad de amoníaco emitido.

A continuación, se presentan las plantas de Tratamiento de Aguas Servidas identificadas:

Tabla 5. Plantas de Tratamiento Aguas Servidas y volumen tratado.

Plantas de Tratamiento Aguas Servidas	Volumen Tratado (m ³ /Año)
Nueva Planta La Cadellada	7.378.559
Ptas - Barrancas	1.477.495
Ptas - Buin Maipo	3.991.749
Ptas - Curacaví	1.238.764

Ptas - El Manzano	133.321
Ptas - El Monte	2.581.762
Ptas - El Parronal	1.528.909
Ptas - El Trebal	194.922.248
Ptas - Isla De Maipo	1.614.712
Ptas - Izarra De Lo Aguirre	358.133
Ptas - Jardín Lo Prado	941.057
Ptas - La Farfana	224.341.486
Ptas - Larapinta	953.339
Ptas - Las Higueras	1.243.726
Ptas - Lomas De Lo Aguirre	201.797
Ptas - Los Trapenses	676.626
Ptas - Melipilla	6.138.324
Ptas - Paine	4.110.693
Ptas - Pomaire	852.941
Ptas - Quilicura	3.283.307
Ptas - San José De Maipo	509.510
Ptas - Santa Elena	385.984
Ptas - Santa Luz	529.869
Ptas - Santo Tomás	1.867.174
Ptas - Talagante	10.291.833
Ptas - Til Til	302.512
Ptas - Valdivia De Paine	358.618
Ptas Cantillana	1.811
Ptas - Estacion Buin	600.741
Ptas - Hacienda Batuco	15.893
Ptas - La Leonera	95

Ptas - Puertas De Padre Hurtado	1.701.573
Ptas - Trachisa	651.829
Total	475.186.390

Fuente: Elaboración propia en base a la información de SISS.

2.6 Rellenos Sanitarios

Se consideraron los rellenos sanitarios y vertederos presentes en la Región Metropolitana. De acuerdo a la información disponible en la Seremi del Medio Ambiente RM, se identificaron un total de 5 operativos de los cuales 4 corresponden a rellenos sanitarios y uno a vertedero. A continuación, se presenta la información sobre los volúmenes tratados por cada sitio.

Tabla 6. Rellenos Sanitarios y vertederos RM.

Sitio disposición	RSD recibidos por sitio (toneladas)
Relleno sanitario santiago poniente	765.736
Relleno sanitario Loma los Colorados	2.233.490
Vertedero Municipal de Popeta	65.430
Relleno Sanitario Santa Marta	1.212.702
Relleno Sanitario Cerro La Leona	210.862
Total	4.488.220

Fuente: Elaboración propia en base a la información de SMA.

Finalmente, a modo de resumen, se presenta la cantidad de animales y número de instalaciones de cada una de las fuentes según corresponda (**Tabla 7**).

Tabla 7. Resumen de fuentes emisoras.

Categoría	N° animales	N° instalaciones
Cerdos	1.117.978	<i>No aplica</i>
Aves Broiler	13.389.302	<i>No aplica</i>
Aves Ponedoras	5.251.645	<i>No aplica</i>
Pavos	122.644	<i>No aplica</i>
Bovinos carne	45.708	<i>No aplica</i>
Bovinos leche	14.406	<i>No aplica</i>
Fertilizantes	<i>No aplica</i>	<i>No aplica</i>
Plantas de Tratamiento Aguas Servidas	<i>No aplica</i>	33
Relleno Sanitarios	<i>No aplica</i>	5

Fuente: Elaboración propia.

3. Revisión metodología y resultado de estudios anteriores

Para actualizar el inventario de emisiones de NH₃, se contempló la revisión de la metodología y resultados de estudios ya existentes para la RM. En este contexto, los estudios que se analizaron son los siguientes:

- Estudio “Generación de Antecedentes Técnicos y Económicos para la Elaboración de Medidas para la Reducción de Emisiones en el Sector Agropecuario, en el marco de Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA) para la Región Metropolitana de Santiago” (POCH, 2016).
- Estudio “Elaboración de guía para la estimación de emisiones de amoniaco en sector agroindustrial” (Dictuc, 2021).
- Estudio “Inventario RMS industria – agroindustria” (Dictuc, 2023).

3.1 Estudio POCH 2016

El estudio de las emisiones de amoníaco se fundamenta en dos enfoques metodológicos principales: la metodología Bottom Up y la metodología Top Down. Ambas metodologías se complementan y se utilizan para obtener un inventario más completo y preciso de las emisiones generadas en el sector agropecuario.

1. Metodología Bottom Up

La metodología Bottom Up se basa en el análisis detallado de las cadenas de manejo de residuos, considerando cada etapa del proceso. Esta metodología se inspira en el "National Emission Inventory—Ammonia Emissions from Animal Husbandry Operations Report" de la EPA, que proporciona un marco para representar diversos sistemas de manejo de residuos.

Características de la Metodología Bottom Up:

- **Enfoque Detallado:** Se centra en cada fase del manejo de residuos, desde la instalación hasta la aplicación del estiércol.
- **Flexibilidad:** Permite adaptar el modelo a diferentes sistemas de manejo, lo que es crucial para reflejar la diversidad de prácticas en el sector agropecuario.
- **Incertidumbre:** Aunque es flexible, la metodología presenta variables de incertidumbre que deben ser consideradas al interpretar los resultados.

Dentro del desarrollo del informe se proponen los siguientes pasos para la estimación de las emisiones de amoníaco:

- Estimar el número de animales por categoría y peso.
- Identificar la cadena de manejo asociada a cada categoría de animal.
- Estimar el nitrógeno excretado por cada categoría de animal.
- Identificar los factores de emisión para cada componente de cada cadena de manejo.
- Estimar las emisiones de amoníaco para cada categoría de animal por cadena de manejo.

El proceso implica la recopilación de datos específicos sobre la cantidad de residuos generados, el tipo de manejo aplicado y las condiciones ambientales que pueden influir en las emisiones de amoníaco. Esto incluye la evaluación de las emisiones durante el alojamiento de los animales, el almacenamiento del estiércol y su aplicación en los cultivos.

2. Metodología Top Down

La metodología Top Down, por otro lado, se basa en un enfoque más general, utilizando datos agregados sobre la población animal y aplicando factores de emisión específicos. Esta metodología se fundamenta en el modelo propuesto por Klimont y Brink (2004), que considera el número total de animales por categoría y aplica factores de emisión para cada fase del manejo.

Características de la Metodología Top Down:

- **Enfoque General:** Se basa en datos agregados, lo que permite una visión más amplia de las emisiones a nivel regional o nacional.
- **Cálculo por Fases:** Las emisiones se calculan de manera independiente para cada fase del manejo (alojamiento, almacenamiento, aplicación y pastoreo), lo que permite identificar las etapas más críticas en términos de emisiones.

- **Uso de Factores de Emisión:** Se utilizan factores de emisión específicos para cada tipo de animal y fase, lo que proporciona una estimación más precisa de las emisiones generadas.

El cálculo de las emisiones en esta metodología se realiza sumando las emisiones de cada componente, lo que permite obtener un total que refleja la contribución de cada fase del manejo de residuos.

3. Emisiones Derivadas del Uso de Fertilizantes

Para las emisiones derivadas del uso de fertilizantes, se adopta una metodología alternativa debido a la falta de información sobre el consumo de fertilizantes en la región. Esta metodología se basa en las tasas de requerimiento de nutrientes de la FAO, que permiten estimar la demanda de nitrógeno por tipo de cultivo.

Proceso de Cálculo:

- **Datos de Actividad:** Se utilizan las superficies de cultivo como dato de actividad, multiplicándose por la tasa de consumo de nutrientes para obtener el consumo de nitrógeno.
- **Pérdida de Nitrógeno:** Se considera la pérdida de nitrógeno asociada al uso de fertilizantes, aplicando un factor de conversión para calcular las emisiones de amoníaco.

Ambas metodologías, Bottom Up y Top Down, ofrecen ventajas y desventajas. La metodología Bottom Up proporciona un análisis más detallado y específico, pero puede ser más laboriosa y requerir más datos. Por otro lado, la metodología Top Down es más rápida y utiliza datos agregados, pero puede perder detalles importantes sobre las prácticas de manejo específicas.

La combinación de ambas metodologías permite obtener un inventario de emisiones de amoníaco más robusto y confiable. La metodología Bottom Up aporta un enfoque detallado que considera las particularidades de cada sistema de manejo, mientras que la metodología Top Down ofrece una visión general que puede ser útil para la planificación y la formulación de políticas.

3.2 Estudio DICTUC 2021

El documento proporciona una guía detallada para la estimación de emisiones de amoníaco (NH₃) en el sector agroindustrial, específicamente en la producción de cerdos y aves. La metodología presentada se centra en el manejo de excretas y la implementación de tecnologías para reducir las emisiones de amoníaco, un gas que contribuye significativamente a la contaminación del aire y tiene impactos negativos en la salud humana y el medio ambiente.

Metodología de Estimación de Emisiones:

La metodología para calcular las emisiones de amoníaco se desarrolla en seis pasos principales:

1. **Estimación del Número de Animales:** Se comienza con la identificación y cuantificación del número de animales en la instalación, ya que esto determina la cantidad de excretas producidas.
2. **Identificación de la Cadena de Manejo de Excretas (CME):** Se identifican las diferentes etapas y componentes del sistema de manejo de excretas, como el tipo de instalaciones (Slat-Pit, Slat-Flush, etc.) y las tecnologías utilizadas.

3. Cálculo de Nitrógeno Excretado: Se estima la cantidad de nitrógeno presente en las excretas, que es el precursor de las emisiones de amoníaco. Esto se hace considerando la dieta de los animales y las tasas de excreción específicas para cada categoría animal.
4. Cálculo de Factores de Emisión: Se utilizan factores de emisión específicos para cada componente de la CME, que permiten estimar la cantidad de amoníaco que se volatiliza en cada etapa del manejo de excretas.
5. Implementación de Medidas de Reducción: Se evalúa la factibilidad de implementar tecnologías de reducción de emisiones, como biofiltros, cubiertas geotextiles, y sistemas de extracción automática de guano. Estas medidas se seleccionan en función de la categoría animal, la etapa con mayores emisiones y la viabilidad técnica y económica.
6. Cálculo de Emisiones Reducidas: Finalmente, se calculan las emisiones de amoníaco después de la implementación de las medidas de reducción, comparando con una línea base para determinar la efectividad de las intervenciones.

Tecnologías de Reducción de Emisiones:

El documento describe varias tecnologías y prácticas para reducir las emisiones de amoníaco:

- Cubiertas Flotantes: Se utilizan en lagunas de almacenamiento para reducir la volatilización del amoníaco, con eficiencias de reducción de hasta el 82%.
- Biofiltros: Sistemas que utilizan microorganismos para descomponer el amoníaco en compuestos menos volátiles.
- Sistemas de Extracción Automática: Como las cintas transportadoras para la extracción de guano en instalaciones avícolas, que pueden reducir las emisiones hasta en un 70%.
- Tratamiento Aeróbico: Mejora la degradación del nitrógeno en las excretas, reduciendo la cantidad de amoníaco emitido.

En resumen, el documento ofrece una metodología integral para la estimación y reducción de emisiones de amoníaco en la producción de cerdos y aves. Al combinar cálculos detallados con la implementación de tecnologías innovadoras, proporciona una herramienta eficaz para mejorar la sostenibilidad ambiental en el sector agroindustrial.

El estudio considera varios aspectos clave a tener presente:

1. Factibilidad de Implementación: Se evalúa la viabilidad de implementar medidas de reducción de emisiones en los planteles, considerando factores como el espacio físico disponible, la disponibilidad tecnológica, la factibilidad económica y el tiempo necesario para la implementación.
2. Orden de la Cadena de Manejo de Excretas (CME): Es crucial el orden en el que se presentan las diferentes componentes de la CME, ya que cada componente afecta la emisión, reducción o remoción de amoníaco y, por lo tanto, el nitrógeno restante en el flujo.
3. Factores de Emisión: Dado que en Chile no existen factores nacionales de emisión de amoníaco para animales ganaderos, se deben identificar y analizar factores de emisión internacionales para su aplicabilidad en el contexto chileno.

4. Reducción de Emisiones: Se deben considerar las reducciones de emisiones al implementar medidas específicas, como cubiertas en lagunas, que pueden reducir las emisiones hasta en un 82%.
5. Impacto de Tecnologías de Reducción: La implementación de tecnologías como biodigestores o tratamientos aeróbicos no solo reduce las emisiones, sino que también puede afectar el flujo de excretas, lo que podría aumentar las emisiones en etapas posteriores de la CME.

Estas consideraciones son fundamentales para desarrollar un modelo preciso y efectivo para la estimación y reducción de emisiones de amoníaco en el sector agroindustrial.

4. Metodología para la estimación de emisiones de amoníaco

4.1 Estimación del número de animales y plantas

La estimación del número de animales se realizó a partir de los datos del Censo Agropecuario 2022 y de los insumos proporcionados por el Ministerio del Medio Ambiente. Estos incluyen las bases de datos de la Norma de olores porcinos y de la Guía para la estimación de emisiones de amoníaco en el sector agroindustrial. Estas bases de datos incluyen el catastro actualizado de planteles porcinos, el catastro de productores de huevos de la Región Metropolitana (2020) y la base de datos de Fuentes NH₃ 2021 utilizadas por Dictuc (2023).

Para el caso de las PTAS, la información fue obtenida mediante una solicitud a la Superintendencia de Servicios Sanitarios, la cual proporcionó datos sobre la población atendida y el volumen de agua tratada. Adicionalmente, se solicitó a la Seremi del Ministerio de Medio Ambiente la información sobre la cantidad anual de residuos recibidos. Respecto a la información de la categoría fertilizantes fue obtenida a partir de la última actualización de la ODEPA, respecto a superficies de cultivo.

4.2 Identificación de la cadena de manejo

Para la identificación de la cadena de manejo para animales, se utilizó la información proporcionada por los sectores en estudio, la cual estaba incluida en las bases de datos previamente mencionadas. En los sectores donde faltaban datos, se hicieron suposiciones basadas en los tipos de manejo más comunes para cada caso.

4.3 Identificación de factores de emisión de NH₃

Los factores de emisión fueron seleccionados a partir del documento de POCH (2016), el cual incluye una extensa revisión bibliográfica y análisis de los factores más atingentes a utilizar en caso de Chile. Este estudio presenta factores de emisión de distintas normativas, de los cuales se eligieron los más adecuados para el presente análisis. Para el caso de cerdos y aves se seleccionaron los siguientes factores de emisión (ver **Tabla 8 y 9**):

Tabla 8. Factores de emisión de NH₃ en cerdos.

Etapas	Alternativa	FE NH ₃	Fuente	Año
		(kg/cabeza/año)		
Instalación	Cama caliente	4,5	European Comission	2017
	Cemento	2,41	European Comission	2017
	Raspador	1,65	European Comission	2017
	Slat-flush	2,08	EPA	2001
	Slat-pit	2,76	EPA	2001
	Suelo inclinado	1,22	European Comission	2017
Manejo	Almacenamiento	20% (amoniac)	EPA	2004
	Pozo homogenizador	6,60%	POCH	2016
	Biodigestor	0% (emisión etapa) 12,5 (remoción amoniac)	Sistam Ingeniería/POCH	2013/2016
	Laguna	71% (nitrógeno)	EPA	2004
	Laguna	40% (amoniac)	Greenlab Dictuc	2019
	Nitrificación-desnitrificación	55%	European Comission	2017
	Tratamiento aeróbico	48% (emisión etapa) 60% (remoción amoniac)	Sistam Ingeniería	2013

Fuente: POCH 2016.

Tabla 9. Factores de emisión de NH₃ para aves.

Categoría	Tipo	Etapas	FE NH ₃	Unidad
Broiler engorda	Instalación	Cama caliente	0,11	(kg/cabeza/año)
	Instalación	Extracción automática	0,11	(kg/cabeza/año)
	Instalación	Jaula	0,2	(kg/cabeza/año)
	Instalación	Suelo	0,31	(kg/cabeza/año)
	Almacenamiento (abierto)		20%	Amoniac volatilizado
Ponedora	Instalación	Cama caliente	0,49	(kg/cabeza/año)
		Extracción automática	0,08	(kg/cabeza/año)
		Jaula	0,14	(kg/cabeza/año)
	Almacenamiento (abierto)		14%	TAN volatilizado
Pavo	Instalación	Cama caliente	0,2	(kg/cabeza/año)
	Almacenamiento (abierto)		24%	TAN volatilizado

Fuente: POCH 2016.

Para el caso de aves ponedoras, se utiliza como referencia la información de procesos obtenida para 5 planteles. El estudio de POCH 2016 no cuenta con referencias adicionales sobre los procesos de manejo de estiércol para las aves ponedoras. Para utilizar la información de los 5 planteles de aves ponedoras con información, se consideró el FE promedio de estas para ser utilizado como FE para las aves ponedoras, ya que se cuenta con la cantidad de aves ponedoras pero no con las características de las cadenas de manejo de estiércol.

Para los factores de emisión de aves broiler y de pavos, no se contó con información actualizada para los procesos, por lo que se utilizaron los Factores de Emisión correspondientes a POCH 2016. En particular, para el caso de las aves broiler, se asume que el 100% de los planteles cuenta con un proceso de instalación es del tipo cama caliente, y que el almacenamiento de estiércol es abierto. En el caso de los pavos, tampoco se cuenta con información actualizada de los procesos y se asume siguiendo las directrices de POCH 2016 que un 100% de las cadenas corresponden a cama, almacenamiento y aplicación a terreno.

Para el caso de Plantas de tratamiento de aguas servidas se revisó bibliografía internacional con el fin de identificar el factor de emisión que permitiera, en base a la información disponible, cuantificar las emisiones. En la **Tabla 10**, se presenta el factor de emisión seleccionado en base al estudio llevado a cabo para *U.S. Environmental Protection Agency Office of Research and Development (EPA)*.

Tabla 10. Factores de emisión de NH₃ Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas.

Categoría	FE NH ₃	Unidad
Promedio NH ₃	2,2	Kg/10 ⁶ litros

Fuente: EPA 1996.

Finalmente para el caso de los rellenos sanitario, se utilizó la metodología utilizada por *Environmental Protection Agency (EPA)*, a través de los estudios “CH₄ Emissions From Solid Waste Disposal” y “Estimating Ammonia Emissions From Anthropogenic Nonagricultural Sources”. En el primero se menciona que las emisiones nitrosas corresponden a un 7,3% de las emisiones de Metano y que el 10% de estas emisiones nitrosas son en la forma de NH. A continuación se presentan los insumos utilizados para el cálculo del factor de emisión y el factor en sí.

Figura 4. Ecuación de emisiones.

EQUATION 1

$$\text{Methane emissions (Gg/yr)} = (\text{MSW}_T \bullet \text{MSW}_F \bullet \text{MCF} \bullet \text{DOC} \bullet \text{DOC}_F \bullet F \bullet 16/12\text{-R}) \bullet (1\text{-OX})$$

Fuente: EPA 2006.

Para identificar la composición orgánica de los residuos sólidos domiciliarios, se utilizaron los lineamientos establecidos en EPA 2006 y el estudio “Asesoría sobre el manejo de residuos orgánicos generados a nivel municipal en Chile” elaborado por Implementa Sur 2019. A través de ambas fuentes se llegó a la estimación de proporción de residuos que se presenta a continuación.

Tabla 11. Composición materia orgánica en Rellenos Sanitarios³.

³ Se asume que el vertedero identificado posee la misma composición.

Indicador	Porcentaje
Papel y textiles	10%
Desechos de parques y jardines y otros orgánicos no alimentos	10%
Desechos alimentos	55%
Biomasa (leña, ramas)	25%

Fuente: EPA 2006 e Implementa Sur 2019.

Se utilizaron los valores aproximados de Implementar Sur (2019) para obtener el porcentaje de composición porcentual de los indicadores de desechos de alimentos y papeles y textiles (En el estudio de implementa sur son reconocidos por el nombre de: “Materia Orgánica” y “Papel y Cartón” , los restantes, biomasa y desechos de parques y oreo orgánicos no alimentos, se obtuvieron por criterio experto y siguiendo los lineamientos establecidos por EPA 2006. **Tabla 12.** Factores de emisión rellenos sanitarios

Tabla 12. Factor de emisiones asociados a rellenos sanitarios.

Categoría	FE NH ₃	Unidad
General NH ₃	0,0073	Kg/kgCH ₄

Fuente: EPA 2006.

Para estimar con mayor exactitud las emisiones de NH₃ en los rellenos sanitarios sin información sobre su sistema de recaptura, se realizó una búsqueda en la plataforma del SEA con el objetivo de recopilar información sobre la captación de amoníaco derivada del tratamiento de biogás en rellenos sanitarios. Como resultado de esta revisión, se encontró información sobre el vertedero Popeta, que a inicio del año 2022, ingresó el proyecto para la transformación a un relleno sanitario. En este se establece una recuperación de gases del relleno del 50%.

En esta línea se asumió que para los 4 rellenos sanitarios existe una recuperación de gases de 50%, mientras que el vertedero no posee un sistema de recuperación. A continuación, se presenta el porcentaje de recuperación para cada fuente.

Tabla 13. Recuperación de gases.

Sitio disposición	Tipo	Recuperación de gases relleno (%)
Relleno sanitario santiago poniente	Relleno Sanitario	50%
Relleno sanitario Loma los Colorados	Relleno Sanitario	50%
Vertedero Municipal de Popeta	Vertedero	0%

Relleno Sanitario Santa Marta	Relleno Sanitario	50%
Relleno Sanitario Cerro La Leona	Relleno Sanitario	50%

Fuente: elaboración propia.

4.4 Cálculos para la estimación de emisiones de NH₃

Se desarrolló una base de datos en Excel para estimar las emisiones anuales de amoníaco en operaciones animales, rellenos sanitarios, fertilizantes y PTAS. Para animales el cálculo se realizó a través de la actualización de los datos y extrapolación según cantidad actualizada de animales según el último Censo Agropecuario a la fecha (2022). De esta forma se logró definir el universo total a considerar para la extrapolación de las emisiones. Este proceso se realizó para el total de las fuentes de emisión asociadas a animales a excepción de porcinos que el tamaño de la muestra actualizada fue mayor al censo e información enviada, por lo que solo en este caso se decidió tomar el valor de la muestra entregada.

Para la proyección de emisiones, se usó la proyección de población de la Región Metropolitana hasta el año 2045, en base a ella se calculó la tasa de tasa animales por habitantes, para así tener el estimado de las proyecciones de los animales.

Para el cálculo de las emisiones de las PTAS, se utilizaron los datos proporcionados por la SISS correspondientes al volumen tratado durante el año 2023, asumiendo que son los mismos que para el 2022. Mientras que para el caso de los rellenos sanitarios, las emisiones de amoniaco se estimaron a partir de las emisiones de metano (ver ítem 4.3 para más detalles). A partir de esta información, se calcularon las emisiones totales del sector

Como se mencionó previamente, las emisiones derivadas de los fertilizantes se calcularon utilizando la información sobre la superficie de cultivos proporcionada por la ODEPA. Con estos datos del universo de cultivos y el cálculo de emisiones realizado por POCH en 2016, se pudieron estimar las emisiones actuales.

5. Resultados actualización de estimación de emisiones de amoniaco

Con base en la información presentada en los capítulos anteriores, se dispone de los datos de las fuentes emisoras de amoniaco y de la metodología empleada para elaborar el inventario de sus emisiones. A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el inventario de emisiones de amoniaco correspondiente al año 2022:

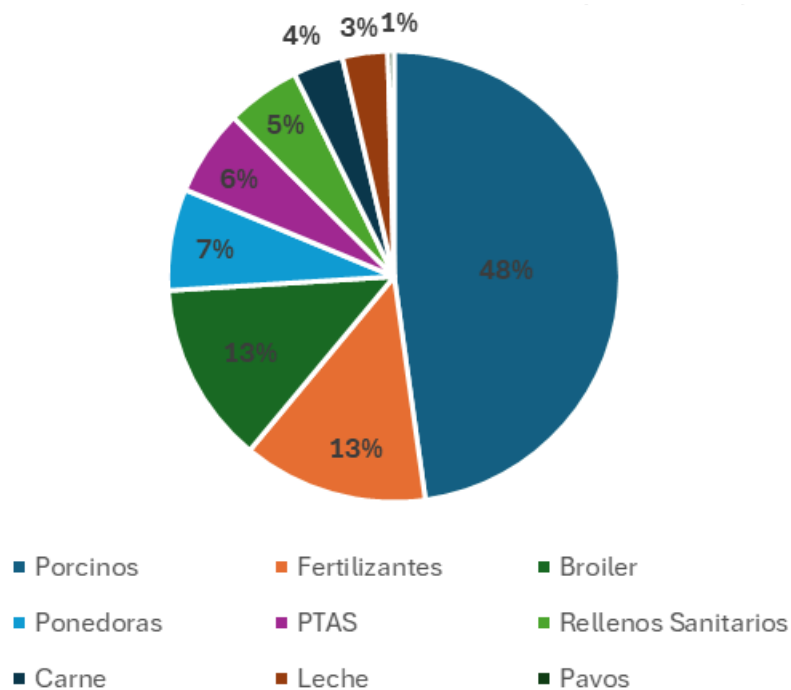
Tabla 14. Emisiones de NH₃ por categoría.

Rubro	Categoría	Emisiones Ton NH ₃ /año	Emisiones por categoría
Crianza Animales	Cerdos	8.110	11.625
	Aves Broiler	2.208	
	Aves Ponedoras	1.234	
	Pavos	73,4	
	Bovinos carne	606	1.158
	Bovinos leche	552	
PTAs	PTAs	1.045	1.045
Relleno Sanitarios	Relleno Sanitarios	898	898
Fertilizantes	Fertilizantes	2.243	2.243
Total Emisiones			16.970

Fuente: elaboración propia.

El siguiente gráfico sintetiza estos resultados, revelando el aporte en término de emisiones de cada una de las fuentes de emisión de amoníaco consideradas en el presente estudio para la Región Metropolitana.

Figura 5. Emisiones de Amoniaco por categorías (Ton/año).



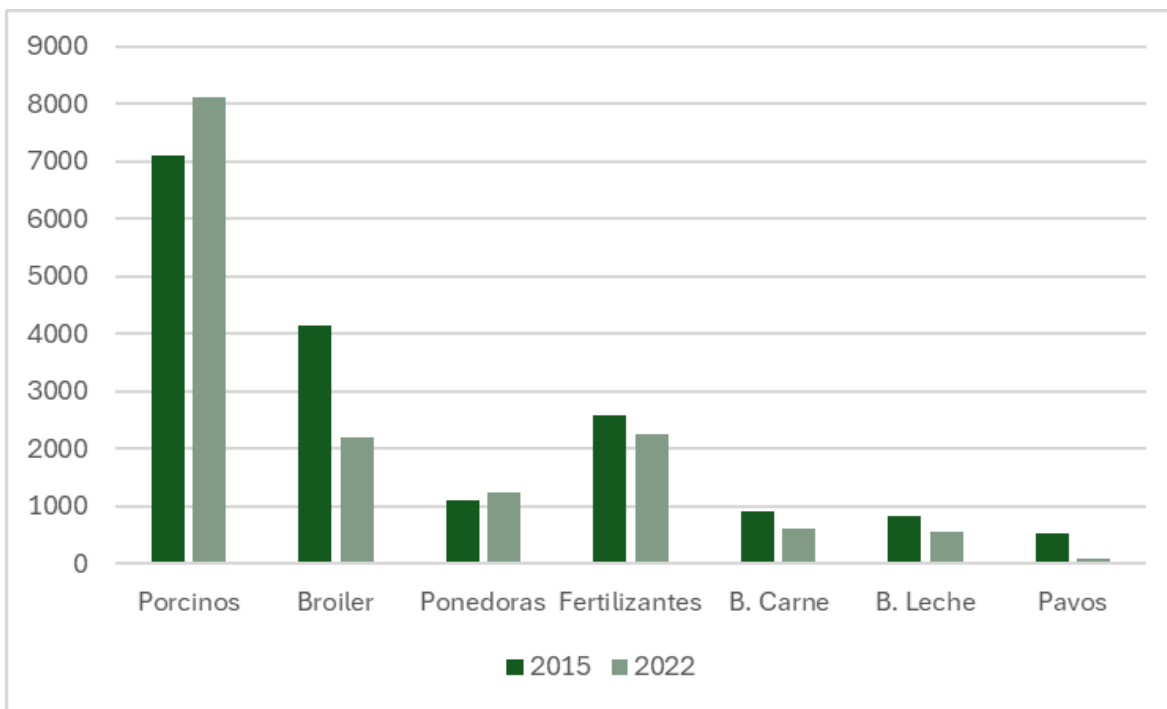
Fuente: Elaboración propia.

En la Región Metropolitana, las principales fuentes de emisión de amoniaco son los porcinos, responsables del 48% de las emisiones, seguidos por los fertilizantes (13%) y las aves broiler (13%). Estos resultados coinciden con lo señalado en el informe de POCH (2016), que identificó a los cerdos, los pollos de engorde (broiler) y los fertilizantes como las principales fuentes emisoras.

Respecto a la comparación temporal en el sector agropecuario, se observa una reducción general de las emisiones en relación con el año 2015, periodo analizado en el informe de POCH (ver Figura 6). Esta disminución se atribuye, principalmente, a la implementación de la norma de olores (2023) y el PPDA (2017). Ambas normativas han promovido mejores prácticas y la adopción de tecnologías de mitigación de emisiones. Sin embargo, las categorías de aves ponedoras y porcinos presentan una excepción, con aumentos de 123 y 1.011 toneladas de NH_3 /año, respectivamente.

En cuanto a las nuevas fuentes de emisiones integradas en este inventario, rellenos sanitarios y PTAS, estas ocupan el 4° y 5° puesto respectivamente entre las fuentes con mayores emisiones, representando entre ambas aproximadamente el 11% de las emisiones de amoniaco de la región Metropolitana.

Figura 6. Comparativa de emisiones agropecuarias año 2016 y año 2022 (Ton NH_3 /año).



Fuente información: Año 2016 POCH en base año 2015 y Año 2022 en base a información actualizada.

A continuación se presentan las emisiones para aves ponedoras y broilers, y cerdos:

5.1. Emisiones aves ponedoras

Las aves de producción de huevos representan el 7% de las emisiones totales de la Región Metropolitana. Como se mencionó anteriormente, en este sector existe un déficit de información en cuanto al manejo y las emisiones, por lo que estos valores se calculan a partir de la proyección de cinco planteles con información completa.

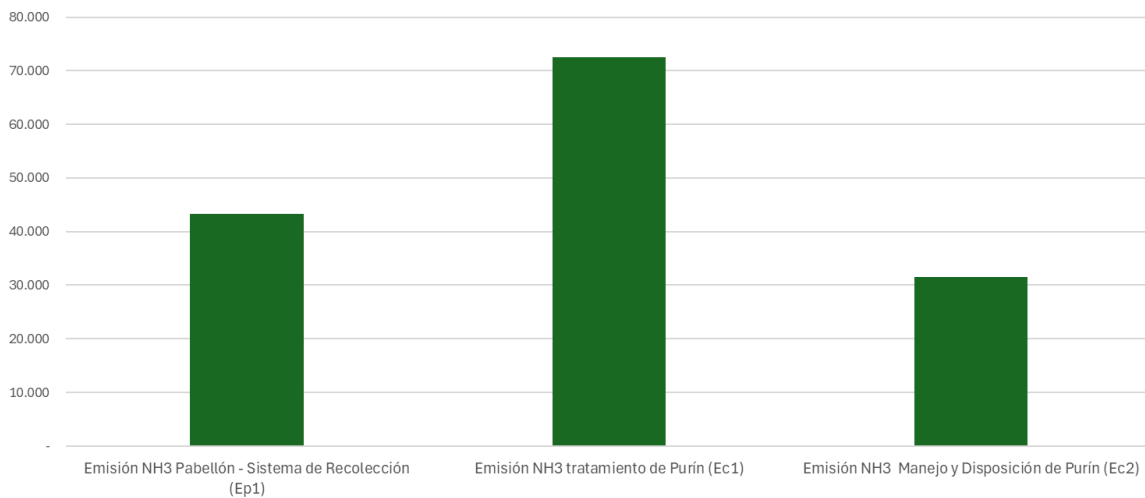
5.2. Emisión aves broiler

Las aves de broiler constituyen el 13% de las emisiones totales en la Región Metropolitana, con una emisión total de 2.208 toneladas por año y una población de 13.389.302 animales. Esta cifra refleja una disminución en las emisiones proyectadas por POCH (2016) para el año 2022, en las cuales se estimaba una emisión de 4.240 toneladas por año, con una población de 7.788.285 aves broiler.

5.3. Emisión porcinos

Las emisiones de porcinos constituyen la mayor fuente de emisiones de la Región Metropolitana, representando el 48% del total. Cada fuente de emisión se divide en tres componentes, Sistema de Recolección, Emisión NH₃ tratamiento de Purín y Emisión NH₃ Manejo y Disposición de Purín. Ahora bien, al calcular el promedio de emisiones para cada uno de los componentes, de la base de datos utilizada, se obtiene que el proceso que concentra las mayores emisiones promedios es el tratamiento del purín con un valor de 72.536 kg de NH₃/año promedio (ver **Figura 7**).

Figura 7. Emisiones promedios de porcinos por componente (kg de NH₃/año).



Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla se presenta un resumen de las emisiones totales para cada categoría de crianza de animales.

Tabla 15. Emisiones de amoníaco totales en animales

Categoría	Emisiones totales Ton NH ₃ /año
Aves Ponedoras	1.234
Aves Broiler	2.208
Porcinos	8.110

6. Proyección del inventario de amoníaco

Para el cálculo de las proyecciones de amoníaco se realizó una revisión de las diversas normativas, planes y proyectos que tengan incidencia en las emisiones futuras de amoníaco. A continuación se presentan los documentos revisados para identificar las tendencias y contextualizar la situación actual.

Tabla 16. Documentos revisados

N°	Documentos Revisados
1	Elaboración de guía para la estimación de emisiones de amoníaco en el sector agroindustrial. (Dictuc, 2021)
2	Decreto 31 del MMA. Establece plan de prevención y descontaminación atmosférica para la Región Metropolitana de Santiago.

3	Diagnóstico sectorial, acciones de reducción y remoción de emisiones de gases de efecto invernadero y medios de implementación del plan sectorial de mitigación sector agricultura. (Centro Cambio Global UC, 2024)
4	Anteproyecto Plan sectorial de mitigación al cambio climático sector agricultura. (MINAGRI,2024)
5	Revisión de las medidas del PPDA Región Metropolitana
6	Decreto 9 del MMA. Establece norma de emisión de contaminantes en planteles porcinos que, en función de sus olores, generan molestia y constituyen un riesgo a la calidad de vida de la población
7	Generación de Antecedentes Técnicos y Económicos para la Elaboración de Medidas para la Reducción de Emisiones en el Sector Agropecuario, en el marco del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA) para la Región Metropolitana de Santiago (MMA, 2015)
8	Decreto 12 del MMA. Establece norma primaria de calidad ambiental para material particulado fino respirable mp 2,5.

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a los proyectos que poseen un impacto en las emisiones, se hizo una revisión de los ingresados al SEA asociados a las fuentes de emisiones identificadas anteriormente

Tabla 17. Proyectos atingentes

N°	Nombre proyecto	Tipo de documento
1	Modificación y ampliación de galpones de aves para crianza de aves para crianza y postura de huevos Santa María	DIA
2	Plantel de engorda de ganado bovino Fundo La Cañita-Codigua	DIA
3	Mejoramiento Tecnológico operacional agricovial	DIA
4	Mejora del desempeño ambiental mediante biodigestor, modernización del Plantel de Cerdos La Islita y modificación hacia sistema deep bedding en pabellones de engorda	DIA
5	Mejoramiento y Ajustes Operacionales Plantel de Aves Huechún (tercer ingreso)	DIA
6	Ampliación Sectores de Crianza y Postura Plantel Melipilla	DIA
7	Ampliación Plantel de Aves Ponedoras y Packing de Huevos San Ramiro	DIA
8	Ampliación Plantel de Aves Amancay	DIA
9	Plantel de Aves Patagua	DIA

10	Plantel de Aves de Postura El Mirador	DIA
----	---------------------------------------	-----

Fuente: Elaboración propia.

De los proyectos presentados en la tabla anterior el correspondiente a “Mejora del desempeño ambiental mediante biodigestor, modernización del Plantel de Cerdos La Islita y modificación hacia sistema deep bedding en pabellones de engorda” es el único enfocado al mejoramiento del rendimiento ambiental, abordando el manejo de residuos a través del biodigestor y la reducción de olores. La implementación de un Biodigestor anaeróbico considera una reducción de amoníaco del 25%, reduciendo las emisiones asociadas al manejo y aplicación de excretas (POCH, 2016). A la fecha este proyecto ya se encuentra implementado por lo que su implementación ya debería estar reflejada.

En base a la revisión anterior, y siguiendo los lineamientos de POCH, se decidió utilizar la proyección en base a los datos de población de INE, ya que esta base de datos es la más actualizada y completa de las revisadas, a partir de esto se extrapoló para obtener la tasa de animales/hectáreas/metros cúbicos/ toneladas por habitante para cada una las fuentes de emisión según corresponda para los próximos 15 años.

Tabla 18. Indicadores de proyección

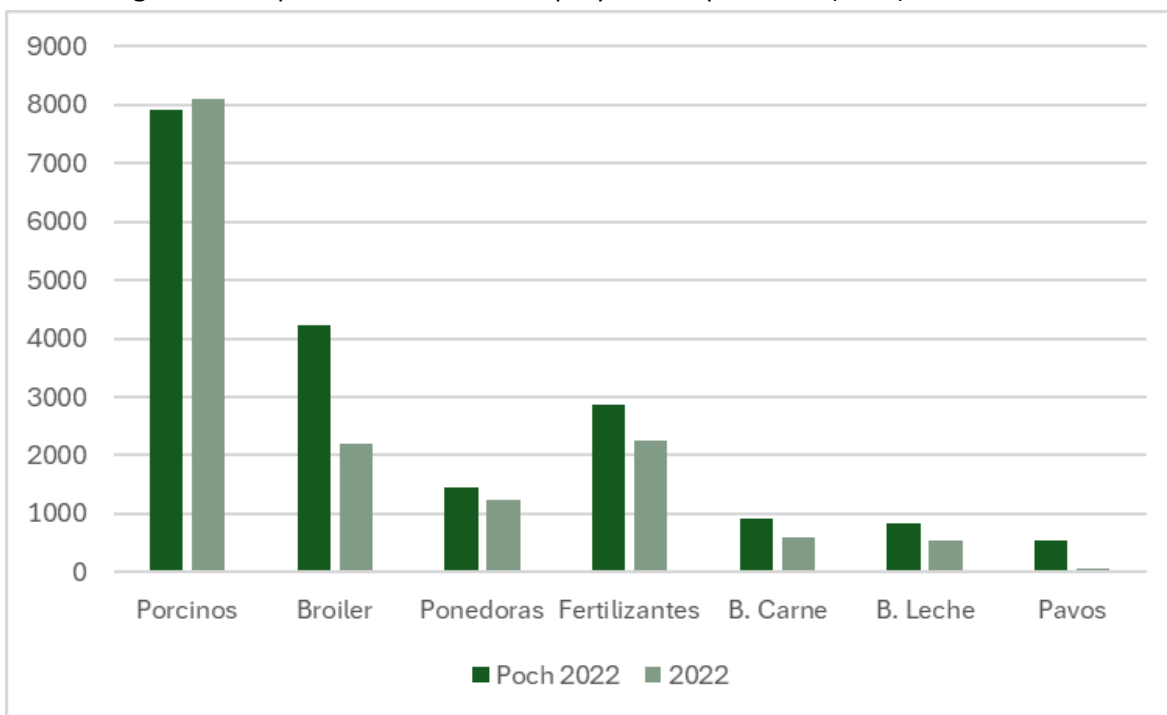
Unidad	Fuente	Valor
Tasa animales/hab	Ponedoras	0,63
Tasa animales/hab	Broiler	1,61
Tasa animales/hab	Pavos	0,01
Tasa animales/hab	Porcinos	0,12
Tasa animales/hab	Bovinos Carne	0,01
Tasa animales/hab	Bovinos Leche	0,00
ha/hab	Fertilizantes	0,00
m3/hab año	PTAS	57,18
ton/año	Rellenos Sanitarios	0,54

Fuente: Elaboración propia.

6.1. Proyección total

Para evaluar la proyecciones de emisiones de amoníaco, en primer lugar, se realizó un comparación de las emisiones proyectadas por la POCH (2016) para el año 2022 versus las levantadas por el presente estudio. Esto con el fin de identificar la variación con respecto a las proyecciones realizadas previamente. En la Figura 8, se puede observar que en las totalidad de las categorías, las emisiones proyectadas por POCH, fueron mayores a las obtenidas para el año 2022.

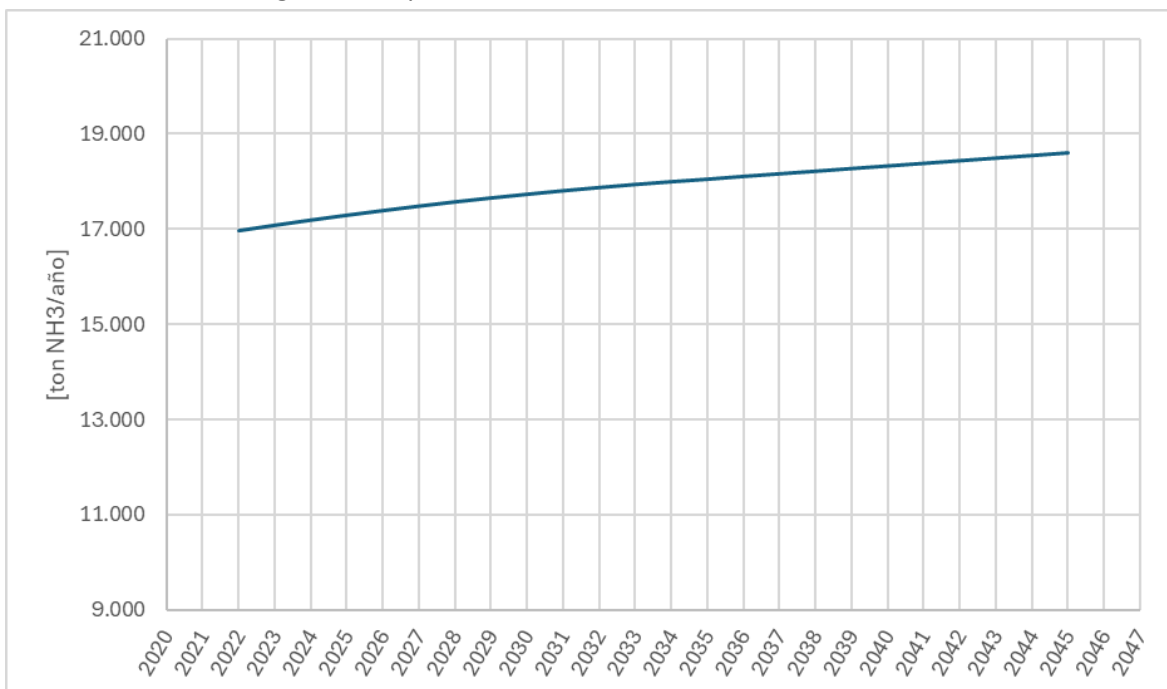
Figura 8. Comparativas de emisiones proyectadas por POCH (2016) vs obtenidas.



Fuente: Elaboración propia en base a los datos de la POCH 2016.

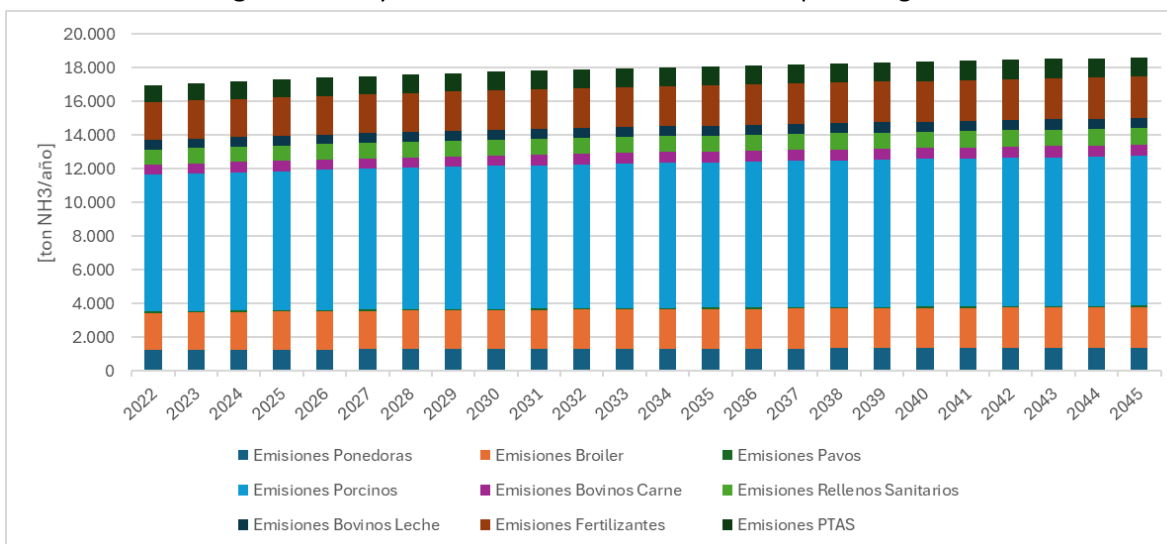
A continuación, se presenta la proyección del total de emisiones de amoniaco y la evolución de las emisiones para todas las categorías en estudio.

Figura 9. Proyección del total de emisiones de Amoniaco



Fuente: Elaboración propia.

Figura 10. Proyección de emisiones de Amoníaco por categorías

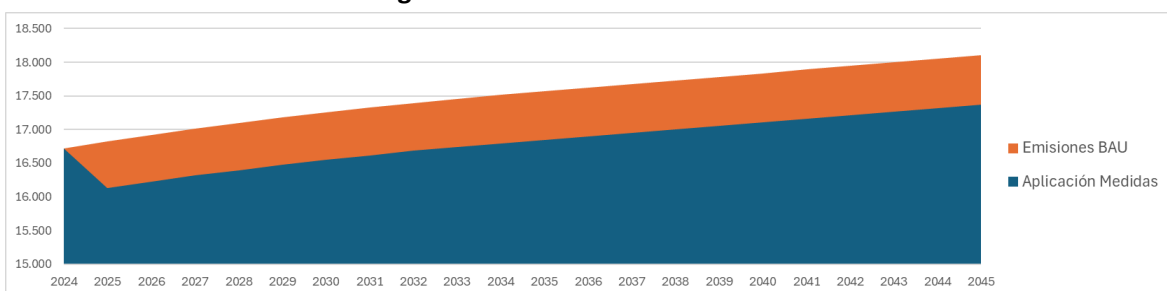


Fuente: Elaboración propia.

6.2. Calculadora de emisiones

A modo de **valor agregado** para el presente estudio, se desarrolló e integró una calculadora automatizada para la proyección de emisiones, diseñada específicamente como una herramienta práctica para la toma de decisiones. Esta calculadora permite no solo visualizar el impacto en la reducción de emisiones de amoníaco derivado de la implementación de medidas de mitigación, sino también evaluar escenarios prospectivos para cada una de las nueve fuentes de emisión trabajadas en el inventario 2022.

Figura 11. Calculadora de emisiones



Fuente: Elaboración propia.

6.3. Contenido excel

Los resultados del presente estudio, son presentados mediante un excel recopilatorio que contiene la información utilizada para las estimaciones, cálculos y proyecciones, este archivo está pensado para ser utilizado de la manera más ágil e interactiva posible por lo que ofrece una navegación a través de botones e hipervínculos.

Figura 12. Inventario de Amoniaco 2022.



Fuente: Elaboración propia.

Tal como se puede observar en la figura el excel incluye:

1. Fuentes de Emisiones

Esta sección identifica las principales fuentes emisoras de amoníaco, desglosadas en categorías y subcategorías específicas. Aquí se pueden analizar las emisiones por tipo de fuente:

- **Aves:** Incluye tres subcategorías relevantes según el tipo de producción:
 - *Aves ponedoras:* Corresponde a gallinas destinadas a la producción de huevos.
 - *Aves broiler:* Incluye las aves criadas para la producción de carne.
 - *Pavos:* Considera las emisiones asociadas a la cría de pavos.
- **Porcinos:** Emisiones provenientes de la crianza y manejo de cerdos.
- **PTAS (Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas):** Emisiones generadas en procesos de tratamiento de aguas residuales.
- **Rellenos Sanitarios:** Fuente de emisiones asociadas a la descomposición de residuos sólidos en vertederos y rellenos sanitarios.
- **Bovinos:** Clasificados en dos subcategorías:
 - *Bovinos carne:* Relacionados con la producción de ganado para carne.
 - *Bovinos leche:* Asociados a la producción de ganado para productos lácteos.
- **Fertilizantes:** Incluye las emisiones derivadas del uso de fertilizantes agrícolas.

2. Resultados

Aquí se presentan los datos procesados, desglosados en dos apartados principales:

- **Resultados de Emisiones:** Muestra las emisiones totales por cada categoría y subcategoría. Cabe destacar que los resultados de este inventario corresponden a los realizados con el universo ajustado, dando como resultado las emisiones extrapoladas.
- **Resultados por Proceso:** Detalla las emisiones según las etapas específicas dentro de cada fuente emisora, dividiendo en pabellón y almacenamiento.

3. Proyecciones

Esta sección está destinada al análisis prospectivo y ofrece herramientas para evaluar escenarios futuros:

- **Proyección de Población:** Estimación del crecimiento poblacional a partir de la base de datos del INE.
- **Proyección de Emisiones:** Calcula emisiones futuras basadas en las proyecciones de población y factores de emisión.
- **Calculadora de Proyecciones:** Herramienta interactiva para realizar proyecciones personalizadas, ajustando parámetros como tasas de crecimiento o cambios en las categorías emisoras.

4. Datos

Contiene la información base que sustenta los cálculos y proyecciones, organizada en módulos clave:

- **Factores de Emisión:** Incluye los factores específicos para cada categoría y subcategoría, como aves, porcinos, bovinos, PTAS, entre otros. Estos factores son fundamentales para estimar las emisiones generadas por unidad de actividad.
- **Categorías POCH:** Corresponde a las emisiones proyectadas por Poch (2016) de las proyecciones de amoníaco en 10 años.
- **Datos Porcinos:** Contiene información detallada sobre la cantidad de animales por empresa en la RM.
- **Datos PTAS:** Detalla los datos de plantas de tratamiento, incluyendo volumen de aguas tratadas y características de los procesos utilizados.
- **Número del Censo 2022:** Proporciona información del censo agropecuario 2022 para la RM.

7. Propuesta de medidas de reducción de amoniaco

En la siguiente sección se proponen medidas de reducción de amoniaco para las principales fuentes de emisión de Amoniaco identificadas en el estudio. Las medidas seleccionadas buscan abordar los sectores con menor regulación, centrándose principalmente en aves, ya que porcinos cuenta con su normativa de olores que significa en una reducción de emisiones.

Para la presentación de cada una de las 7 medidas identificadas se elaboró una ficha, la cual presenta una descripción detallada, identificando el potencial de reducción de emisiones y una evaluación técnica y económica de esta. Adicionalmente se realizó la evolución de las emisiones de cada una de las fuentes atingentes a las medidas en un horizonte de 15 años. De esta forma se puede apreciar el impacto de la aplicación de cada una de las medidas en sus fuentes de emisión respectivas.

Para estimar los costos e implementación, se trabajó bajo el principio de gradualidad. En este sentido, se asumió que el 50% de las instalaciones implementaría la medida para el año 2026, lo que representaría la mitad del costo total. Para el año 2030, se estimó que el 95% de las instalaciones habrían adoptado la medida, dejando un margen para posibles incumplimientos. Además, se consideraron los costos anuales de mantención, los cuales se estimaron en un 20% del costo total de inversión, al no contar con cifras más precisas.

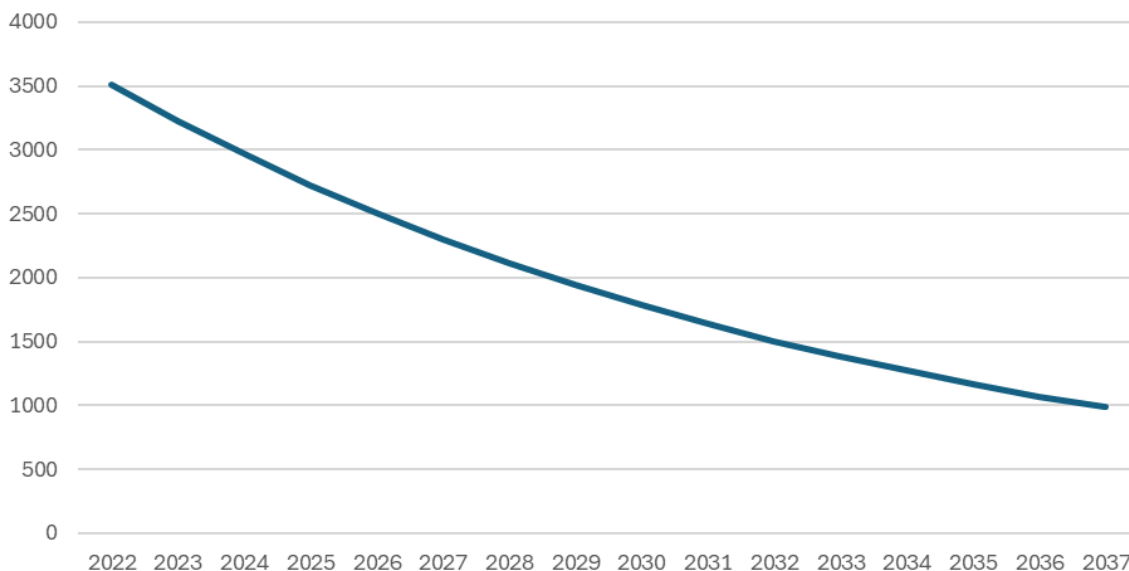
Tabla 19. Medida 1 de reducción de emisiones de amoniaco.

Medida 1	
IDENTIFICACIÓN	
Nombre de la medida	Extracción automática de guano desde pabellones
Potenciales impactos de reducción	72%
Donde se aplica	Pabellón
Línea de aplicabilidad	Aves
Descripción y Evaluación Técnica	
La extracción automática de guano considera cintas transportadoras que permiten retirar el guano generado por las aves ponedoras del pabellón, en general cada 1 o 2 días. Esta medida disminuye el tiempo de exposición del guano y con ello la emisión de NH3 en el pabellón. Para que esto ocurra es necesaria la extracción inmediata del guano desde el pabellón para su aplicación, es decir no puede haber acumulación de guano en la instalación, posterior a la extracción.	
Evaluación Económica	
Costos	0,21 (USD/animal/año)
Si la medida de extracción automática de guano se implementara en la totalidad de las instalaciones de aves, el costo total estimado sería de aproximadamente 1.102.845 USD anuales. Sin embargo, dado que la implementación está planificada de forma gradual, se espera que para el año 2025 sólo el 50% de las instalaciones adopten la medida, lo que implicaría un costo aproximado de 551.423 USD anuales. Avanzando hacia el año 2030, se proyecta que la implementación alcance un 95% de cumplimiento, con un costo estimado de 1.047.703 USD anuales.	
Costos de mantención	Si la medida de extracción automática de guano se implementa al 95%, el costo anual de mantenimiento estimado sería de 209.540,60 USD.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 13 muestra la reducción de emisiones de amoniaco a lo largo de un período de 15 años, implementando la medida de extracción automática de guano en pabellones de aves, tomando como año de inicio 2022. Esto incluye la disminución de emisiones provenientes de aves broiler, ponedoras y pavos. Este método logra una reducción del 72%. En esta línea, la Tabla 20 detalla la evolución de los valores anuales, hasta alcanzar el máximo nivel de reducción.

Figura 13. Reducción de emisiones en 15 años con medida 1(Ton/año).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20. Valores de reducción de amoniaco.

Año	Emisión (Ton/año)
2022	3515
2023	3228,96
2024	2966,21
2025	2724,83
2026	2503,09
2027	2299,40
2028	2112,29
2029	1940,40
2030	1782,50
2031	1637,45

2032	1504,20
2033	1381,79
2034	1269,35
2035	1166,06
2036	1071,17
2037	984,00

Fuente: Elaboración propia.

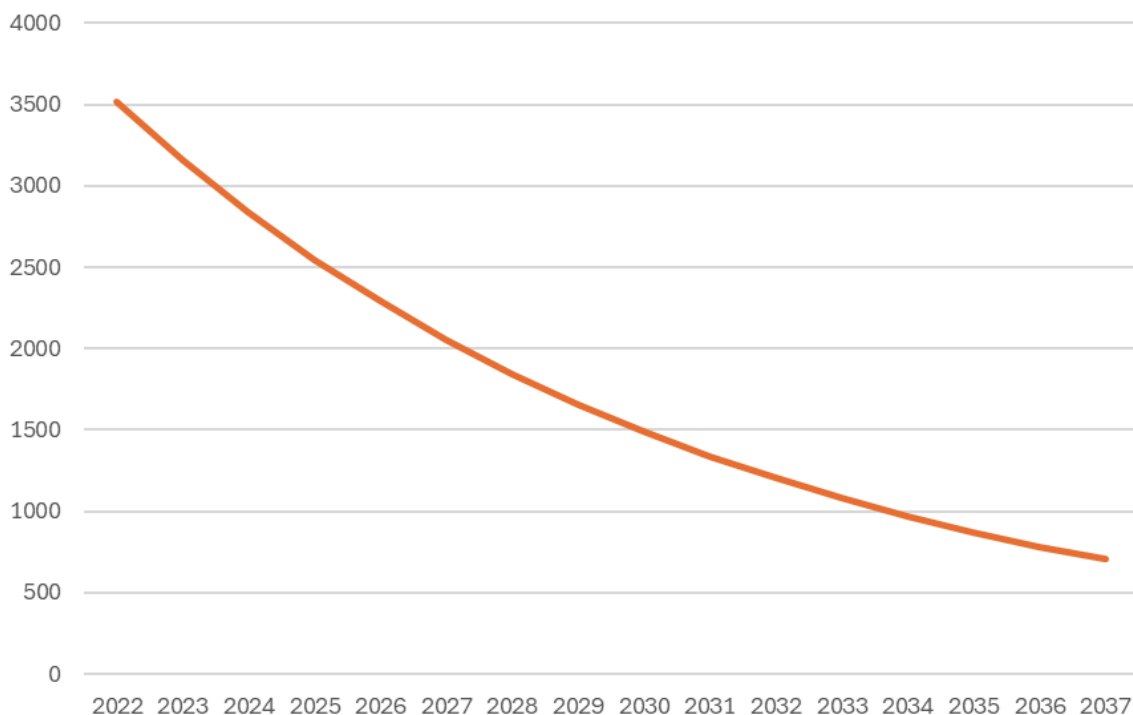
Tabla 21. Medida 2 de reducción de emisiones de amoniaco.

Medida 2	
IDENTIFICACIÓN	
Nombre de la medida	Biofiltro en pabellones
Potenciales impactos de reducción	70 - 90%
Donde se aplica	Pabellón
Línea de aplicabilidad	Cerdos y aves
Descripción y Evaluación Técnica	
El biofiltro es un sistema de tratamiento del aire que utiliza bacterias aeróbicas para degradar el amoniaco sin la necesidad de productos químicos. Estas bacterias, que viven dentro del filtro, procesan las partículas de aire, reduciendo significativamente el amoniaco, mientras que una mínima fracción de este gas se libera al sistema de manejo. Para su funcionamiento, es esencial contar con un sistema de conducción de aire que dirija el flujo hacia el biofiltro. Sin embargo, este proceso implica un consumo adicional de energía eléctrica y agua. El agua se utiliza para mantener el biofiltro operativo, lo que genera un efluente líquido con amoniaco, cuya composición y características aún no están completamente determinadas.	
Evaluación Económica	
Costos de implementación	1,38 (USD/animal/año)
Si la medida de biofiltro se implementara en la totalidad de las instalaciones de aves broiler y ponedoras, el costo total estimado sería de aproximadamente 25.724.506 USD anuales. Sin embargo, dado que la implementación está planificada de forma gradual, se espera que para el año 2026 solo el 50% de las instalaciones adopten la medida, lo que implicaría un costo aproximado de 12.862.253 USD anuales. Avanzando hacia el año 2030, se proyecta que la implementación alcance un 95% de cumplimiento, con un costo estimado de 24.438.280 USD anuales.	
Costos de mantención	Si la medida de biofiltro se implementa al 95%, el costo anual de mantenimiento estimado sería de 4.887.656 USD.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 14 muestra la reducción de emisiones de amoniaco a lo largo de un período de 15 años, implementando la medida de biofiltro en pabellones, tomando como año de inicio 2022. Este cálculo se hace respecto a la disminución en el sector de aves, por lo que incluye la disminución proveniente de aves broiler, ponedoras y pavos. Este método logra una reducción entre el 70-90%, para efectos del cálculo se utilizó el promedio de estos valores, es decir el 80%. Por otro lado, la Tabla 22 detalla la evolución de los valores anuales, hasta alcanzar el máximo nivel de reducción.

Figura 14. Reducción de emisiones en 15 años con medida 2 (Ton/año).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22. Valores de reducción de amoniaco.

Año	Emisión(Ton/año)
2022	3515
2023	3157,38
2024	2836,15
2025	2547,60
2026	2288,41
2027	2055,58
2028	1846,45
2029	1658,59
2030	1489,85
2031	1338,27
2032	1202,11

2033	1079,81
2034	969,95
2035	871,27
2036	782,62
2037	703,00

Fuente: Elaboración propia.

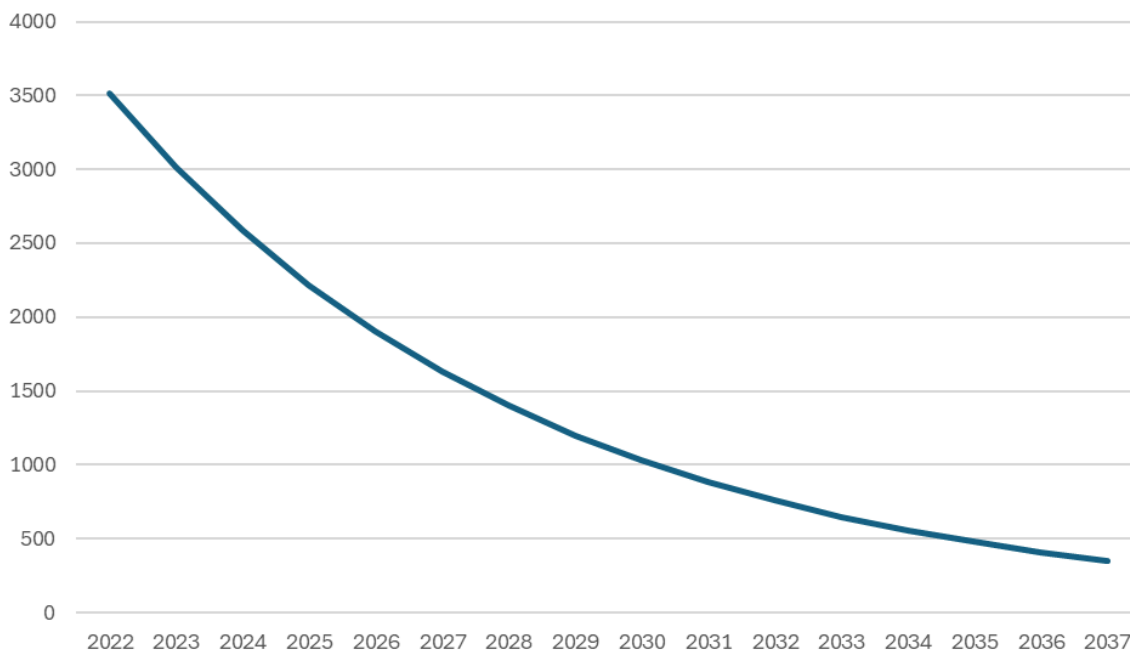
Tabla 23. Medida 3 de reducción de emisiones de amoniaco.

Medida 3	
IDENTIFICACIÓN	
Nombre de la medida	Cristalización
Potenciales impactos de reducción	90%
Donde se aplica	Almacenamiento
Línea de aplicabilidad	Cerdos y aves
Descripción y Evaluación Técnica	
<p>El proceso de cristalización de estruvita es una medida eficaz para reducir el amoníaco en residuos ganaderos, como el estiércol, guano de aves y el purín de cerdo. Este proceso implica la recuperación del amoníaco en forma de estruvita ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), un cristal que tiene baja solubilidad y puede usarse como fertilizante de liberación lenta. Para que la cristalización ocurra, es necesario que las concentraciones de amonio (NH_4^+), fosfato (PO_4^{3-}) y magnesio (Mg^{2+}) superen un umbral de saturación, lo que se logra controlando el pH (generalmente entre 9 y 10.7), la temperatura (baja, entre 15-30°C), y la relación molar entre estos componentes. En este proceso, se puede añadir fósforo y magnesio, a menudo en forma de reactivos como Na_2HPO_4 y $\text{Mg}(\text{OH})_2$.</p>	
Evaluación Económica	
Costos	140 - 460 dólares por kilogramo de nitrógeno amoniacal.
<p>Si la medida de cristalización se implementara en la totalidad de las plantas de aves, el costo total estimado sería de aproximadamente 1.054.500 USD anuales. Sin embargo, dado que la implementación está planificada de forma gradual, se espera que para el año 2026 solo el 50% de las plantas adopten la medida, lo que implicaría un costo aproximado de 527.250 USD. Avanzando hacia el año 2030, se proyecta que la implementación alcance un 95% de cumplimiento, con un costo estimado de 1.001.775 USD.</p>	
Costos de mantención	Si la medida de cristalización se implementa al 95%, el costo anual de mantenimiento estimado sería de 200.355 USD.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 15 muestra la reducción de emisiones de amoniaco a lo largo de un período de 15 años, implementando la medida de cristalización, tomando como año de inicio 2022. Este cálculo se hace respecto a la disminución en el sector de aves, por lo que incluye la disminución proveniente de aves broiler, ponedoras y pavos. Este método logra una reducción del 90%. Por su parte, la Tabla 24 detalla la evolución de los valores anuales, hasta alcanzar el máximo nivel de reducción.

Figura 15. Reducción de emisiones en 15 años con medida 3 (Ton/año).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24. Valores de reducción de amoníaco.

Año	Emisión (Ton/año)
2022	3515
2023	3014,51
2024	2585,29
2025	2217,18
2026	1901,49
2027	1630,74
2028	1398,55
2029	1199,42
2030	1028,64
2031	882,17
2032	756,57
2033	648,84
2034	556,46

2035	477,22
2036	409,27
2037	351

Fuente: Elaboración propia.

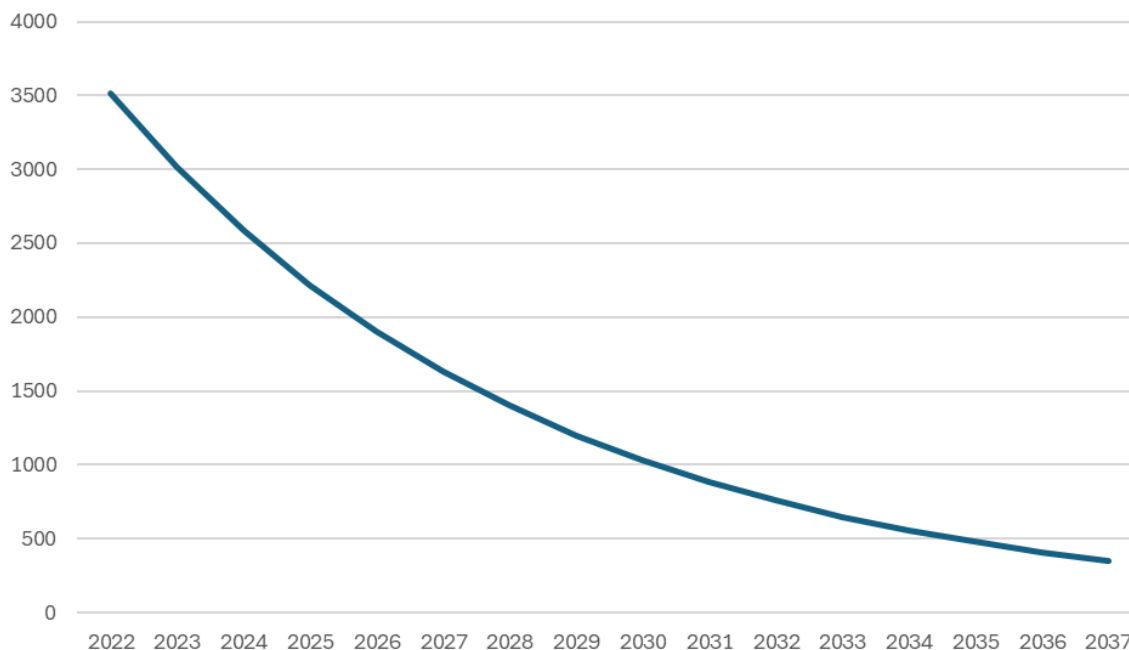
Tabla 25. Medida 4 de reducción de emisiones de amoniaco.

Medida 4	
IDENTIFICACIÓN	
Nombre de la medida	Stripping
Potenciales impactos de reducción	90%
Donde se aplica	Pabellón
Línea de aplicabilidad	Cerdos y aves
Descripción y Evaluación Técnica	
El proceso de stripping se utiliza para eliminar o recuperar el nitrógeno amoniacal en forma de amoníaco (NH ₃) de una fase líquida mediante su volatilización con una corriente gaseosa, como aire o vapor. El pH del líquido influye significativamente en la eficiencia del proceso, ya que determina la fracción de amoníaco y amonio en la solución; por lo general, se trabaja a pH superiores a 8.5. A temperaturas más altas, el amoníaco se volatiliza mejor, y el proceso puede realizarse con vapor a temperaturas superiores a 90°C. El amoníaco volátil puede ser recuperado por absorción en una solución ácida (como H ₂ SO ₄ o HNO ₃), formando sales como el sulfato de amonio o nitrato de amonio, utilizadas como fertilizantes.	
Evaluación Económica	
Costos	1.6-3.7 USD/kg de nitrógeno amoniacal. recuperado
Si el proceso de stripping se implementara en la totalidad de las plantas de aves, el costo total estimado sería de aproximadamente 9.3 millones de USD anuales. Sin embargo, dado que la implementación está planificada de forma gradual, se espera que para el año 2026 solo el 50% de las plantas adopten la medida, lo que implicaría un costo aproximado de 4.65 millones de USD. Avanzando hacia el año 2030, se proyecta que la implementación alcance un 95% de cumplimiento, con un costo estimado de 8.8 millones de USD.	
Costos de mantención	Si la medida de stripping se implementa al 95%, el costo anual de mantenimiento estimado sería de 1.760.000 USD.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 16 muestra la reducción de emisiones de amoniaco a lo largo de un período de 15 años, implementando la medida de stripping, tomando como año de inicio 2022. Este cálculo se hace respecto a la disminución de emisiones en el sector de aves, por lo que incluye la disminución proveniente de aves broiler, ponedoras y pavos. Este método logra una reducción del 90%. Por su parte, la Tabla 26 detalla la evolución de los valores anuales, hasta alcanzar el máximo nivel de reducción.

Figura 16. Reducción de emisiones en 15 años con medida 4 (Ton/año).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26. Valores de reducción de amoniaco.

Año	Emisión (Ton/año)
2022	3515
2023	3014,51
2024	2585,29
2025	2217,18
2026	1901,49
2027	1630,74
2028	1398,55
2029	1199,42
2030	1028,64
2031	882,17
2032	756,57
2033	648,84
2034	556,46

2035	477,22
2036	409,27
2037	351

Fuente: Elaboración propia.

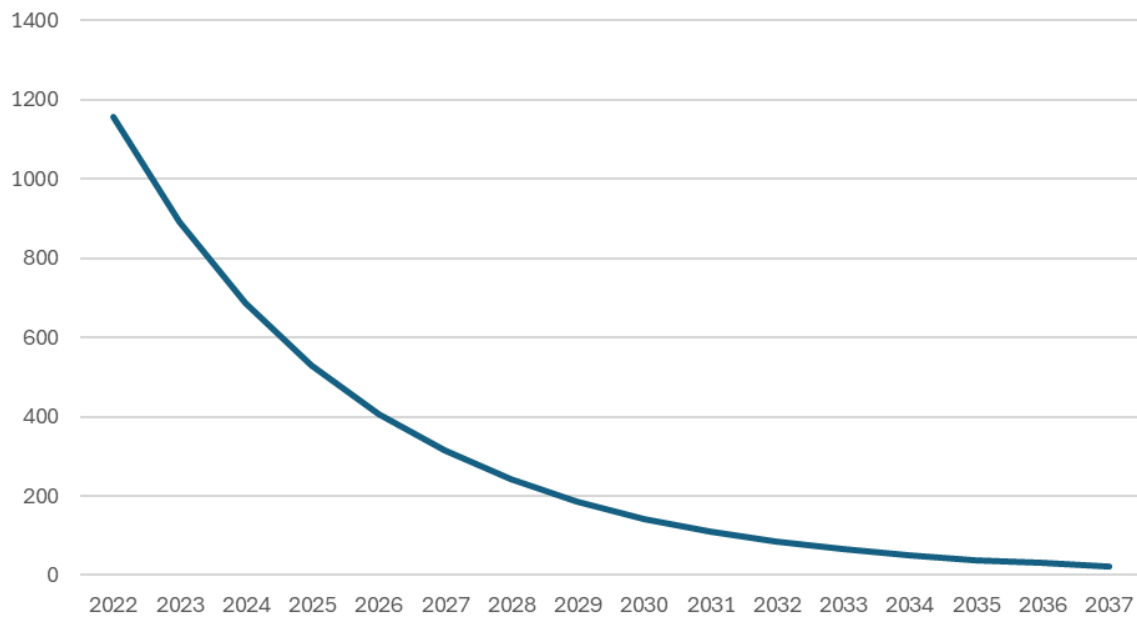
Tabla 27. Medida 5 de reducción de emisiones de amoníaco.

Medida 5	
IDENTIFICACIÓN	
Nombre de la medida	Osmosis inversa
Potenciales impactos de reducción	98%
Donde se aplica	Pabellón
Línea de aplicabilidad	Cerdos y bovinos
Descripción y Evaluación Técnica	
<p>La ósmosis inversa es una tecnología de separación que utiliza una membrana semipermeable para eliminar compuestos disueltos, como el amoníaco, en líquidos. Aplicando una presión superior a la presión osmótica natural, el agua pasa a través de la membrana, mientras que las sustancias no deseadas, como el amoníaco, son retenidas. Este proceso es altamente eficaz en la reducción de amoníaco, alcanzando eficiencias superiores al 98%, especialmente en líquidos como purines de cerdo y estiércol de vaca. Sin embargo, la OI requiere pretratamientos intensivos, como sedimentación y filtración, para eliminar sólidos y evitar la obstrucción de las membranas (fouling). Aunque es eficaz, la ósmosis inversa puede ser costosa debido a los altos costos de inversión, mantenimiento y energía asociados. A pesar de estos desafíos, la OI es una opción prometedora para reducir amoníaco en residuos ganaderos y otros líquidos industriales.</p>	
Evaluación Económica	
Costos	10.4 €/kg de nitrógeno amoniacal. recuperado
<p>Si el proceso de ósmosis inversa se implementara en la totalidad de instalaciones de bovinos, el costo total estimado sería de aproximadamente 12,04 millones de EUR anuales. Sin embargo, dado que la implementación está planificada de forma gradual, se espera que para el año 2026 solo el 50% de las plantas adopten la medida, lo que implicaría un costo aproximado de 6.02 millones de EUR. Avanzando hacia el año 2030, se proyecta que la implementación alcance un 95% de cumplimiento, con un costo estimado de 11,43 millones de EUR.</p>	
Costos de mantención	Si la medida de osmosis inversa se implementa al 95%, el costo anual de mantenimiento estimado sería de 2.287.600 euros.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 17 muestra la reducción de emisiones de amoníaco a lo largo de un período de 15 años, implementando la medida de osmosis inversa, tomando como año de inicio 2022. Este cálculo se hace respecto a la disminución de emisiones en el sector de bovinos, por lo que incluye la disminución proveniente de bovinos de carne y leche. Este método logra una reducción del 98%. Por su parte, la Tabla 28 detalla la evolución de los valores anuales, hasta alcanzar el máximo nivel de reducción.

Figura 17. Reducción de emisiones en 15 años con medida 5 (Ton/año).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28. Valores de reducción de amoniaco.

Año	Emisión (Ton/año)
2022	1157
2023	891,03
2024	686,20
2025	528,46
2026	406,98
2027	313,42
2028	241,37
2029	185,89
2030	143,16
2031	110,25
2032	84,90
2033	65,39

2034	50,36
2035	38,78
2036	29,87
2037	23,00

Fuente: Elaboración propia.

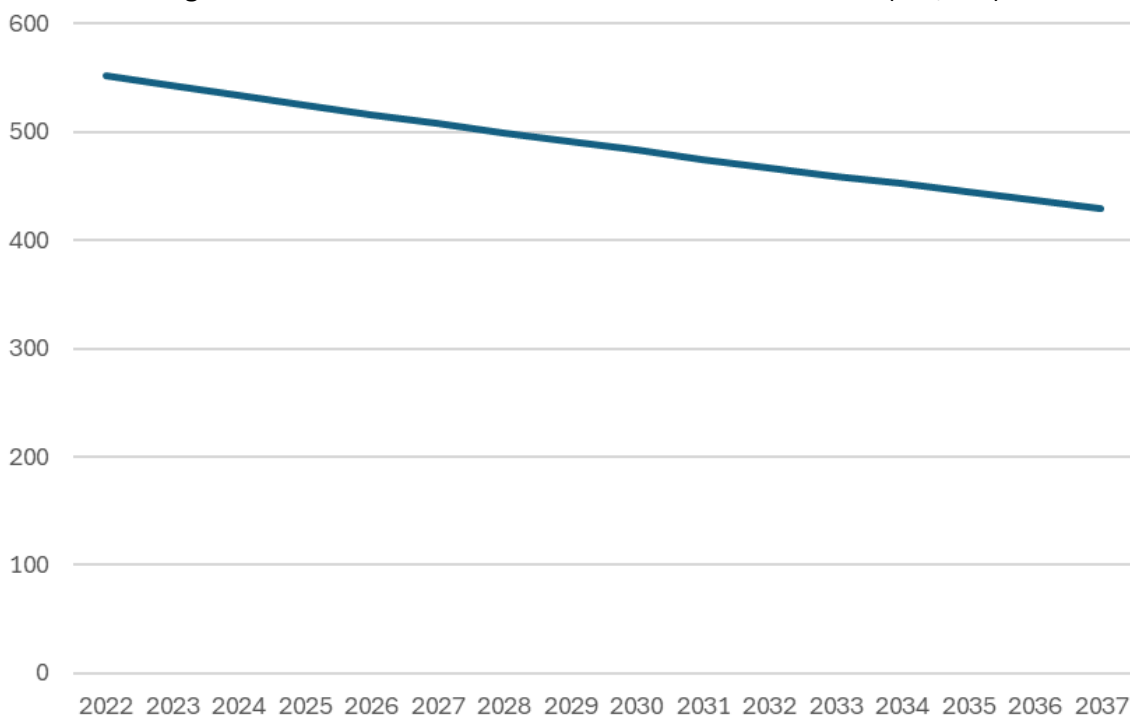
Tabla 29. Medida 6 de reducción de emisiones de amoníaco.

Medida 6	
IDENTIFICACIÓN	
Nombre de la acción o iniciativa	Limpieza en seco para planteles lecheros
Potenciales impactos de reducción	22%
Donde se aplica	Pabellón
Línea de aplicabilidad	Bovinos
Descripción y Evaluación Técnica	
La limpieza en seco en planteles lecheros consiste en arrastrar el purín sin usar agua, utilizando sistemas como escobillones o palas. Esto reduce la emisión de nitrógeno, ya que al no añadir agua, se disminuye la volatilización de amoníaco. Comparado con el sistema de limpieza con agua, que tiene un 24% de pérdida de N, el barrido en seco solo pierde un 6%. Este sistema puede aplicarse en diversas instalaciones lecheras, aunque no a todos los animales dentro de una misma instalación. Se estima que la limpieza en seco puede reducir las emisiones de amoníaco en un 22%.	
Evaluación Económica	
Costos de implementación	USD\$ 1.240 al mes por plantel
Si la medida de limpieza en seco se implementara en la totalidad de los 43 planteles bovinos lecheros, el costo total estimado sería de aproximadamente 553.320 USD anuales. Sin embargo, dado que la implementación está planificada de forma gradual, se espera que para el año 2026 solo el 50% de los planteles adopten la medida, lo que implicaría un costo aproximado de 26.660 USD anuales. Avanzando hacia el año 2030, se proyecta que la implementación alcance un 95% de cumplimiento, con un costo estimado de 50.654 USD anuales.	
Costos de mantención	Si la medida de limpieza en seco en planteles lecheros se implementa al 95%, el costo anual de mantenimiento estimado sería de 10.130 USD

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 18 muestra la reducción de emisiones de amoníaco a lo largo de un período de 15 años, implementando la medida de limpieza en seco para planteles lecheros, tomando como año de inicio 2022. Este cálculo se hace respecto a la disminución de emisiones en el sector de bovinos de leche. Este método logra una reducción del 22%. Por su parte, la Tabla 30 detalla la evolución de los valores anuales, hasta alcanzar el máximo nivel de reducción.

Figura 18. Reducción de emisiones en 15 años con medida 6 (Ton/año).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30. Valores de reducción de amoniaco.

Año	Emisión (Ton/año)
2022	552
2023	542,88
2024	533,92
2025	525,10
2026	516,43
2027	507,90
2028	499,52
2029	491,27
2030	483,16
2031	475,18
2032	467,33

2033	459,61
2034	452,03
2035	444,56
2036	437,22
2037	430,00

Fuente: Elaboración propia.

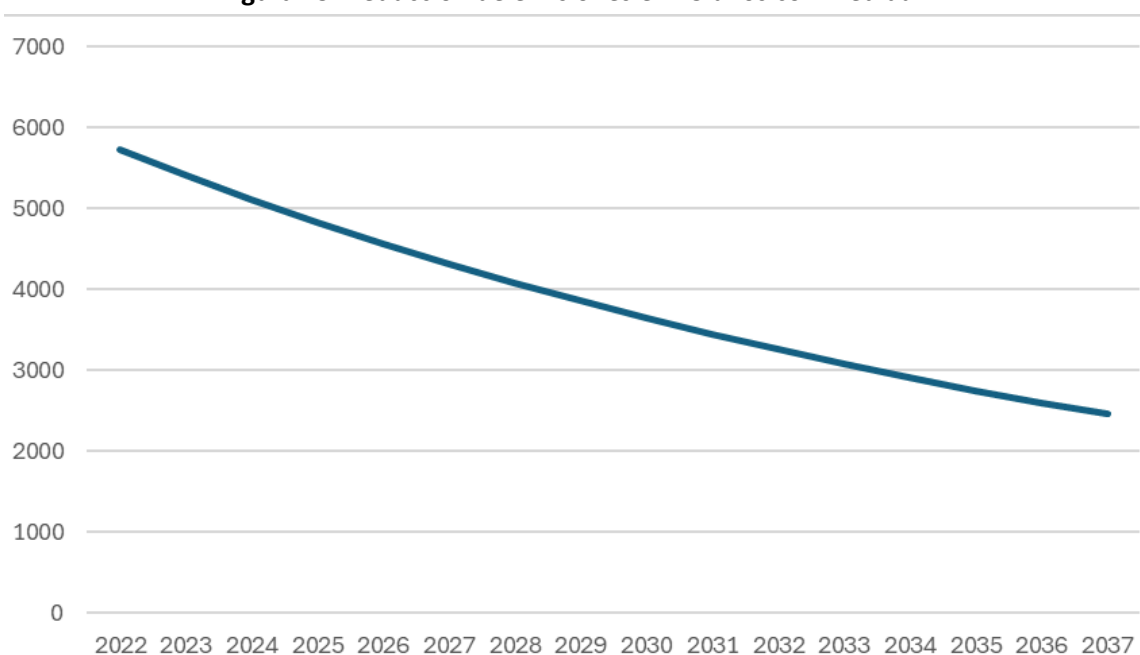
Tabla 31. Medida 7 de reducción de emisiones de amoniaco.

Medida 7	
IDENTIFICACIÓN	
Nombre de la acción o iniciativa	Aplicación del purín al suelo
Potenciales impactos de reducción	57%
Donde se aplica	Almacenamiento
Línea de aplicabilidad	Cerdos
Descripción y Evaluación Técnica	
La aplicación de purín al suelo es una práctica común en la agricultura, especialmente en cultivos de cereal de invierno y maíz. Las técnicas de cultivo de conservación, como la siembra directa, mejoran la retención de nutrientes y carbono en el suelo. Para minimizar la volatilización del amoníaco y la emisión de olores, se busca aplicar los purines rápidamente.	
Evaluación Económica	
Costos	0,6 euros/Kg de nitrógeno amoniacal recuperado
Si la medida de aplicación rápida de purín al suelo se implementara en la totalidad de las áreas agrícolas, el costo total estimado sería de aproximadamente 3,78 millones de USD anuales. Sin embargo, dado que la implementación está planificada de forma gradual, se espera que para el año 2026 solo el 50% de las áreas adopten la medida, lo que implicaría un costo aproximado de 1,89 millones de USD anuales. Avanzando hacia el año 2030, se proyecta que la implementación alcance un 95% de cumplimiento, con un costo estimado de 3,59 millones de USD anuales.	
Costos de mantención	Si la medida de Aplicación del purín al suelo se implementa al 95%, el costo anual de mantenimiento estimado sería de 718.000 USD

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 19 muestra la reducción de emisiones de amoniaco a lo largo de un período de 15 años, implementando la medida de aplicación de purín al suelo, tomando como año de inicio 2022. Este cálculo se hace respecto a la disminución de emisiones en el sector de porcinos. Este método logra una reducción del 57%. Por su parte, la Tabla 32 detalla la evolución de los valores anuales, hasta alcanzar el máximo nivel de reducción.

Figura 19. Reducción de emisiones en 15 años con medida 7.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32. Valores de reducción de amoniaco.

Año	Emisión
2022	5723
2023	5409,76
2024	5113,66
2025	4833,77
2026	4569,20
2027	4319,11
2028	4082,71
2029	3859,25
2030	3648,01
2031	3448,34
2032	3259,60
2033	3081,19

2034	2912,55
2035	2753,13
2036	2602,44
2037	2460,00

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado es importante tener en consideración las medidas establecidas en el Plan Sectorial De Mitigación Al Cambio Climático Sector Agricultura y el Plan De Adaptación Al Cambio Climático Sector Silvoagropecuario Periodo 2024 - 2028. Si bien ambos planes proponen medidas, las más atinentes a tener en consideración en temas de reducción de emisiones son las asociadas al Plan de Mitigación dentro de las cuales se destacan las siguientes medidas:

- **Biodigestores de Purines Porcinos:** Implementación de biodigestores para tratamiento de purines de planteles porcinos.
- **Uso eficiente del Fertilizante:** Reducción en la intensidad del uso de fertilizantes para cereales, cultivos industriales y forrajeras
- **Biodigestores de Purines en Bovinos:** Implementación de biodigestores para tratamiento de purines para ganado bovino en confinamiento.
- **Mejoramiento en dieta de ganado bovino para reducir emisiones de metano por fermentación entérica:** Modificar alimentación del ganado bovino para reducir la metanogénesis, como lípidos, taninos, forrajes mejorados y aditivos comerciales

8. Conclusiones

En este estudio, se actualizó el inventario de emisiones de amoníaco para el año 2022, incorporando las categorías originales del inventario desarrollado por POCH (2016) e integrando dos nuevas fuentes: los rellenos sanitarios y las plantas de tratamiento de aguas servidas. Esto permitió ampliar la perspectiva sobre las emisiones a nivel regional y proporcionar una visión más completa.

Sin embargo, se identificó que los factores de emisión asociados a estas nuevas fuentes presentan una baja precisión, lo que genera incertidumbres significativas en las estimaciones de emisiones. Además, al tratarse de categorías no evaluadas en inventarios previos, no se dispone de factores de emisión de referencia, lo que dificulta el aumento en la exactitud de las proyecciones.

En este contexto, se destaca la importancia de profundizar en el estudio de los factores de recuperación de gases en rellenos sanitarios, dado su impacto en la estimación de emisiones. Asimismo, la composición porcentual de los Residuos Sólidos Domiciliarios (RSD) juega un rol clave en la precisión de las estimaciones y, si se aumenta la precisión, será fundamental realizar un mayor análisis con el fin de identificar una composición porcentual lo más precisa posible.

De manera transversal, se identifica la necesidad de desarrollar y consolidar factores de emisión específicos para el contexto nacional y/o regional. Esto permitirá reflejar de manera más fiel las particularidades del área de estudio y mejorar la precisión de los futuros inventarios de emisiones.

Ahora bien, con el fin de dar continuidad a lo estipulado en el PPDA y lo desprendido del estudio, será fundamental evaluar y profundizar las medidas asociadas al factor de aves y lograr levantar información más detallada sobre las instalaciones.

Finalmente es importante considerar que la norma de olores generará una reducción de las emisiones de amoníaco y, posiblemente, la norma de orgánicos se traduzca en una reducción de las emisiones asociadas a los rellenos sanitarios, por lo que, debido a los esfuerzos que se están realizando desde los distintos sectores, es probable que, a medida que se impulsan nuevos proyectos y estándares, las emisiones de amoníaco sean menores en cada una de las fuentes.

9. Bibliografía

Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Pontificia Universidad Católica de Chile [Dictuc]. 2021. Elaboración de guía para la estimación de emisiones de amoníaco en el sector agroindustrial.

<https://airerm.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2022/05/Guia-NH3-Informe-Final.pdf>

Dictuc. (2023). Inventario RMS industria – agroindustria.

https://drive.google.com/drive/u/2/folders/14yLNzCTB3iCcpCCx15S9ws_-70a8acB3

Environmental Protection Agency (EPA). (2006). CH₄ Emissions From Solid Waste Disposal.

Flotats, X., Bonmati, A., Palatsi, J., Prenafeta, F., Fernández, B. (2010). Libro de Actas del II Congreso Español de Gestión Integral de Deyecciones Ganaderas. International Workshop on Anaerobic Digestion of Slaughterhouse Waste. EXPOAVIGA.

https://www.researchgate.net/profile/Xavier-Flotats/publication/337498833_Libro_de_Actas_del_II_Congreso_Espanol_de_Gestion_Integral_de_Deyecciones_Ganaderas_International_Workshop_on_Anaerobic_Digestion_of_Slaughterhouse_Waste/links/5ddc287aa6fdccdb44654fc4/Libro-de-Actas-del-II-Congreso-Espanol-de-Gestion-Integral-de-Deyecciones-Ganaderas-International-Workshop-on-Anaerobic-Digestion-of-Slaughterhouse-Waste.pdf#page=19

Implementa Sur. (2019). Asesoría sobre el manejo de residuos orgánicos generados a nivel municipal en Chile - Informe 1 Diagnóstico Nacional e Internacional.

Ministerio del Medio Ambiente. (2023), Decreto 9 del MMA. Establece norma de emisión de contaminantes en planteles porcinos que, en función de sus olores, generan molestia y constituyen un riesgo a la calidad de vida de la población.

<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1188661>

Ministerio del Medio Ambiente. (2017). Decreto 31 del MMA. Establece plan de prevención y descontaminación atmosférica para la Región Metropolitana de Santiago.

<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1111283&idParte=>

Ministerio del Medio Ambiente. (2011). Decreto 12 del MMA. Establece norma primaria de calidad

ambiental para material particulado fino respirable mp 2,5.

<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1025202>

Poch Ambiental SA. (2016). Generación de Antecedentes Técnicos y Económicos para la Elaboración de Medidas para la Reducción de Emisiones en el Sector Agropecuario, en el marco del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA) para la Región Metropolitana de Santiago. <https://drive.google.com/drive/u/2/folders/1sU1GlivLvOiCiBmMwirjHxTdl37MWQEZ>