

“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”

Licitación ID: 688-16-LP23

INFORME FINAL

Preparado para:
ODEPA
Ministerio de Agricultura



Preparado por:



Centro de Cambio Global UC
Pontificia Universidad Católica de Chile
Av. Vicuña Mackenna 4860 - Campus San Joaquín - Santiago - Chile
Fono: 56-22- 354 79 11 - E-mail cambioglobal@uc.cl
www.uc.cl

Equipo de trabajo

Oscar Melo – Jefe de Proyecto - Experto Mitigación Cambio Climático sector Agricultura
omelo@uc.cl

Soledad Valenzuela – Coordinadora de Proyecto
svalenzuela@aaci.cl

Catalina Marinkovic De la Cruz – Experta mitigación Cambio Climático Sector Agricultura
cbmarink@uc.cl

Diego Gonzáles – Experto en mitigación al cambio climático del Sector UTCUTS

Francisco Meza – Experto en cultivos y mitigación al cambio climático
Fmeza@uc.cl

Horacio Gilabert - Experto en Bosques y mitigación CC

Rafael Larraín – Experto en Ganadería y mitigación Cambio Climático
larrain@uc.cl

Eduardo Arellano – Experto en Suelos y mitigación CC
eduardoarellano@uc.cl

Resumen Ejecutivo

El presente estudio tuvo como objetivo desarrollar insumos para sentar las bases del Plan Sectorial de Mitigación, incluyendo un diagnóstico sectorial, una propuesta de acciones de mitigación y medios de implementación asociados y el desarrollo de actividades de participación ciudadana para aportar antecedentes y validar las propuestas.

Los análisis y evaluaciones realizadas se enmarcaron en los compromisos que el país ha tomado para enfrentar el cambio climático, así como en las obligaciones y responsabilidad que le competen al Ministerio de Agricultura. Estos se estructuran en base a tres instrumentos claves: la Ley N°21.455 Ley Marco de Cambio Climático (LMCC, 2022), la Actualización de la Contribución Nacional Determinada (NDC 2020) y la Estrategia Climática de largo Plazo (ECLP 2050).

La LMCC establece como objetivo central la carbono neutralidad al 2050, y crea un marco jurídico para que el país enfrente el cambio climático en las áreas de mitigación y adaptación con una perspectiva de largo plazo, haciéndose cargo de los compromisos adquiridos en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y el Acuerdo de París. Además, define los Planes Sectoriales de Mitigación y establece que éstos deben incluir acciones y medidas destinadas a reducir o absorber gases GEI, en línea con los presupuestos establecidos para cada sector en la ECLP 2050.

El sector agricultura es el segundo emisor después de energía, siendo responsable del 11% de las emisiones. A su vez, el sector uso de la tierra, cambio del uso de la tierra y silvicultura (UTCUS) es el único que consistentemente absorbe CO₂ en el territorio nacional, lo cual, le otorga gran relevancia como alternativa de mitigación.

Si no se adoptan cambios en los sistemas agroalimentarios, la proyección de emisiones para el sector agricultura se estima con un alza de 2% al 2030, respecto de las emisiones de 2020. Este leve aumento proviene del incremento en las emisiones del ganado porcino, así como de fertilizantes inorgánicos, generando un presupuesto total de emisiones asignadas al Ministerio de Agricultura de 135,3 Mt CO₂eq, correspondiente al escenario de referencia. De acuerdo con los compromisos nacionales, el sector agrícola debe hacer un esfuerzo de reducción de 1,3 MtCO₂eq al 2030.

Para el sector UTCTUS, la tendencia de emisiones va en disminución, en lo que se refiere a capturas netas. Aun cuando para este sector no existe una meta de reducción de emisiones específicas, se espera que al 2050 pueda compensar las emisiones de los demás sectores. Existe una meta sectorial asignada de reforestación al 2030 de 200.000 ha, así como un crecimiento de 200.000 ha de la superficie con manejo sustentable y recuperación. Lo anterior permitiría aumentar las absorciones del sector, sin embargo, el estado de avance de dichas medidas es bajo.

Las categorías identificadas como principales emisoras GEI son fermentación entérica y suelos agrícolas, con el 80%, seguida por gestión de estiércol con el 14,5% y, luego, la aplicación de urea, cultivo de arroz, quemadas agrícolas y encalado, con una menor

participación. Dada esta contribución relativa a las emisiones, este documento se centra en medidas definidas en instrumentos anteriores, como ECLP y el Sistema Nacional de Prospectiva del Ministerio del Medio Ambiente, cuyo impacto pueda ser contabilizado en el presupuesto de emisiones asignado al sector agropecuario nacional.

Las medidas con el mayor potencial de mitigación son los biodigestores porcinos (953 ktCO₂eq), con un costo unitario de 21 USD/ton, seguido por el uso eficiente de fertilizante (229 ktCO₂eq), con un costo de -96 USD/ton, cuya adopción en ambos casos genera un beneficio más alto que su costo.¹

Con un potencial de reducción de emisiones más bajo están los biodigestores bovinos (68 ktCO₂eq) y el aditivo reductor de metano (44 ktCO₂eq), con un costo de 57 USD/ton y 119 USD/ton, respectivamente. Los menores potenciales de reducción de emisiones de GEI lo entregan el arroz reducido en metano (16 ktCO₂eq), con un costo de 189 USD/ton, y la reducción de quemas agrícolas (15 ktCO₂eq), esta última, sin embargo, con un costo negativo de -348 USD/ton, es decir, genera un beneficio neto.

También se presenta una evaluación de dos medidas adicionales, que no están incluidas en el inventario GEI, pero corresponden a prácticas productivas que están desarrollándose actualmente, estas son la ganadería regenerativa y el uso de energías renovables en la agricultura.

Para el desarrollo de las propuestas de medios de implementación, se realizó un análisis de cada uno de los sectores en los cuales se aplicarían estas medidas, y se levantó información con actores relevantes. Posteriormente, las propuestas fueron validadas en cuatro talleres de trabajo con participación de actores sectoriales: rubro bovino; rubro porcino; uso de fertilizantes; y otras medidas (arroz y quemas agrícolas).

Para cada medida de mitigación se propone entre una y tres medidas de medios de implementación, 12 en total. Estas corresponden a acciones que son necesarias para hacer posible la implementación de las medidas de mitigación, y se elaboraron a partir de un análisis de las brechas y riesgos que enfrenta cada una. Para cada medida de medio de implementación se presenta una ficha con detalles para su diseño.

Luego, se presentan medidas de mitigación complementarias, no analizadas previamente, sobre las cuales se hace una presentación cualitativa. Así, para la dieta bovina se propone: optimización de la dieta, incorporación de aceites y grasa, uso de algas marinas, uso de taninos. Para gestión del estiércol: adición de acidificantes, inyección de purín al suelo, uso de cubiertas en pozos purineros, separación de las fracciones líquidas y sólidas, incorporación de subproductos vegetales, manejo de pozo purinero, por último, para suelos agrícolas: uso de biocarbón, manejo agroambiental de suelos, y eficiencia energética en riego.

¹ Se debe tener en cuenta que los costos de las medidas de mitigación no consideran los gastos asociados a las medidas auxiliares (medios de implementación), requeridas para su adopción. .

A partir de los talleres con expertos surge un análisis de las medidas de mitigación y de las medidas de medios de implementación. A continuación, se presenta los principales comentarios para cada una.

Las medidas de mitigación propuestas para el sector bovino, tanto los biodigestores como el aditivo reductor de metano, tendrán un impacto limitado, ya que serían implementadas en un 10% y 20% de los sistemas productivos en confinamiento, lo que a su vez, corresponde al 10% de la masa ganadera nacional.

Quedaría entonces el desafío de diseñar medidas de mitigación orientadas a la producción de ganadería bovina en sistemas pastoriles. En el proceso participativo se identificaron otras opciones de mitigación que, actualmente, se están desarrollando o investigando en dichos sistemas, y que serían interesantes de adoptar en el mediano plazo.

Además, en el caso del aditivo reductor de metano para sistemas confinados, se identificó como una debilidad importante, el que no tengan ningún impacto en la rentabilidad del productor, por lo cual, no hay incentivo directo para el uso de este suplemento en la dieta.

La medida de uso eficiente de fertilizantes se evaluó como positiva y factible, sin embargo, es necesario contar con información más detallada de la realidad del uso de fertilizantes a nivel nacional para diseñar los medios de implementación más efectivos.

Existen investigaciones aplicadas realizadas por INIA, que demuestran que es posible producir lo mismo con menos fertilizante, por lo cual, es crítico que el productor sepa qué, cuándo y dónde utilizarlo. También se identificaron opciones de uso de fertilizantes orgánicos, como alternativa de menos emisión GEI.

Los biodigestores porcinos corresponden a la medida con mayor potencial de mitigación, sin embargo, hoy sólo el 20% de la producción de purines está con tratamiento primario, y en condiciones para implementar biodigestores. Estas corresponden a empresas porcinas de tamaño mediano y pequeño, con importantes limitaciones financieras y crediticias, lo que les impide afrontar las inversiones y costos de operación asociados a esta medida.

Será fundamental que las medidas de medios de implementación diseñen un programa con incentivos efectivos, que viabilicen este cambio tecnológico, más aun, considerando que esta medida tendría un impacto positivo sobre la reducción de olores, otorgando una opción importante para que estas empresas se mantengan operativas.

En el caso del arroz reducido en metano, se evalúa como una medida factible, pero, dado que estaría dirigida principalmente a pequeños productores, se observa como fundamental que exista difusión, capacitación e incentivos económicos para su adopción. De la misma forma, la reducción de quemas agrícolas será factible si se realiza mayor difusión y capacitación, y se aplican los incentivos directos al productor, tales como, una buena ponderación a la práctica de incorporar rastrojos en los

programas de fomento o de financiamientos dirigidos a la agricultura familiar campesina.

Finalmente, se puede concluir que algunas de las medidas evaluadas deberían ser ajustadas para lograr una mayor viabilidad y efectividad, de acuerdo con la realidad de cada uno de los sectores. Al mismo tiempo, es fundamental la difusión, la capacitación y la transferencia tecnológica para la adopción de buenas prácticas, así como diseñar sistemas de incentivos económicos para la implementación de las medidas de mitigación propuestas.

Existen otras medidas para la reducción de emisiones y/o mayores capturas de CO₂, que podrían ser incorporadas en el plan nacional de mitigación del sector, aunque su reducción no sea contabilizada en el presupuesto y metas del sector agropecuario, como por ejemplo, la incorporación de energías renovables en los sistemas productivos agropecuarios y las prácticas de ganadería regenerativas.

Índice

I. Introducción	8
II. Objetivos Generales y Específicos	9
1. Objetivos específicos	9
III. Diagnóstico sectorial Agricultura	11
1. Presentación del sector.....	11
2. Descripción de las emisiones GEI del sector	17
3. Análisis de Tendencias del sector	23
4. Análisis de cumplimiento del sector	29
IV. Diagnóstico sectorial UTCUTS	31
1. Presentación del sector.....	31
2. Descripción de las emisiones GEI del sector	32
3. Análisis de Tendencias del sector	36
4. Análisis de cumplimiento del sector	41
V. Caracterización de Medidas de mitigación.....	42
1. Costos y Potencial de mitigación	42
2. Análisis de brechas institucionales, técnicas, legales y económicas.....	47
VI. Medios de Implementación.....	61
VII. Medidas Complementarios.....	76
VIII. Resultado talleres con expertos	82
IX. Conclusiones	85
X. Referencias.....	88
XI. Anexos.....	93
1. Anexo 1 : Fichas de Medidas de Mitigación.....	93
2. Anexo 2 Material de Difusión : Trípticos.....	98

I. Introducción

El presente documento corresponde al informe final del estudio “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”, contratado por ODEPA (ID 688-16-LE23) y realizado por el Centro Cambio Global UC, de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Este estudio se enmarca en los compromisos que el país ha tomado para enfrentar el cambio climático, y los compromisos y responsabilidad que le competen al Ministerio de Agricultura. Estos se estructuran en base a tres instrumentos claves: la Ley N°21.455 Ley Marco de Cambio Climático (LMCC, 2022), la Actualización de las Contribución Nacional Determinada (NDC 2020) y la Estrategia Climática de largo Plazo (ECLP 2050).

La LMCC establece como objetivo central la carbono neutralidad al 2050, y crea un marco jurídico para que el país enfrente el cambio climático en las áreas de mitigación y adaptación con una perspectiva de largo plazo y haciéndose cargo de los compromisos adquiridos en CMNUCC y el Acuerdo de París. La actualización de la NDC propuso alcanzar un máximo de emisiones el año 2025, una meta absoluta el año 2030, y un presupuesto máximo de emisiones en el periodo 2020-2030, mientras que la ECLP 2050 define un esquema y asignación de presupuestos sectoriales de emisiones GEI máximas para cada uno de los sectores en el periodo 2020-2030.

La LMCC define los Planes Sectoriales de Mitigación y establece que estos deben incluir acciones y medidas destinadas a reducir o absorber gases GEI en línea con los presupuestos establecidos para cada sector en la ECLP 2050, siendo definidos los ministerios de Energía, de Transporte y Telecomunicaciones, de Minería, de Salud, de Obras Públicas, de Vivienda y Urbanismo, y de Agricultura.

El sector agricultura es el segundo emisor después de energía, siendo responsable de un 11% de las emisiones, mientras el sector uso de la tierra, cambio del uso de la tierra y silvicultura (UTCUS) es el único que consistentemente absorbe CO₂ en el territorio nacional, lo que le da una gran relevancia para lograr la carbono neutralidad. Lo anterior implica que el costo-beneficio de implementar medidas en estos sectores es mayor que la de los otros sectores emisores, Sin embargo, la implementación de medidas de mitigación en este sector enfrenta dos desafíos importantes, la limitada cantidad de acciones y medidas disponibles que muestren ser efectivas, y alcanzar el correcto diseño para la implementación de dichas medidas.

En este informe se presentan los resultados del estudio dando cumplimiento a todos los objetivos propuestos en el estudio y a los productos esperados.

II. Objetivos Generales y Específicos

Producir los insumos para sentar las bases del Plan Sectorial de Mitigación, que considere la elaboración de un diagnóstico sectorial, propuesta de acciones de mitigación y medios de implementación asociados y desarrollo de actividades de participación ciudadana para aportar antecedentes para el desarrollo del Plan Sectorial de Mitigación del sector silvoagropecuario, utilizando información actualizada, basado en la última evidencia disponible y considerando la coherencia con otros instrumentos de política pública climática a nivel nacional y sectorial.

1. Objetivos específicos

- Caracterizar el perfil de emisiones de GEI del sector para poder identificar el ámbito de acción de mitigación desde el punto de vista de la autoridad sectorial.
- Analizar las tendencias de emisiones y remociones de GEI del sector silvoagropecuario a nivel nacional con el objetivo de identificar cambios y tendencias de las principales fuentes de emisiones sectoriales de acuerdo con la temporalidad utilizada en el último inventario nacional de gases de efecto invernadero.
- En base a los análisis se deberán proponer acciones de mitigación en el sector silvoagropecuario y sus efectos incluyendo los lineamientos, metodología y supuestos de la NDC, la ECLP, LMCC, la ENCCRV, la Guía, estudio BID y otros documentos relevantes.
- Proponer medios de implementación y/o instrumentos de política pública que permitan ejecutar e implementar acciones y medidas de mitigación de GEI en el sector agropecuario, de acuerdo con los lineamientos de la LMCC, NDC, ECLP, la Guía y considerando inputs del estudio BID.
- Proponer y realizar actividades de participación ciudadana según lo establecido en la normativa, considerando un mínimo de cuatro talleres virtuales de participación ciudadana para obtener inputs de los actores involucrados que sirvan para aportar antecedentes a los elementos del Plan, incluyendo análisis de resultados. Los actores deben incluir representantes del sector público, ONGs, sector privado, academia y otros grupos de interés a definir con la contraparte. Estos se deben llevar a cabo de acuerdo a los lineamientos de participación ciudadana contenidos en la LMCC y los reglamentos respectivos. Hay que considerar que esta actividad es transversal a todas las etapas y actividades del proyecto, y es especialmente relevante para alimentar la actividad 3 y 4.
- Generar material de difusión adecuado para productores agrícolas y forestales sobre acciones y prácticas de mitigación al cambio climático en al menos tres rubros relevantes a definir, así como material respecto a la importancia para el sector de contar un plan de mitigación y sus beneficios.

- Todos los puntos anteriores deberán considerar los antecedentes respecto a la transversalización de perspectiva de género en los planes sectoriales de mitigación y adaptación al cambio climático desarrollada por el MMA y el Ministerio de la Mujer y la Equidad de Género.

III. Diagnóstico sectorial Agricultura

1. Presentación del sector

a. Descripción general del sector

El sector Agropecuario ha sido un motor para el desarrollo del país a través del fortalecimiento de su cadena de valor en la producción de alimentos para el abastecimiento del mercado nacional e internacional.

El modelo agroexportador de Chile ha sido exitoso gracias a que se ha sustentado en sus grandes ventajas comparativas como la producción contra temporada, y las ventajas competitivas como el patrimonio fito y zoonosanitario, el profesionalismo de los productores, la estabilidad política y social y los beneficios entregados por los múltiples acuerdos de libre comercio. El valor exportado se ha duplicado en los últimos 13 años, tanto en el sector agrícola como pecuario (**Figura 1**), y actualmente lidera el mercado internacional de algunos productos frutícolas como las cerezas y las ciruelas secas. Los principales socios comerciales son China, Estados Unidos y Japón. Los rubros con mayor desarrollo exportador en la última década son la fruta fresca, el vino, las frutas procesadas y las carnes (porcina, de aves y de vacuno).

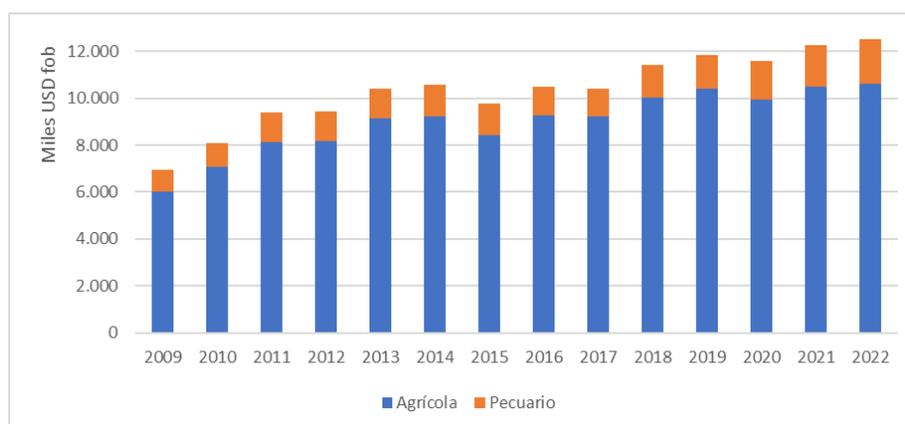


Figura 1 Evolución de las Exportaciones Agropecuarias.

Fuente: Elaboración propia con información de ODEPA

Lo anterior ha ayudado a que el PIB Silvoagropecuario (SAP) haya mantenido su participación en el PIB Nacional entre 3,1 y 3,6% entre los años 2018 a 2021. El año 2022 ha marcado la participación más baja con un 2,8% (Tabla 1). Las regiones que tienen una mayor participación en el PIB SAP corresponden a O'Higgins, Maule, Metropolitana y Valparaíso.

Es importante destacar que el sector silvoagropecuario tiene un encadenamiento hacia adelante a través de la elaboración de productos alimenticios y madereros. Foster y Valdés (2013) estimaron el aporte de la industria del procesamiento de alimentos (incluyendo pesca) en 3,94 puntos del PIB, considerando como base el año 2008. Este valor sube a 5,27 con valores actualizados al 2015 (Odepa, 2019). Esto implica que el PIB

Silvoagropecuario Ampliado, considerando la producción primaria y el procesamiento industrial, alcanzaría aproximadamente al 8,3% del PIB nacional.

Tabla 1 PIB Silvoagropecuario

Año	PIB del Sector Silvoagropecuario	Participación en el PIB Nacional
	Miles de millones de pesos	%
2018	6.050	3,2
2019	5.989	3,2
2020	6.033	3,6
2021	6.284	3,1
2022	6.290	2,8

Nota: Cifras preliminares para 2021 y provisionales para 2022.

* Participación por clase de actividad económica, series empalmadas, referencia 2018. Participación se calcula sobre precios corrientes.

Fuente: Elaboración propia con Información de ODEPA

En cuanto al empleo que genera el sector, las estadísticas oficiales señalan que la ocupación en los sectores de agricultura, ganadería, silvicultura y pesca ha representado entre un 6,8% y 5,4% en el último año, mostrando una marcada estacionalidad como se muestra en la Figura 2. En ella también se evidencia que la baja en la tasa de ocupación sufrida en el año 2020 por la pandemia no ha logrado recuperarse.

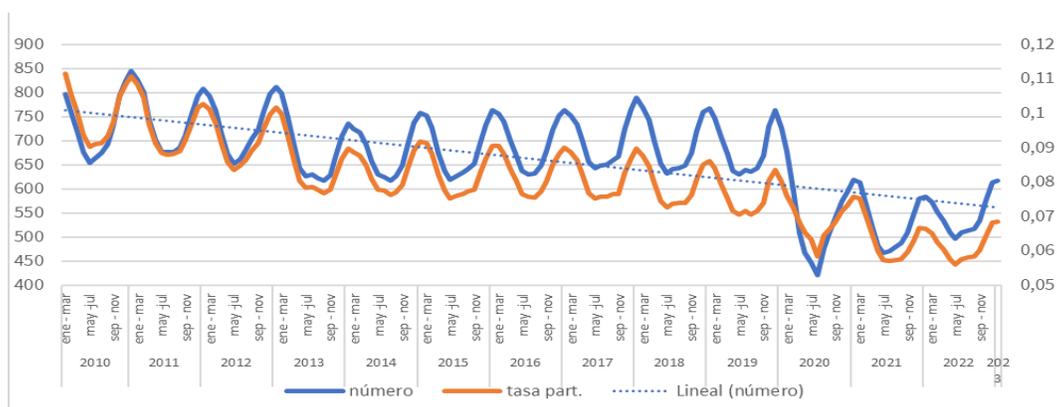


Figura 2 Ocupación en Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Pesca.

Fuente: ODEPA, Boletín de empleo, abril 2023

1.1 Cifras del Sector

De acuerdo con el último Censo Nacional Agropecuario y Forestal (INE) realizado durante el año 2021, se registraron 45.742.565 hectáreas en el territorio nacional, que corresponden a 138.628 unidades productivas agropecuarias (UPA) equivalentes. Además, se identificaron 36.928 unidades de autoconsumo que totalizan 31.854

hectáreas, estas unidades corresponden a terrenos con superficie menor a 2 ha y que no realizaron ventas en el año agrícola 2020-2021.

Según los usos de suelo para el año 2020-2021, un 4,0% de la superficie total, equivalente a 1.807.819 hectáreas, fue destinado a cultivos de cereales, leguminosas, tubérculos, cultivos industriales, hortalizas, hongos, plantas aromáticas-especies-medicinales, frutales, vides, flores, semilleros, viveros, césped, forrajeras y praderas mejoradas.

De acuerdo con las cifras censales, la superficie cultivada se distribuye en 528.291 hectáreas de praderas mejoradas, 431.774 hectáreas de cereales, 374.809 hectáreas de frutales, 213.717 hectáreas de forrajeras, 100.811 hectáreas de vides para vinificación y uvas pisqueras, 64.091 hectáreas de hortalizas, hongos, aromáticas, medicinales y condimentarias, 52.999 hectáreas de cultivos industriales, 50.105 hectáreas de leguminosas y tubérculos, 19.260 hectáreas de semilleros, 3.298 hectáreas de viveros y césped y 956 hectáreas de flores de corte.

La producción ganadera está concentrada en aves, cerdos y bovinos. Las cifras del Censo registran 59 millones de cabezas de gallinas y pollos; 2,6 millones de cabezas de porcinos, 2,5 millones de ovinos; 2,4 millones de bovinos; 2,2 millones de pavos, 333 mil caprinos, 284 mil otras aves (patos, gansos, emúes, codornices); 168 mil equinos, 29 mil conejos, 36 mil llamas y alpacas. Otras especies con 5.000 unidades o menos son asnales, ciervos, jabalís.

En 2022, la producción nacional de todas las carnes fue de 1.554.460 toneladas en vara por un valor de 2.700 millones de dólares, siendo la producción de aves el sector con mayor volumen. El consumo nacional, por su parte, alcanza un total de 1.477.552 toneladas, de las cuales el 47% corresponde a carne de ave (pollo y pavo), el 30% corresponde a carne bovina, un 21% a carne de cerdo y el restante a carne ovina.

En cuanto a la caracterización de la superficie destinada a producción, se encuentran agrupadas en 5 categorías. Un 7% de los predios catastrados corresponden a superficies menores a 1 hectárea, un 66,3 % corresponde a predios de 1 a 20 hectáreas, un 19,3% son predios de 20 a menos de 100 hectáreas, y un 5,4% de 100 a menos de 500 hectáreas y un 2,0% de 500 hectáreas o más.

1.2 Cultivos

Los principales cultivos anuales en el país son trigo, avena, maíz, papa. Para el caso del trigo sus usos apuntan a la elaboración de harina, harina integral, sémola, pastas (trigo candeal). Chile, con su oferta interna no abastece la demanda nacional siendo necesaria la importación. La avena se utiliza, tanto para la alimentación de ganado (forraje y/o grano), como también como materia prima industrial para la elaboración de láminas de avena, aplastadas o enteras y en otras presentaciones de mezclas de cereales, preparados energéticos (barras), granolas, galletones y hojuelas. Es el único cereal de exportación.

Maíz, se puede clasificar en tres usos, como maíz grano que es utilizado para la alimentación de ganado, maíz consumo para la alimentación humana sea fresco o

procesado (congelado o conservado) y maíz semilla, que es la única línea de producción que es exportada. Papa, sus usos son consumo fresco, insumo para un mayor procesamiento y para semillas. En las exportaciones destacan los preparados sin congelar y papas para semilla.

Entre las especies frutales, destaca la producción de cerezos, nogal, uva de mesa, palta, arándanos. La producción frutícola se divide en producción para fresco, producción para procesamiento (congelados, conservas, deshidratados, jugos, aceites) y producción de frutos secos (nueces, almendras, avellanas, y otros frutos de nuez). Según su importancia en las exportaciones, y a grandes rasgos, se estima que cerca del 70% de la producción nacional se destina para mercado fresco, alrededor de 20% se destina para procesamiento y los frutos secos concentran alrededor de 10% (Odepa, 2020).

1.3 Ganado

La producción pecuaria se concentra principalmente en aves (pollos y pavos), cerdos y bovinos. El destino de la producción es tanto para consumo interno como para exportación. En el caso de la carne de aves y cerdo el país tiene la capacidad de autoabastecerse, sin embargo, las condiciones competitivas que han entregado los acuerdos comerciales incentivan a que algunos cortes sean más valorados en los mercados internacionales, y el abastecimiento nacional de esos cortes se haga con productos importados. En las carnes de pollo y pavo se exporta el 30% y 41% de la producción, respectivamente. En tanto, la carne de cerdo se destina mayoritariamente para la exportación un 69%.

En el caso de la carne bovina Chile es deficitario, y se importa aproximadamente el 50% del consumo nacional. Sin embargo, también hay oportunidades de exportación interesantes, especialmente en los mercados asiáticos, exportándose el 15%.

Parte de las existencias de ganado bovino, se destina a la industria láctea. Chile tiene una moderna lechería, que cuenta con más de 4.500 productores comerciales, especialmente concentrados en las regiones de Los Ríos y Los Lagos. El país dispone de 1 millón de hectáreas de praderas y más de 580 mil vacas lecheras, junto con 31 grandes plantas lecheras y casi una centena de queseras de tamaño medio y pequeño. La producción de leche al año 2021 alcanza a 2.218 millones de litros y genera 370 mil toneladas de quesos y leches en polvo y otros derivados.

1.4 Consumo de energía y agua

El estudio del Escenario Energético del Sector Agroalimentario, desarrollado en el marco del proyecto *Smart Energy Concepts* de CAMCHAL y AChEE³ estimó que la principal fuente de energía es a base de combustible, representando el 68% del consumo de

³ <https://www.agrificiente.cl/> . CAMCHAL: Cámara Chileno-Alemana. AChEE: Agencia Chilena de Eficiencia Energética

energía, mientras que la fuente eléctrica alcanza el 32%. El sector agroalimentario⁴ desarrolla una diversidad de procesos productivos que requieren de energía para la obtención el producto final, y que se pueden agrupar en tres: Procesos mecánicos, procesos de frío y procesos de calor (Figura 3).

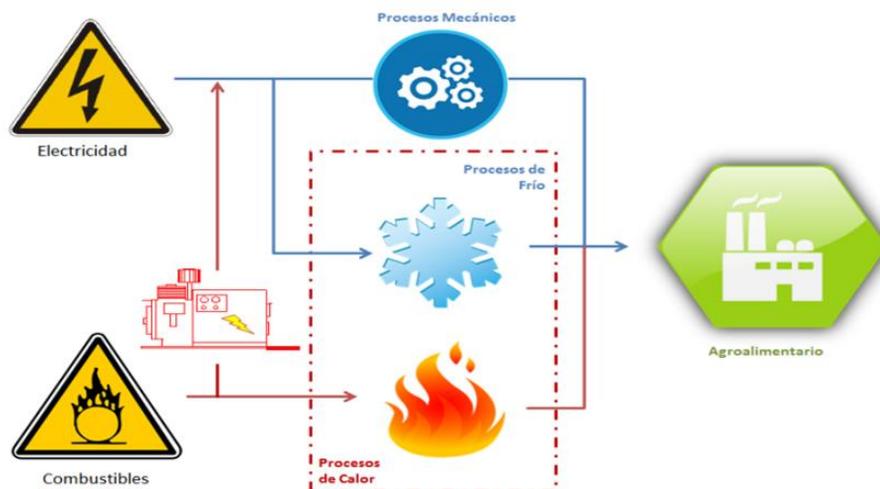


Figura 3 Esquema de los Procesos del Sector Agroalimentario que requieren energía.

Fuente: Estudio Escenario Energético del Sector Agroalimentario.

Los combustibles más utilizados son GLP (36%), Diesel (35%), Petróleo (12%), luego siguen gas natural, carbón, pellets y otros. El estudio antes mencionado plantea que se pueden aplicar una serie de medidas para alcanzar mejores eficiencias energéticas, principalmente asociadas al uso de combustible (64% del potencial de ahorro energético) enfocado en los procesos de generación y distribución de calor.

En relación al uso del agua, el sector agrícola concentra el mayor consumo de agua en el país, concentrando aproximadamente un 73% del recurso, lo que permiten regar 902.158 hectáreas (Odepa, 2023⁵). Al mismo tiempo el Estudio de Escenarios Hídricos 2030 (2018) señala que el sector agrícola de riego concentra el 35,5% de los derechos de agua consuntivos permanentes registrados en el Catastro Público de Aguas.

1.5 Arreglos Institucionales

Dada la importancia del sector agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra en el potencial de mitigación de las emisiones GEI, el Ministerio de Agricultura ha desarrollado una gobernanza para enfrentar los desafíos del Cambio Climático y ser una parte activa de la estrategia climática de largo plazo. Así da cumplimiento a la Ley Marco de Cambio Climático que define al Ministerio como una autoridad competente en materia

⁴ Fueron analizados los sectores: agricultura (frutícola), ganadería (ganadería intensiva), acuícola, elaboración de fruta, elaboración de carnes, elaboración de conservas y congelados de pescado y moluscos, elaboración de lácteos y vitivinícola.

⁵ Citando el VIII Censo Nacional Agropecuario y Forestal, año agrícola 2020 – 2021.

de cambio climático y que tiene la responsabilidad de elaborar e implementar un plan de mitigación y un plan de adaptación al cambio climático, hacer seguimiento de las medidas de dichos planes, incorporar criterios de mitigación y adaptación en políticas, programas, planes e instrumentos sectoriales, entre otras.

En la Figura 4 se presenta la estructura operativa institucional, donde se muestra que Odepa lidera el accionar de las instituciones del Ministerio y coordina los puntos focales que participan en el Comité Técnico Interministerial de Cambio Climático (CTICC).

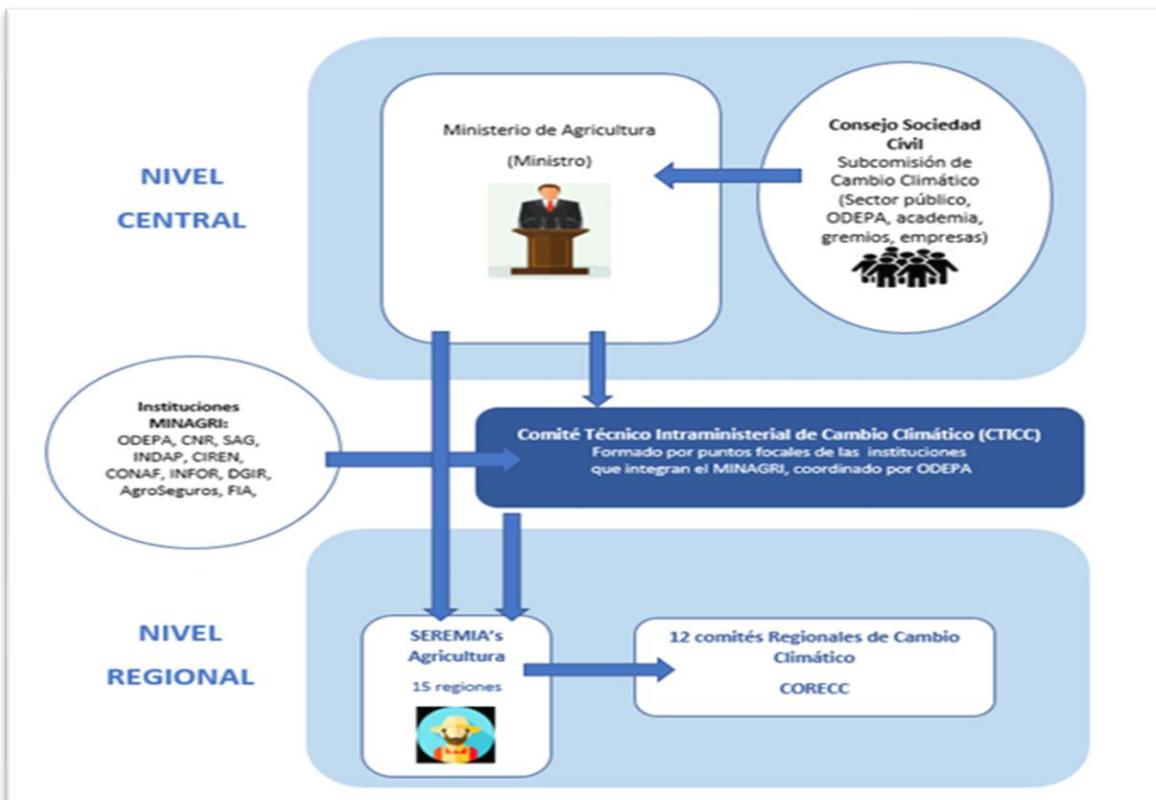


Figura 4 Estructura Operativa del Marco Institucional Silvoagropecuario de Cambio Climático. Fuente: Odepa, 2023.

2. Descripción de las emisiones GEI del sector

En la siguiente sección se describe las emisiones sectoriales, tendencias de factores y fuentes de emisión.

a. Presentación de emisiones sectoriales de GEI

Actualmente, el sector Agricultura es el segundo sector que más emite representando el 10.6% (11.237,7 KtCO₂eq) de las emisiones brutas a nivel nacional para el año 2020 presentado en el último Informe de Inventario de Gases Efecto Invernadero de Chile 1990-2020 (Ministerio del Medio Ambiente, 2023). Por tipo de GEI, el sector Agricultura es responsable del 0.5% de las emisiones de CO₂, de un 40% de las emisiones de CH₄ y 77% de las emisiones de N₂O. Las emisiones del Sector Agricultura se dividen en 6 categorías principales, siguiendo los lineamientos y Directrices del IPCC, en el orden que presenta la Figura 5.

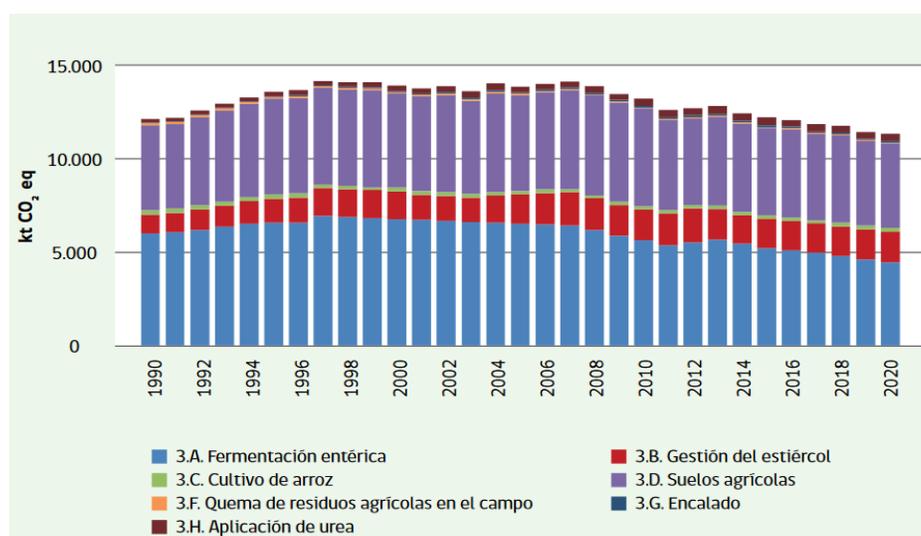


Figura 5 Emisiones de GEI (KtCO₂eq) del Sector Agricultura por categoría Serie 1990-2020 Fuente: MMA, 2023

3.A. Fermentación entérica: Esta categoría incluye las emisiones de CH₄ generadas por la fermentación entérica que se produce en los sistemas digestivos de los animales. La categoría está conformada por las subcategorías siguientes:

- 3.A.1. Ganado bovino
- 3.A.2. Ovinos
- 3.A.3. Porcinos
- 3.A.4. Otras especies

La categoría 3.A Fermentación entérica es la segunda categoría en importancia del sector Agricultura, representando un **39,4%** de las emisiones totales, aportando con un total de 4.426,1 KtCO₂eq para el año 2020. La principal subcategoría que aporta más emisiones corresponde a las emisiones provenientes del 3.A.1 Ganado Bovino, aportando el 87% de las emisiones de la categoría (3.830,3 KtCO₂eq), seguido por la

subcategoría 3.A.2 Ovinos, contabilizando 294,5 ktCO₂eq en 2020. Las fuentes de emisión de esta categoría provienen del ganado, principalmente de animales rumiantes que generan metano como subproducto de sus procesos digestivos.

3.B Gestión del estiércol: Esta categoría incluye las emisiones de CH₄ y N₂O (directas e indirectas) generadas por los sistemas de producción animal, en particular, la de los sistemas para el almacenamiento del estiércol. La categoría está conformada por las siguientes subcategorías:

- 3.B.1. Ganado bovino
- 3.B.2. Ovinos
- 3.B.3. Porcinos
- 3.B.4. Otras especies

Esta categoría es la tercera en importancia aportando el **14.5%** de las emisiones totales del sector, contabilizando 1.627,5 ktCO₂eq. La subcategoría que se contabilizan mayores emisiones corresponde a las emisiones provenientes de 3.B.3 Porcinos, aportando el 68% de las emisiones de la categoría, con un total de 1.085.9 ktCO₂eq, seguida por 3.B.1 Ganado bovino, con un 17% de las emisiones. Las fuentes de emisión de esta categoría provienen de los animales en que sus excretas se tratan bajo sistemas con almacenamiento de estiércol.

3.C Cultivo de Arroz: Esta categoría incluye emisiones de CH₄ generadas por la descomposición anaeróbica de material orgánico en arrozales inundados, que se libera a la atmósfera fundamentalmente a través de burbujas en el agua y mediante el transporte a través de las plantas del arroz. Esta categoría es la quinta en importancia de emisiones, aportando un 1.6% de las emisiones totales del sector, equivalente a 192,4 ktCO₂eq en 2020.

3.D Suelos Agrícolas: Esta categoría incluye emisiones directas e indirectas de N₂O. Las emisiones (3.D.1) corresponden a aquellas generadas desde la superficie de los suelos producto de procesos microbianos asociados a la aplicación de nitrógeno por diversas fuentes. Las emisiones indirectas (3.D.2) corresponden a aquellas generadas por la volatilización de nitrógeno posterior a la aplicación de nitrógeno, y lixiviación y agotamiento de nitrógeno, mineralización/inmovilización de nitrógeno vinculada a la ganancia/pérdida de materia orgánica del suelo resultante del cambio del uso de la tierra o de la gestión de suelos minerales; y el drenaje/gestión de suelos orgánicos (histosoles). Las componentes de ambas subcategorías corresponden a:

- 3.D.(1. a., 2.a.i, 2.b.i) Fertilizantes inorgánicos
- 3.D. (1. b, 2.a.ii, 2.b.ii) Fertilizantes orgánicos
- 3.D. (1.c, 2.a.iii, 2.b.iii). Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo
- 3.D. (1. d, 2.b.iv) Residuos de cosechas
- 3.D.1.f. Cultivos de suelos orgánicos (histosoles)
- 3.D.2.b.v. Mineralización asociada a la pérdida/ganancia de MO del suelo

La categoría 3.D Suelos Agrícolas es la categoría que más aporta emisiones del sector, con un total de 4.475,2 ktCO₂eq en 2020, representando el **39.8%** de las emisiones

totales. Dentro de las subcategorías, la que más aporta emisiones corresponde a las provenientes de orina y estiércol depositado por animales de pastoreo con 1.983.2 KtCO₂eq, que representan un 44% de las emisiones de la subcategoría (incluyendo emisiones de N₂O directas e indirectas), seguido por las emisiones por aplicación de Fertilizantes inorgánicos que aportan 1.410.4 KtCO₂eq, representando un 32% de la subcategoría.

3.F Quema de residuos agrícolas en el campo: Esta categoría incluye las emisiones de N₂O y CH₄ generadas por la quema de residuos agrícolas en el campo. La categoría está conformada por las siguientes subcategorías:

- 3.F.1 Cereales y otros cultivos
- 3.F2 Frutícolas

Esta categoría es la séptima en nivel de importancia, representando el 0.4% de las emisiones totales para el sector, contabilizando 45.7 ktCO₂eq

3.G Encalado: Corresponde a las emisiones de CO₂ generadas por el uso de calcita y dolomita en los suelos agrícolas, así como en suelos de bosques gestionados o lagos, ya que la cal al disolverse libera bicarbonato (2HCO₃⁻), que se convierte en CO₂ y agua (H₂O). La categoría está conformada por las siguientes subcategorías:

- 3.G.1: Caliza
- 3.G2: Dolomita

Esta categoría es la sexta en nivel de importancia, representando el 0.6% de las emisiones totales para el sector, contabilizando 67.6 ktCO₂eq.

3.H Aplicación de Urea: Corresponden a las emisiones de CO₂ que se generan producto de la aplicación de urea a los suelos cultivados. Esta categoría corresponde a la cuarta categoría en importancia de emisiones, representando un 3.6% de las emisiones totales, aportando 403.3 kt CO₂eq.

Además de las categorías propias del sector Agricultura, al Ministerio de Agricultura se les han asignado en su presupuesto sectorial de emisiones de las subcategorías 1.A.2.e. Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco y 1.A.4.c. Agricultura / Silvicultura / Pesca / Piscifactorías.

1.A.2.e. Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco: Incluye las emisiones de GEI generadas por la quema de combustibles fósiles en la industria de producción de azúcar. Para el último año del INGEI se reportaron 198.8 ktCO₂eq, representando 1.3% de las emisiones de la subcategoría 1.A.2 Industrias Manufactureras y de la construcción. Al considerar esta categoría en las emisiones asignadas al Ministerio de Agricultura, representan el 1.6% del total de emisiones asignadas para el año 2020.

1.A.4. c. Agricultura / Silvicultura / Pesca / Piscifactorías: Aquellas emisiones asociadas a las quemadas de combustible para uso energético incluyendo las bombas, secado de granos, maquinaria y pesca estacionaria y móvil. Las emisiones de esta categoría reportaron 800.8 ktCO₂eq en 2020, representando 10.8% de las emisiones de la

subcategoría 1.A.4 Otros sectores. Considerando las categorías asignadas al Ministerio de Agricultura, esta categoría representa 6.5% del total de emisiones.

b. Factores que determinan la tendencia de GEI

En el sector Agricultura, existen tres actividades claves, a los cuales se les atribuye aproximadamente un 80% de las emisiones para el año 2020, siendo estas el ganado bovino, ganado porcino y el uso de fertilizantes inorgánicos, representando aproximadamente un 57%, 13% y 12% de las emisiones totales del sector, respectivamente. En la siguiente sección se detallan aquellos factores y variables que permiten comprender la tendencia de los GEI, el crecimiento de ciertas actividades productivas y los impulsores que subyacen a dichas actividades.

Ganado Bovino

Al desagregar las emisiones del sector por tipo de fuente, el ganado bovino, emite aproximadamente un **50%** de las emisiones del sector ganadero al considerar las emisiones de 3. A.1 Fermentación Entérica, 3. B.1 Sistemas de Gestión del Estiércol y las emisiones de N₂O de 3.D Suelos Agrícolas, por orina y estiércol depositado por animales de pastoreo.

De acuerdo con el último Censo Silvoagropecuario de 2021, en el país la masa ganadera bovina alcanzaría 2.5 millones de cabezas, 33% menos que el censo de 2007 (Aguirre, 2022). Si bien es una tendencia a la baja, el consumo de carne ha ido en aumento, con una tasa de crecimiento anual de 1.2% alcanzando el 2017 un consumo aparente⁶ de 26.7kg carne bovina/per cápita (Rojas, 2019), y se espera que este siga en aumento debido al crecimiento esperado de los ingresos y de la población. El crecimiento económico es un impulsor relevante del consumo de carne, donde existe una correlación entre el aumento del PIB y un aumento del consumo de carne per cápita (OECD & FAO, 2021), donde por cada 650 USD/per cápita de aumento, se observa un incremento de 1.5% del consumo de carne (basado en estimaciones del periodo 2000-2019) (Whitton et al., 2021).

Respecto a la producción y consumo de carne de vacuno, aproximadamente un 50% del consumo es de producción nacional, y un 8% de la producción nacional se exporta (promedio de los últimos 5 años 2017-2022), es decir, la producción nacional se destina casi en su totalidad al consumo interno (92%). Las importaciones provienen, en su mayoría de países con riesgo aftósico, con precios más bajos (Rojas, 2019), dejando al mercado nacional menos competitivo. Sin embargo, según informe Perspectivas Agrícolas 2022-2031, en Chile se prevé un crecimiento de la producción de carne de vacuno de un 0.55% anual (OECD & FAO, 2021). Sin embargo, el aumento de la demanda en los últimos años no refleja un aumento de la producción nacional.

Dentro de los principales desafíos que presenta la industria de la carne bovina a nivel cadenas de producción, se destaca la necesidad de mejorar la comunicación y coordinación entre los eslabones de la cadena y la necesidad de implementar en forma masiva la utilización de tecnologías de gestión y de producción disponibles,

⁶ Consumo aparente = (Producción - exportación + importación) / población

especialmente en el eslabón de productores de animales (Larraín et al., 2018). Si no se atienden dichos requerimientos, es posible que la industria de la carne bovina y ovina en Chile presente dificultades, perdiendo competitividad.

Para la industria láctea a nivel mundial, se destaca que solo un 7% de la producción de leche se comercializa a nivel internacional, por lo que los productores y consumidores se ven afectados principalmente por la evolución del mercado nacional. Se supone que los precios locales de productos lácteos siguen la tendencia general de los precios de costos marginales reales de producción, es por esto por lo que está sujetos a una gran variabilidad causada por los efectos meteorológicos estacionales y condiciones de mercado local (OECD & FAO, 2021). La producción nacional se concentra en leche fluida, abasteciendo casi en un 100% al consumo nacional, y solo un 2% del consumo nacional es importado. En Chile, las exportaciones de productos lácteos alcanzan valores menores que las importaciones, tendencia que se ha mantenido durante los últimos 5 años (Tapia, 2021). Según el informe de Perspectivas Agrícolas 2022-2031, en Chile se prevé un crecimiento de la producción de leche 0.75% anual al 2031, pero proyecta una disminución de las cabezas de ganado lechero, esperando un aumento en los rendimientos del sector (OECD & FAO, 2021).

Ganado Porcino

Al ganado porcino se le atribuyen aproximadamente un 12.3% de las emisiones sectoriales, al sumar las emisiones provenientes de la categoría 3.A Fermentación Entérica, 3.B, Gestión del Estiércol, y 3.D Suelos Agrícolas, en la subcategoría Fertilizantes orgánicos (se asume que parte del estiércol excretado en los sistemas de confinamiento se aplican posteriormente como sustrato en suelos).

La producción de carne de cerdo se ha duplicado en las últimas tres décadas y se proyecta que su demanda aumente 32% al 2030. En Chile, esta realidad no ha sido ajena, y las existencias de cerdos se triplicó desde 1990 a 2007 (Ministerio del Medio Ambiente, 2023), pasando de aproximadamente 1 millones de cabezas a 3, en menos de 17 años. Sin embargo, esta tendencia se ha mantenido relativamente estable durante los últimos 10 años (Acuña & Pizarro, 2019). Chile ha aumentado el volumen exportado en ocho veces entre el año 2000 y 2018, llegando a posicionarse dentro de los cinco mayores exportadores de carne de cerdo a nivel mundial (Aguirre, 2021).

La industria porcina en Chile se caracteriza por desarrollarse en sistemas intensivos, con altos niveles de tecnología integrada en pocos eslabones de la cadena, concentrada en pocos actores, y enfocada principalmente en la exportación. Entre los desafíos que presenta la industria, destacan los temas ambientales y la relación con las comunidades aledañas a los sistemas de producción. La norma de olores a puesto una fuerte presión sobre la industria para mejorar sus procesos de tratamiento de residuos. En 2021, 80% de la industria contó con tratamientos secundarios avanzados, y el 19% restante cuenta con tratamientos primarios de sus residuos (ChileCarne, 2023), estos avances tecnológicos le han permitido a la industria avanzar en un desarrollo con menores emisiones. Según el informe de Perspectivas Agrícolas 2022-2031, en Chile se prevé un crecimiento de la producción de carne de cerdo 0.21% anual al 2031 (OECD & FAO, 2021).

Fertilizantes inorgánicos (aplicación de nitrógeno).

Chile se encuentra dentro de primer quintil de países con mayor exceso de fertilizante por hectárea de cultivo (West et al., 2014), esto quiere decir que existe una diferencia entre los aportes de nutrientes y la cantidad cosechada en material de cultivo. Históricamente, el input de fertilizante que se utiliza en la agricultura en Chile ha incrementado considerablemente, pero la eficiencia ha disminuido. En consecuencia, la pérdida de nitrógeno al ambiente ha sido cada vez más alta (Zhang et al., 2015).

De acuerdo con los límites planetarios que se establecen en ciertos procesos para mantener la estabilidad de la tierra, Chile debiera reducir en un 75% la cantidad nitrógeno que se aplica a través de fertilizantes. Si bien la superficie de tierras agrícolas se ha mantenido relativamente estable durante las últimas décadas, la tendencia de consumo de fertilizante en Chile ha ido en aumento. Los costos de aplicación de fertilizantes nitrogenados varían entre un 4% y un 46% del costo total de producción (ODEPA, 2022), sin embargo, durante los últimos años los precios de los fertilizantes aumentaron de forma abrupta y la demanda se mantuvo estable.

c. Ámbito de acción habilitante

La ley Marco de Cambio Climático, en su artículo N°2 define el presupuesto sectorial de emisiones de gases efecto invernadero como la cantidad máxima de emisiones de gases de efecto invernadero acumulada a nivel sectorial en un periodo determinado y que representa la suma de las emisiones totales de dichos gases en cada año comprendido en el periodo respectivo, según lo determine la Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP).

En la ECLP se detalla la asignación de presupuestos sectoriales, y la designación de la autoridad involucrada en los esfuerzos de mitigación, además contempla la capacidad de mitigación en el escenario de carbono neutralidad a través de las medidas de mitigación potenciales a ser implementadas. Si bien estas medidas son indicativas, definen la capacidad de mitigación de los sectores.

El Ministerio de Agricultura tiene asignado las siguientes categorías del INGEI:

- 3.Sector Agricultura
- 1.A.2.e. Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco
- 1.A.4.c. Agricultura / Silvicultura / Pesca / Piscifactorías

Respecto a las asignaciones de los esfuerzos de mitigación, el grado de responsabilidad, se cuantifica entre 1 a 4, siendo 4 un valor para institución líder y de 1 a 3 para instituciones involucradas, donde 1 es el menor grado de involucramiento. El Ministerio de Agricultura se le asignan las siguientes medidas:

- Líder (grado de responsabilidad 4):
 1. Asistencia Técnica al uso eficiente de fertilizantes
 2. Biodigestores de Purines Porcinos

- Involucrado (2):
 1. Usos lodos plantas tratamientos aguas servidas, bioestabilizador forestal

La medida 1.-Asistencia Técnica al uso eficiente de fertilizantes, impactaría de manera directa a la subcategoría 3.D.1 Emisiones directas de N₂O en su componente 3. D.1.a. Fertilizantes inorgánicos, subcategoría 3.D.2 Emisiones indirectas de N₂O, en sus componentes a.i, y b.i., afectando a los datos de actividad de esta categoría, que específicamente corresponde al consumo aparente de urea a nivel nacional.

La medida 2.- Biodigestores de Purines Porcinos reduciría las emisiones de la categoría 3.B. Gestión del Estiércol, subcategoría 3. Porcinos, por reducción de emisiones de metano liberadas a la atmósfera dado la implementación de este tipo de sistema de tratamientos que captura el metano liberado a la atmósfera a través de cubiertas que permiten su captación.

La medida 3, Usos de lodos de plantas tratamientos aguas servidas como bioestabilizador forestal, permite reducir emisiones de la categoría del sector residuos, 5.A Disposición de residuos sólidos. Si bien esta medida de mitigación agregaría emisiones al Sector Agricultura, el balance neto de emisiones a nivel nacional disminuye. Las emisiones asociadas a la disposición de lodos en los Sistemas de Disposición de Residuos Sólidos agregan materia orgánica aumentado la generación de metano. A partir del año 2010 existe el reglamento para la disposición de los lodos de PTAS para aplicación a suelos agrícolas y forestales. Al aplicar los lodos como bioestabilizador forestal, dentro de la categoría 3.D Suelos Agrícolas, subcategoría Fertilizantes orgánicos, se empieza a contabilizar la aplicación de lodos como fertilizantes, emitiendo emisiones directas e indirectas de N₂O.

3. Análisis de Tendencias del sector

a. Principales fuentes de emisión

La categoría que más aporta emisiones es la categoría 3.D Suelos Agrícolas, con un total de 4.475,2 KtCO₂eq representando el **39.8%** de las emisiones del sector. Dentro de las subcategorías, la subcategoría que más aporta emisiones corresponde a las provenientes de orina y estiércol depositado por animales de pastoreo con 1.983,2 KtCO₂eq, que representan un 44% de las emisiones de la subcategoría (incluyendo emisiones de N₂O directas e indirectas), seguido por las emisiones por aplicación de Fertilizantes inorgánicos que aportan 1.410,4 KtCO₂eq, representando un 32% de la subcategoría.

La segunda categoría del sector que más aporta emisiones corresponde a 3.A Fermentación Entérica, con un total de 4.426,1 KtCO₂eq representando un **39.2%** de las emisiones totales del sector. La principal subcategoría que aporta emisiones corresponde a las provenientes del 3.A.1 Ganado Bovino, representando el 87% de las emisiones de la categoría (3.830,3 KtCO₂eq).

La tercera categoría más relevante en término de emisiones corresponde a la Categoría 3.2 Gestión del Estiércol, aportando el **14.5%** de las emisiones totales del sector. La subcategoría que más contribuye corresponde a las emisiones provenientes de 3.B.3 Porcinos, aportando el 68% de las emisiones de la categoría.

Las emisiones desagregadas por tipo de fuente se muestran en la Figura 6. Al desagregar las emisiones por tipo de fuente, la fuente contabiliza mayor emisión es el Ganado Bovino (50%), seguido por fertilizantes inorgánicos (urea) (16%), y en tercer lugar el ganado porcino (13%). Estas tres fuentes aportan casi el 80% de las emisiones del sector.

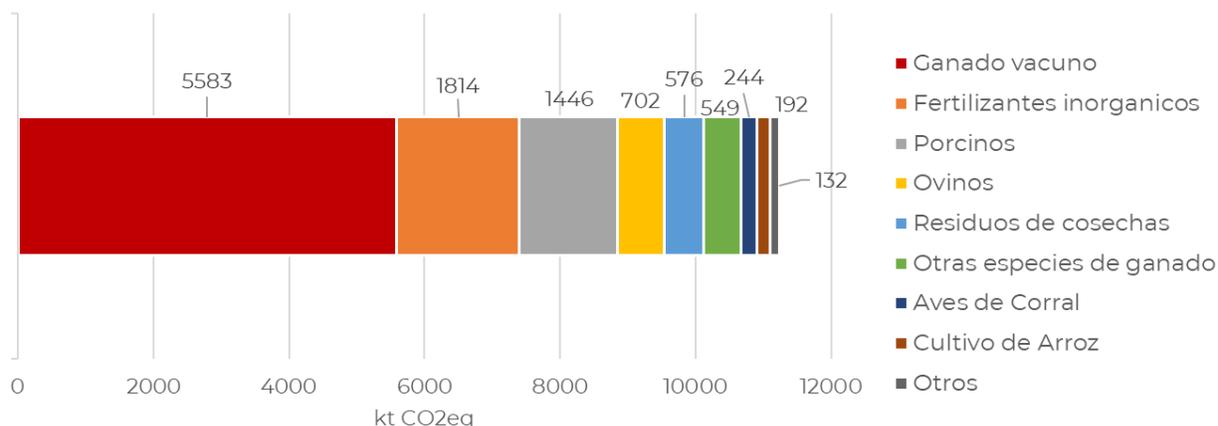


Figura 6 Emisiones por tipo de fuente del sector agricultura para el año 2020 del INGEI.
Fuente: Elaboración propia.

El ganado bovino emitió 5.583 kt CO₂eq para el año 2020, aportando un 5.2% de las emisiones totales a nivel nacional. De estas emisiones un 70% corresponde a emisiones de metano de la Categoría 3.A Fermentación Entérica, un 26% a emisiones de N₂O de la Categoría 3.D Suelos Agrícolas y un 5% de 3.B Gestión del estiércol.

Las emisiones provenientes de la fuente fertilizantes inorgánicos fue la segunda categoría de mayor importancia para el sector, emitiendo 1.814 kt CO₂eq para el año 2020. De estas, un 80% corresponden a emisiones de N₂O de la categoría 3.D Suelos Agrícolas y un 20% de la categoría 3.H Aplicación de urea.

La tercera fuente de emisión de mayor relevancia para el Sector Agricultura corresponde a la fuente ganado porcino, emitiendo 1.446 kt CO₂eq el año 2020. De estas emisiones, un 79% corresponden a emisiones de la categoría 3.B Manejo de Estiércol, un 13% de la categoría 3.D Suelos Agrícolas y un 8% a 3.A Fermentación entérica.

b. Tendencia de factores que determinan las emisiones

Para el sector Agricultura, los factores que influyen las principales fuentes de emisión están asociados a múltiples variables y no responden de forma única a un solo factor. Sin embargo, las emisiones se asocian directamente al stock de ganado, y por ello a continuación se discute su tendencia y perspectivas futuras.

Los factores que determinan los stocks de ganado bovino futuros responden a diversos factores, pero uno de los factores claves se asocia a mejoras en la competitividad de la industria la carne en Chile (Larraín et al., 2018). La tendencia del stock de ganado se relaciona de manera indirecta con el consumo de carne bovina. El consumo de carne ha aumentado a una tasa de 1.2% anual entre el 2002 y 2017, y el stock de ganado bovino entre esos mismos años ha disminuido a una tasa anual de 2.4%.

Chile no se caracteriza por ser un país ganadero bovino, es decir, cuenta con existencias y producción limitada, y su desarrollo futuro en el contexto de una economía globalizada dependerá de su capacidad para exportar y de la evolución en las importaciones provenientes del MERCOSUR. Si bien en los últimos 10 años no ha habido un incremento de la producción nacional de carne de vacuno, la tendencia de exportación ha ido en aumento (ver Figura 7), cubriendo los crecimientos de la demanda interna con importaciones. Según el informe Perspectivas Agrícolas 2022-2031, en Chile se prevé un crecimiento de la producción de carne de vacuno de un 0.55% anual (OECD & FAO, 2021).

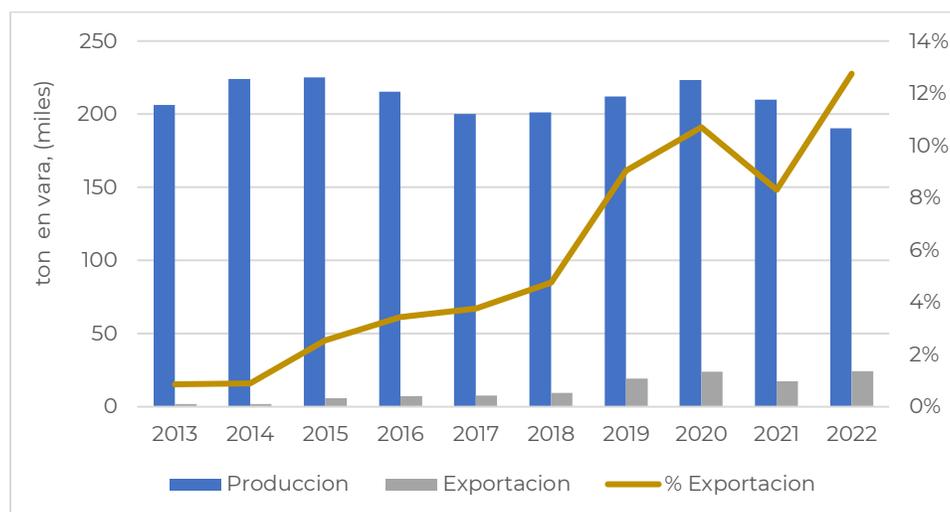


Figura 7 Producción y exportación nacional de carne de vacuno en vara
Fuente: Elaboración propia a partir de Boletines de carne bovina de ODEPA

Para el caso de la industria de carne porcina, si bien la producción se ha mantenido relativamente estable durante los últimos años, Chile se ha posicionado como uno de los mayores exportadores a nivel mundial, aumentando sus exportaciones totales (Figura 8). Este aumento de las exportaciones ha dado espacio a un crecimiento de las importaciones para cubrir la demanda interna. Según el informe de Perspectivas Agrícolas 2022-2031, en Chile se prevé un crecimiento de la producción de carne de cerdo 0.21% anual al 2031, llegando a una producción de 622 mil toneladas al 2031.

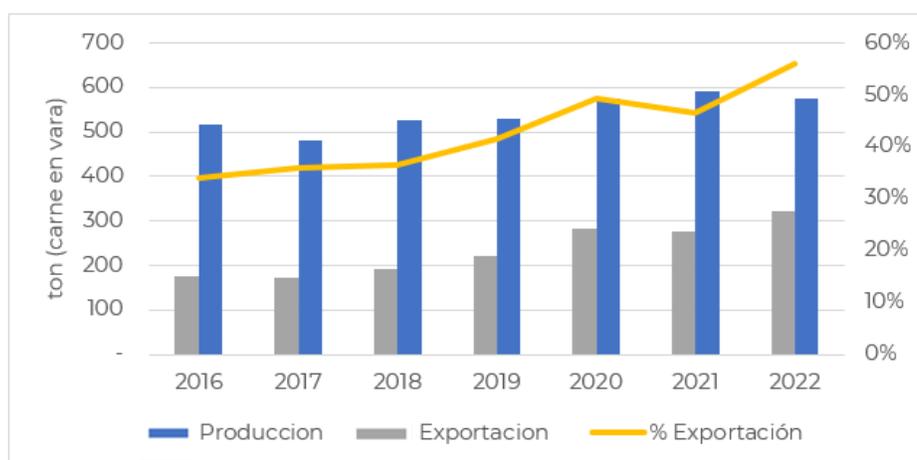


Figura 8 Producción y exportación nacional de carne de cerdo en vara
Fuente: Elaboración propia a partir de Boletines de carne bovina de ODEPA

c. Tendencia histórica y esperada de las emisiones

Las emisiones del Sector Agricultura han disminuido en un 6.4% desde 1990 y un 3.6% desde el 2018 en el periodo 1990 a 2020. Esto se debe, principalmente, a una reducción del ganado bovino en las categorías "Otros Bovinos", con una reducción de emisiones de 34% desde 1990, y el ganado ovino, con una reducción de 51%.

Las categorías que han presentado un mayor aumento respecto al periodo 1990 - 2020, corresponde a las emisiones de ganado porcino, con un aumento del 144%, pasando de 470 a 1.144 kt CO₂eq, esto debido a un fuerte crecimiento del ganado porcino explicado por el crecimiento de las exportaciones de carne porcina. Sin embargo, en los últimos 5 años, las emisiones han aumentado tan solo un 1.2%, dado que los mayores volúmenes exportados se compensan con más importaciones, y no con crecimientos en la producción nacional.

A lo anterior, le sigue la fuente fertilizantes inorgánicos, con un aumento del 73% para el periodo 1990-2020, y un 13.3% en los últimos 5 años. Este crecimiento se debe, principalmente, a la mayor intensidad de uso de fertilizantes.

Las tendencias de los últimos 5 años muestran que las emisiones totales del sector han disminuido un 7.2%, explicado por una disminución del ganado no lechero. Esta categoría tuvo una tasa de decrecimiento anual de 5.2%. Mientras otras fuentes de emisión que aumentaron en los últimos 5 años son corresponden al ganado lechero, con una tasa de crecimiento anual promedio de 4.3%, y las emisiones de fertilizantes orgánicos, con una tasa de crecimiento anual de un 2.53%. Otra categoría menos relevante que ha aumentado sus emisiones, son las emisiones provenientes del cultivo de arroz, aumentando un 11% en los últimos 5 años, con una tasa de crecimiento anual de 2.2%.

Para la proyección futura, se consideraron las tendencias de las principales fuentes de emisión del último periodo. En esta tendencia, disminuyen levemente, en un 3% las cabezas de ganado bovino al 2030 en comparación a valores del año 2020. Se prevé un aumento de un 10% de las cabezas de ganado porcino hacia el 2030, y en la utilización de fertilizantes inorgánicos se proyecta un crecimiento de 9% hacia el 2030, en comparación con los niveles de utilización del año 2020.

d. Medidas previas con impacto en las emisiones futuras

En las emisiones que son asignadas y de responsabilidad del Ministerio de Agricultura en lo que respecta al presupuesto de carbono, no existen medidas previas que se hayan implementado previo al desarrollo del “Plan Sectorial de Mitigación para el Sector Agricultura” o que estén prontas a implementar, por lo que la estimación de emisiones futuras no se vería afectada.

Sin embargo, existen algunos compromisos previos que se debieran considerar para los ejercicios prospectivos futuros para alcanzar el presupuesto de emisiones asignados a la autoridad sectorial. Los compromisos previos han sido declarados en la ECLP.

La ECLP define los lineamientos generales de largo plazo que seguirá el país de manera transversal e integrada, estableciendo cómo Chile logrará el cumplimiento del objeto de la Ley Marco de Cambio Climático, siendo la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) la meta intermedia en este camino.

En su componente Contribuciones sectoriales (Capítulo 5), presenta las visiones de largo plazo concebidas en las transformaciones para avanzar hacia la carbono neutralidad y de resiliencia al cambio climático, especificando los objetivos y metas de mediano y largo plazo que se comprometen para el proceso de transición nacional y describiendo los principales instrumentos e instituciones involucradas (Sectores).

El Sector Silvoagropecuario ha definido 9 objetivos para avanzar en dicha transición. En lo que respecta a medidas de mitigación específicas, se destacan las siguientes:

- Al 2025:
 - Contar con un plan nacional de uso eficiente de fertilizantes nitrogenados.
 - Contar con un 75% de los purines de cerdos con tratamientos de abatimiento para emisiones de GEI (Planta de lodos activados, biodigestores y/o biofiltros).
 - Contar con estándares de sustentabilidad para los sectores avícola, porcino y lechero, que incorporen requerimientos relacionados a la acción climática. Y contar con una propuesta de 3 nuevos subsectores para elaborar sus estándares.
 - Incorporar prácticas que aporten a mitigar los impactos del cambio climático en programas para el mejoramiento agroambiental de los suelos.

- Contar con un plan de prevención y reducción de las Pérdidas y Desperdicios de Alimentos (PDA), que considere medidas para la reducción de emisiones.
- Evaluar distintas estrategias productivas enfocadas en la mitigación del cambio climático, como la agricultura regenerativa, orgánica, biodinámica, agroforestería, agroecología, entre otras.
- Elaborar una hoja de ruta para la carbono neutralidad en la ganadería bovina.
- Al 2030:
 - Evaluar los resultados de la implementación del Plan de uso eficiente de fertilizantes nitrogenados.
 - Aumentar en al menos un 30% la cantidad de biodigestores instalados en el sector porcino respecto del 2021.
 - Evaluar los resultados de la implementación los estándares de sustentabilidad en los primeros 3 subsectores, y desarrollar estándares en 3 subsectores adicionales.
 - Incorporar a través de las políticas y programas del MINAGRI, los manejos productivos que mejor se adapten y mitiguen el cambio climático

4. Análisis de cumplimiento del sector

En la siguiente sección se detalla las brechas y desafíos que presenta el Ministerio de Agricultura para alcanzar las metas y objetivos en el presupuesto de carbono sectorial.

a. Estado del presupuesto sectorial

De acuerdo con la proyección de emisiones futuras para un escenario tendencial, el presupuesto de carbono no se alcanzaría (Figura 9), sumando un total de 135.2 Mt CO₂eq, requiriendo un esfuerzo de mitigación de aproximadamente 1.4 Mt CO₂eq para el periodo, para alcanzar su presupuesto de emisiones.

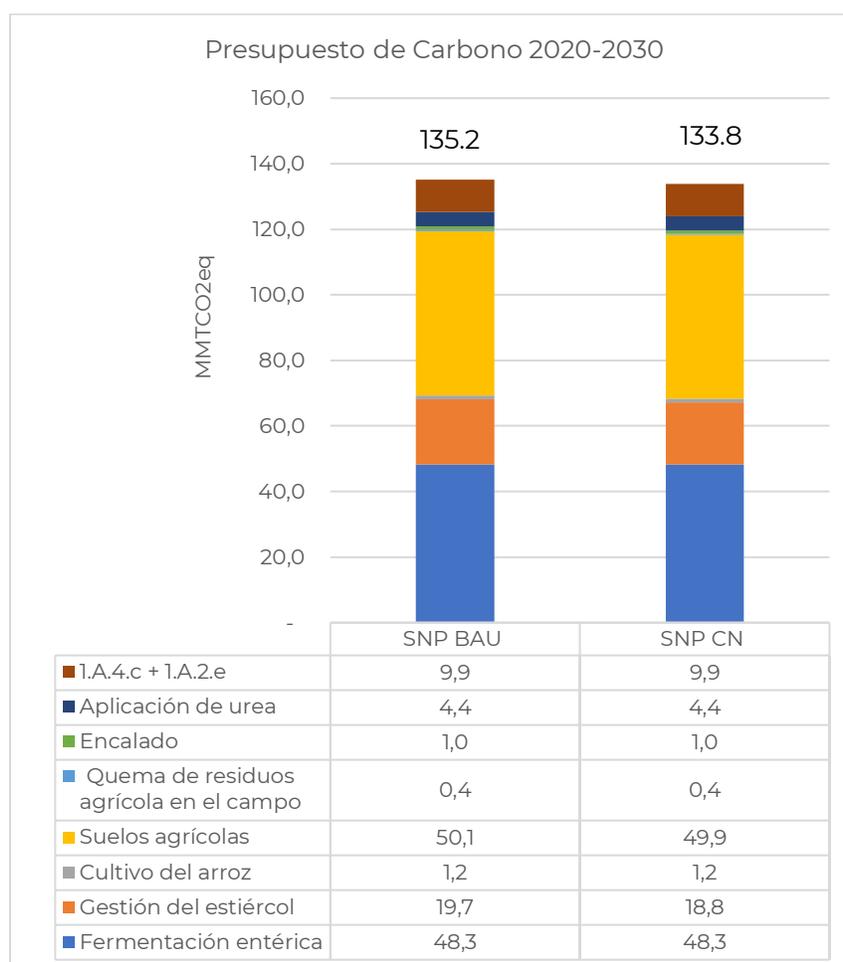


Figura 9 Presupuesto de emisiones para el periodo 2020-2030, considerando solo las emisiones del sector Agricultura, y en un escenario que considera la proporción de emisiones de las categorías de energía asignadas al Ministerio de Agricultura
 SNP-BAU : Sistema Nacional de Prospectiva en escenario tendencial (business as usual)

b. Estado de las metas/objetivos de la ECLP

El sector Agricultura no tiene medidas previas implementadas o en implementación. Las metas establecidas en la ECLP comienzan a implementarse desde el año 2025, por lo que la implementación del “Plan de Mitigación Sectorial” es clave para avanzar en la reducción de emisiones y lograr la meta de presupuesto de carbono asignado al Ministerio de Agricultura.

IV. Diagnóstico sectorial UTCUTS

1. Presentación del sector

a. Descripción general del sector

Chile alberga una biodiversidad vegetal única, con un 50.3% de sus 3,892 especies nativas siendo endémicas, lo que lo convierte en un punto crítico para la conservación global. Esta biodiversidad se extiende por tres continentes, abarcando desde el paralelo 17° hasta el 90° de latitud sur en América, lo que crea variados ecosistemas, desde desiertos en el norte hasta climas templados en el sur. A su vez, el 80% del país es montañoso, promoviendo la formación de bosques, praderas, matorrales, turberas y humedales en más de 36.7 millones de hectáreas, incluyendo 14 millones de hectáreas de bosques nativos y 11.6 millones de hectáreas de formaciones xerofíticas. Sin embargo, la deforestación histórica, especialmente entre los 35° y 42° de latitud sur, ha convertido grandes extensiones en tierras agrícolas y plantaciones forestales, principalmente en la zona mediterránea, destinadas a la industria maderera y de celulosa. Esto ha alterado significativamente el paisaje natural de Chile (MINAGRI, 2016).

El territorio chileno comprende un 23.7% de su área total designada como tierras forestales y un 40.2% del territorio está ocupado por praderas y matorrales. Una parte significativa de estas áreas de matorrales ha surgido como reemplazo de bosques nativos previamente degradados. Del mismo modo, hay tierras degradadas que actualmente carecen de vegetación arbórea y que podrían ser reforestadas con especies nativas (CONAF, 2023 y MINAGRI, 2016).

La Tabla 2 muestra el total de hectáreas nacionales por Uso de la Tierra

Tabla 2. Total de Hectáreas Nacionales por Uso de la Tierra

Usos de la Tierra	Superficie (ha)	%
1. Áreas Urbanas e Industriales	810.689	1.1
2. Terrenos Agrícolas	3.244.696	4.3
3. Praderas y Matorrales	30.405.734	40.2
4.1 Plantación Forestal	3.121.969	4.1
4.2 Bosque Nativo	14.666.732	19.4
4.3 Bosque Mixto	179.585	0.2
5. Humedales	847.898	1.1
6. Áreas Desprovistas de Vegetación	17.256.546	22.8
7. Nieves y Glaciares	3.431.226	4.5
8. Cuerpos de Agua	1.431.659	1.9
9. Áreas No Reconocidas	331.199	0.4
Total Nacional	75.727.933	100.0

Fuente: CONAF (2023).

Según el anuario forestal de INFOR (Álvarez González et al., 2022), el sector forestal el año 2021 observó una recuperación en línea con la economía nacional y mundial que

se reactivaba luego de la pandemia del COVID-19. El PIB forestal alcanzó los 3,602 millones de pesos corrientes, representando el 1.7% del PIB total. La celulosa, papel y productos de papel lideraron la distribución del PIB forestal, seguidos por el subsector de madera y productos de madera, y la silvicultura.

Las exportaciones totales de Chile aumentaron un 28% en 2021, impulsadas principalmente por el sector minero. A pesar de esto, la participación del sector forestal en las exportaciones nacionales disminuyó, aunque las exportaciones de productos forestales aumentaron debido a los incrementos en los precios de exportación. Las importaciones también experimentaron un fuerte crecimiento, particularmente en productos forestales relacionados con la construcción. La industria manufacturera, incluida la forestal, mostró signos de recuperación, con un aumento en la producción y el uso de madera en la construcción se mantuvo, aunque con una ligera disminución en su participación (Álvarez González et al., 2022). En la Tabla 3 se muestra el PIB del sector forestal a precios del año anterior encadenados, según la información más actual de INFOR (Álvarez González et al., 2022).

Tabla 3. Producto Interno Bruto del sector forestal a precios del año anterior encadenados

Año	PIB del Sector Forestal	Silvicultura	Madera y Muebles	Celulosa, Papel e Imprentas
Miles de millones de pesos encadenados				
2018	4.024	n.d./n.a.*	1.22	1.917
2019	3.787	n.d./n.a.*	1.146	1.841
2020	3.721	n.d./n.a.*	1.043	1.762
2021	3.972	n.d./n.a.*	1.125	1.878

Fuente: Álvarez González et al. (2022).

*Nota: n.d./n.a. = no disponible/not

2. Descripción de las emisiones GEI del sector

a. Presentación de emisiones sectoriales de GEI

El sector denominado Uso de la tierra, cambios en el uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS) incluye las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero (GEI) que surgen debido a la gestión, utilización y alteración de las tierras manejadas. En el caso de Chile, según MMA (2023), se informan las emisiones y absorciones relacionadas con los siguientes depósitos de carbono:

- **Biomasa:**
 - **Biomasa aérea:** Toda la biomasa de la vegetación viva, tanto maderera como herbácea, que se halla por encima del suelo, incluidos tallos, cepas, ramas, corteza, semillas y follaje.
 - **Biomasa subterránea:** Toda la biomasa de las raíces vivas (subterránea). A menudo, las raíces finas, de menos de 2 mm de diámetro (sugerido), se excluyen porque, empíricamente, no se las puede distinguir de la materia orgánica del suelo o de la hojarasca.

- **Materia orgánica muerta (DOM por sus siglas en inglés)**
 - **Madera Muerta:** Incluye toda la biomasa leñosa muerta ya sea en pie, tendida en el suelo o parcialmente enterrada sin incluir la hojarasca. Para la madera muerta tendida en la superficie, considera diámetros mínimos mayores o iguales a 10 centímetros.
 - **Hojarasca:** Incluye toda la biomasa no viva con un tamaño mayor que el límite establecido para la materia orgánica del suelo (sugerido 2 mm) y menor que el diámetro mínimo elegido para la madera muerta (p. ej. 10 cm), que yace muerta, en diversos estados de descomposición por encima o dentro del suelo mineral u orgánico. Incluye la capa de hojarasca como se la define habitualmente en las tipologías de suelos. Las raíces vivas finas por encima del suelo mineral u orgánico (por debajo del diámetro mínimo límite elegido para la biomasa subterránea) se incluyen con la hojarasca cuando no se las puede distinguir de esta última empíricamente.
- **Materia orgánica del suelo:** Incluye el carbono orgánico contenido en suelos minerales hasta una profundidad de 30 cm. Las raíces finas vivas y muertas y la DOM que se encuentran dentro del suelo y que miden menos que el límite de diámetro mínimo (sugerido 2 mm) para raíces y DOM se incluyen con la materia orgánica del suelo cuando no se las puede distinguir de esta última empíricamente. El valor por defecto para la profundidad del suelo es de 30 cm.
- **Productos de madera recolectados (PMR):** Da cuenta de la permanencia del carbono retenido en los productos de madera provenientes de la cosecha. Se consideran los productos de madera maciza y los productos de papel. En los productos de madera maciza se considera específicamente a la madera aserrada y los productos de tableros, y en los productos de papel a papeles y cartones. El carbono almacenado en vertederos no se considera, ya que no existe información suficiente en el sector residuos para poder considerarlo en la contabilidad.

Estas emisiones y absorciones se categorizan de acuerdo con las directrices establecidas por el IPCC en 2006 en seis categorías de uso de la tierra específicas:

- 4.A. Tierras forestales (TF): Bosque nativo, plantaciones forestales y bosque mixto.
- 4.B. Tierras de cultivo (TC): Terrenos agrícolas.
- 4.C. Pastizales (PA): Praderas y matorrales.
- 4.D. Humedales (HU): Humedales y cuerpos de agua.
- 4.E. Asentamientos (AS): Áreas urbanas e industriales.
- 4.F. Otras tierras (OT): Áreas desprovistas de vegetación, nieves y glaciares y áreas no reconocidas.

Para cada una de estas categorías, se consideran las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) proveniente de incendios y quemas, y óxido nitroso (N₂O) también generado por incendios y quemas (MMA, 2023).

Cada una de las categorías de uso de la tierra se subdivide adicionalmente en dos subcategorías: Tierras que permanecen como tales (4.A.1 – 4.F.1), lo que significa que no experimentan cambios de uso y siguen perteneciendo a la misma categoría; y Tierras que han sido convertidas a otra categoría (4.A.2 – 4.F.2), lo que indica que en un momento dado se han transformado y se informan bajo la nueva categoría durante un período de transición de 20 años. Después de estos 20 años, se informan nuevamente como Tierras que permanecen como tal (MMA, 2023).

La extensión insular del país, de 26.320 ha de superficie, no se incluye en el cálculo del INGEI debido a la falta de datos sobre su uso de la tierra. Según MMA (2023), CONAF anticipa que esta información estará disponible en la próxima actualización del INGEI.

b. Factores que determinan la tendencia de GEI

El sector UTCUTS es crucial para mitigar el cambio climático en Chile, ya que es el único sector que constantemente absorbe dióxido de carbono (CO₂). Según el último INGEI (MMA, 2023), el año 2020 este sector representó el 32,0 % del balance total de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del país en términos absolutos, contando un total de -49.727,4 kt CO₂ eq, que corresponde a una reducción del 24,4 % desde el inventario de 1990 y del 3,6 % desde el inventario de 2018. La tendencia del sector se puede ver en la Figura 10.

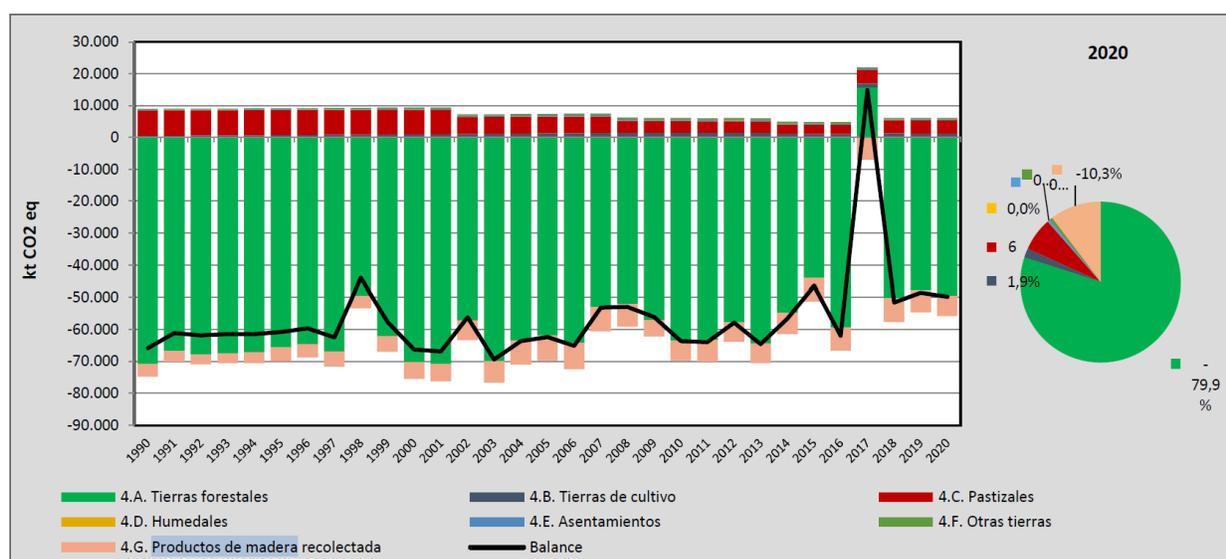


Figura 10 Emisiones de GEI (KtCO₂eq) del Sector UTCUTS por categoría serie 1990-2020.

Fuente: MMA (2023).

En términos de absorción de CO₂, las tierras forestales y los productos de madera recolectada son las categorías más significativas en este sector. La disminución en la capacidad de absorción de las tierras forestales desde 2018 a 2020 se debe en parte a

los incendios forestales y a una baja conversión de tierras a tierras forestales (forestación). En términos de bosques, los bosques nativos, bosques mixtos y plantaciones cubren el 23,7% del área total de Chile. El bosque nativo se divide en categorías como bosque adulto, renovales, bosque achaparrado y bosque adulto-renoval (Álvarez González et al., 2022). Diferentes regiones del país tienen una distribución variada de estos tipos de bosque. La especie de árbol más común en el bosque nativo es la lenga, seguida de otras como coihue de Magallanes, roble-raulí-coihue y esclerófilo (Álvarez González et al., 2022).

Los PMR han aumentado su contribución con el tiempo, con un *peak* de absorciones en 2009, aunque hubo una disminución desde 2018 debido a la menor producción de madera aserrada, también cabe destacar que la contribución de esta categoría se ve afectada por el mercado forestal (MMA, 2023). Las demás categorías explican sus emisiones en función de los cambios en el uso de la tierra a lo largo del tiempo, como las conversiones de Tierras forestales a Pastizales, Tierras de cultivo y Otras tierras (MMA, 2023). Según Álvarez González et al. (2022), se prevé una disminución en la disponibilidad de madera pulpable, aserrable y podada en pino radiata. En el caso de los eucaliptos, se espera una reducción en el volumen proyectado para productos pulpables. En resumen, se proyecta un déficit de madera en los próximos años, lo que afectará a la industria forestal, especialmente la del aserrío de pino radiata. Esto podría generar una mayor presión en el mercado interno para satisfacer la demanda de productos de madera.

En cuanto a las existencias de madera en los bosques nativos según el último Anuario Forestal de INFOR (Álvarez González et al., 2022), se observó una disminución en las regiones del Maule y Biobío, mientras que las otras dos regiones experimentaron un crecimiento. La estimación total de existencias de madera en los bosques nativos de Chile se sitúa en 4.222,5 millones de m³ssc ⁷, con una disminución del 0,5% en comparación con mediciones anteriores. Poblete Hernández (2022) entrega estadísticas sobre los productos de madera aserrada proveniente de bosque nativo, donde se aprecia la tendencia a la baja en la producción, con la participación más baja en la última década, disminuyendo de 1,0% en el año 2020 a 0,8% en el año 2021.

Los *peaks* significativos en las emisiones de GEI en 1998, 2002, 2015 y especialmente en 2017 son debido a los incendios forestales en bosques nativos y plantaciones forestales ocurridos en esos años (MMA, 2023). Según González et al. (2020), en la zona centro-sur de Chile los incendios forestales han aumentado significativamente en los últimos años, con temporadas excepcionales en términos de áreas quemadas. Los incendios de gran tamaño, aunque menos frecuentes, causan la mayor parte del daño. La temporada de incendios se ha extendido, ahora abarcando la mayor parte del año debido a la megasequía desde 2010. La simultaneidad de incendios dificulta su control y extinción, aumentando su duración y extensión. Chile enfrenta desafíos importantes en la gestión y control de estos incendios.

En cuanto a los depósitos de carbono, en 2020, la biomasa y los productos de madera recolectada contribuyeron principalmente a las absorciones netas del sector UTCUTS

⁷ Metros cúbicos sólidos sin corteza

(85,6% y 12,4% respectivamente), mientras que la materia orgánica muerta contribuyó con emisiones netas hasta 2007 debido a la conversión de tierras forestales a otros usos. En cuanto al carbono del suelo, hubo una tendencia a la absorción neta hasta 1999, seguida de una emisión neta debido a la conversión de tierras forestales a tierras de cultivo (MMA, 2023).

En 2018, el CO₂ fue el principal GEI en términos absolutos, representando un 99,7 % del sector, seguido por el metano (CH₄) con un 0,2 % y el óxido nitroso (N₂O) con un 0,1 %, estos dos últimos con aumentos de emisiones en los años con mayores incendios como 1998, 2002, 2015 y 2017 (MMA, 2023).

c. **Ámbito de acción habilitante**

La ECLP y la NDC establecen un compromiso ambicioso para el sector forestal con miras al carbono neutralidad en 2050. El sector forestal se centra en metas y acciones que buscan reducir factores de incertidumbre, como los incendios forestales, el bajo rendimiento de los bosques y la alta frecuencia de cosecha forestal, a su vez proponen medidas de recuperación de áreas forestales y aumento de áreas silvestres protegidas, esta última meta presentada en la COP27 (MMA, 2022); sin embargo en la asignación de responsabilidades en las categorías INGEI de la ECLP, el sector UTCUTS no tiene un responsable directo a pesar de que la misma ECLP lo cataloga como un sector fundamental para alcanzar la carbono-neutralidad del país al 2050. Tampoco se mencionan las medidas de mitigación del sector en la tabla de asignaciones de medidas de la NDC en la sección de esfuerzos de mitigación de la ECLP.

3. **Análisis de Tendencias del sector**

a. **Principales fuentes de emisión**

Tierras forestales (4.A.): Esta sección del inventario, es la que más absorciones reporta a nivel nacional (-49.430,2 kt CO₂ eq al año 2020), principalmente por el aumento de biomasa de las tierras forestales que permanecen como tales (4.A.1.) y de las Tierras convertidas en tierras forestales (4.A.2.). Sin embargo, en términos de emisiones, las categorías de fuente y sumidero de GEI que pertenecen a Pérdidas de Biomasa (4.A.1.b e inferiores) emite un porcentaje importante dentro del Sector UTCUTS (MMA, 2023).

Pastizales (4.C): La categoría de pastizales es la segunda emisora del sector UTCTUS, en 2020, las emisiones totales de gases de GEI fueron de 4.201,3 kt CO₂ eq, estas han disminuido en un 47% desde 1990 y aumentado un 1% desde 2018 (MMA, 2023).

Cultivos (4.B): La tercera categoría que más GEI emite en el sector UTCUTS son los cultivos, en 2020, se registraron emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en las áreas de tierras de cultivo, alcanzando un total de 1.164,1 kt de CO₂ eq. Esto representó un aumento del 145,2% en comparación con las emisiones de 1990, aunque hubo una disminución del 4,0% en relación con las emisiones del año 2018 (MMA, 2023).

b. Tendencia de factores que determinan las emisiones

Tierras forestales (4.A.): En 2020, las principales pérdidas de biomasa se explican por cosechas comerciales de trozas (27,1%) y consumo de leña (7,9%). Las pérdidas de carbono debidas a incendios representaron un 4%, y las pérdidas de biomasa por cambio de cobertura vegetal fueron del 0,5%. Estas emisiones por cosecha han aumentado un 208,1% desde 1990 al 2020, pero disminuyeron un 8,7% desde 2018, en parte debido a la pandemia de COVID-19 (MMA, 2023).

El consumo de leña ha aumentado un 71,1% desde 1990, contribuyendo al incremento de emisiones de gases de efecto invernadero, donde la procedencia de la leña consumida es tanto de especies exóticas como nativas. Las emisiones por cambios en la cobertura vegetal de bosque nativo a plantaciones han disminuido un 70,8% desde 1990 y se mantienen estables desde 2018 (MMA, 2023).

Las pérdidas de carbono debido a incendios forestales mostraron fluctuaciones en la serie temporal, con picos en 1998, 1999, 2002, 2015 y 2017, cuando se registraron las mayores áreas afectadas por incendios y emisiones máximas de gases de efecto invernadero. Esta misma relación se puede ver en las emisiones de no-CO₂, ya que provienen principalmente de quemas forestales e incendios. Cabe destacar que los incendios poseen una importancia especial dentro del inventario y del INGEI, ya que son capaces de alterar las tendencias de emisiones, generando máximas como la vista en el año 2017, donde el sector no generó absorciones de GEI (MMA, 2023).

Pastizales (4.C): Las tierras convertidas a pastizales representan la categoría más relevante. En 2020, estas tierras contribuyeron con 4.156,7 kt CO₂ eq, disminuyendo un 47,8% desde 1990 y aumentando apenas un 0,04% desde 2018. En cuanto a las tierras de pastizales que permanecen como tales, se contabilizaron emisiones no-CO₂ de incendios, que totalizaron 44,6 kt CO₂ eq en 2020 (MMA, 2023).

Las conversiones de tierras a pastizales tienen un impacto significativo en las pérdidas de carbono. En 2020, las pérdidas de biomasa representaron el 58%, seguidas de las pérdidas de materia orgánica muerta (33%). También hubo aumentos de carbono en el suelo (8%) y emisiones no-CO₂ (1%) (MMA, 2023).

Cultivos (4.B): Dentro de las tierras de cultivo que permanecen como tal, se contabilizaron emisiones no-CO₂, específicamente debido a incendios y quemas agrícolas. En el año 2020, estas emisiones ascendieron a 2,1 kt de CO₂ equivalente, lo que marcó un incremento del 484,2% desde 1990 y un aumento del 256,5% desde 2018 (MMA, 2023).

En lo que respecta a las tierras convertidas en tierras de cultivo, se generaron emisiones de 1.162 kt de CO₂ equivalente en el año 2020. Esto representó un aumento del 145% en comparación con las emisiones de 1990, aunque hubo una disminución del 4,1% en relación con las emisiones de 2018 (MMA, 2023).

El INGEI (MMA, 2023) muestra que los Pastizales convertidos en Tierras de cultivo fueron los principales contribuyentes a estas emisiones, representando el 56,8%. Les siguieron las

tierras forestales con un 41,5% y los Humedales con un 1,6%. Las conversiones de tierras en tierras de cultivo tuvieron un impacto sustancial en los cambios en el contenido de carbono. Las pérdidas de carbono del suelo fueron el factor más relevante, contribuyendo con el 61,1% del total de emisiones en 2020. Le siguieron las pérdidas de biomasa (31,6%) y las pérdidas de carbono de la materia orgánica muerta (7,1%). Las emisiones no relacionadas con el CO₂ contribuyeron con un 0,2%.

c. Tendencia histórica y esperada de las emisiones

En base a Álvarez González et al. (2022), en el sector silvícola se observa una disminución en la oferta de volumen de madera futura en general, especialmente en las especies *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*. Esto se debe a varios factores, incluido el fin de los incentivos estatales para la forestación en 2012, incendios forestales y cambios en las condiciones climáticas.

En el contexto de las predicciones climáticas futuras, se espera un aumento en los megaincendios, que son difíciles de controlar incluso con grandes recursos. Esto implica desafíos como la coordinación interinstitucional, la prevención de igniciones humanas y la planificación territorial adaptativa (González et al., 2020). Esta tendencia puede afectar significativamente las emisiones del sector en función de lo visto en los años 1998, 1999, 2002, 2015 y 2017. De la misma forma, Benavides et al. (2021) realiza un análisis de la NDC bajo distintos escenarios de incertidumbre, como también de medidas adicionales (escenario NDC+), identificando en qué condiciones las medidas propuestas por la NDC fallan en alcanzar la carbono-neutralidad para 2050, siendo uno de los factores más determinantes un bajo nivel de secuestro de los bosques. Dentro de las conclusiones de Benavides et al. (2021) determina que, "si la tala de bosques o los incendios forestales ocurren con alta frecuencia, las condiciones climáticas o económicas llevan a bajos rendimientos de bosques nativos y plantaciones, y si no se cumple con las metas de electromovilidad, es probable que no se alcance la carbono-neutralidad".

Pica-Téllez et al. (2022) y Valdéz et al. (2023) concluyen que a pesar de que el sector UTCUTS ha mostrado cierto nivel de degradación relacionada con los incendios forestales y la extracción de leña, las plantaciones forestales y el bosque nativo bajo conservación continúan creciendo a partir de 1990. En la Figura 11 se presentan las proyecciones del sector en base a Pica-Téllez et al. (2022).

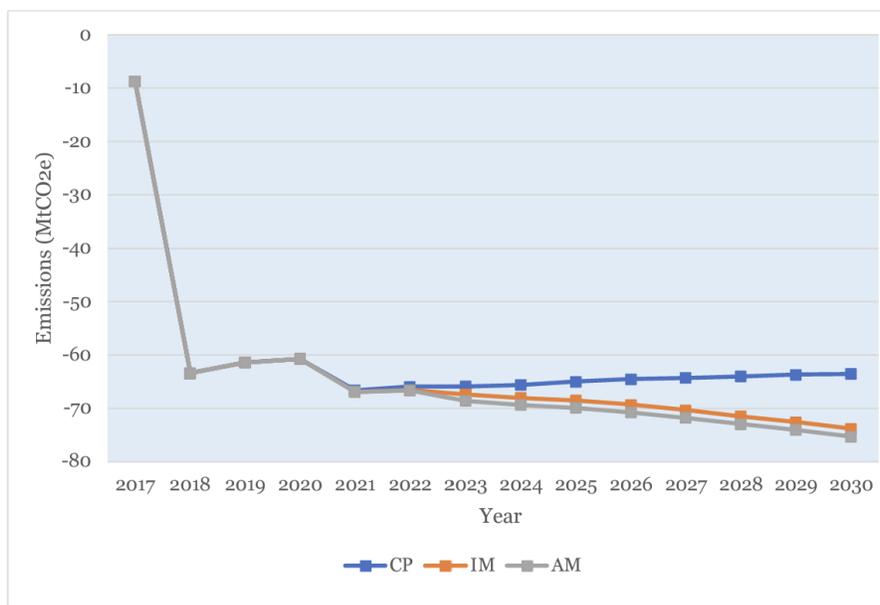


Figura 11 Emisiones totales del sector UTCUTS para tres escenarios de mitigación en el período 2020-2030.

Fuente: Extraído de Pica-Téllez et al. (2022)

Nota: *Current Policies (CP)*, considera las emisiones esperadas bajo la regulación y los incentivos actuales (12 medidas); *Mitigación intermedia (IM)*, considera la implementación de todas las medidas de mitigación analizadas para desarrollar el compromiso de la NDC (41 medidas); *Mitigación acelerada (AM)*: considera medidas de mitigación mejoradas para superar el presupuesto de carbono (60 medidas).

Bajo el análisis de Pica-Téllez et al. (2022) y Valdéz et al. (2023), las emisiones del sector sin medidas de mitigación aplicadas, absorbe año a año menos carbono hacia el 2030, sin embargo, al aplicar las medidas de mitigación esta tendencia cambia y las absorciones aumentan año a año.

En estudios recientes de Benavides et al. (2021), Pica-Téllez et al. (2022) y Valdéz et al. (2023), concuerdan que las medidas en la NDC no son suficientes para cumplir con los compromisos internacionales de la NDC. Pica-Téllez et al. (2022) destaca que la forestación con especies exóticas muestra el mayor potencial de mitigación en futuros escenarios. Sin embargo, en Chile, surgen controversias en relación con esta práctica debido a preocupaciones sobre el uso de agua y la susceptibilidad a incendios forestales en estas plantaciones.

Por otro lado, la gestión de bosques nativos también muestra un potencial de mitigación razonable. Esto se debe no solo a su capacidad de reducción de emisiones a un costo mucho menor por t CO₂ eq en comparación con la forestación con especies nativas, sino también a sus múltiples beneficios adicionales, como la protección de la biodiversidad, la conservación del recurso agua y suelo, la mejora de la conectividad del paisaje y la promoción de actividades recreativas, entre otros, beneficios nombrados también por Benavides et al. (2021).

d. Medidas previas con impacto en las emisiones futuras

No existen compromisos previos que se debieran considerar para los ejercicios prospectivos futuros ya que el sector UTCUTS no tiene ni autoridad responsable ni presupuesto sectorial asignado en la ECLP.

En su componente contribuciones sectoriales (Capítulo 5), Sector Silvoagropecuario ha definido 9 objetivos para avanzar en dicha transición, todos ellos se traslapan con el sector agricultura, y 3 de ellos son específicos para el sector UTCUTS, los cuales se destacan a continuación:

- Objetivo 6: Fomentar iniciativas enfocadas a evitar y/o disminuir la deforestación y la degradación de los recursos vegetacionales, aportando en la mitigación y adaptación al cambio climático, reduciendo la ocurrencia y riesgo de incendios forestales para alcanzar un armónico crecimiento económico, social y ambiental.
- Objetivo 7: Fomentar el manejo y conservación de los recursos vegetacionales nativos (bosques y formaciones xerófitas) y humedales, orientándolo hacia la producción de bienes y servicios ecosistémicos, conservación de la naturaleza y las necesidades de las comunidades locales.
- Objetivo 8: Potenciar iniciativas que aumenten la creación de bosques y la cobertura permanente de recursos vegetacionales en zonas prioritarias de restauración a escala de paisajes, aumentando la resiliencia y disminuyendo la vulnerabilidad de comunidades y territorios.

A su vez en el 5to Informe Bienal de Actualización ante la CMNUCC (MMA, 2022b) muestra el avance de los compromisos de la NDC para el sector UTCUTS, los cuales se presentan en la Tabla 4:

Tabla 4. Detalle de los indicadores de seguimiento de la NDC en relación con el art. 4 del Acuerdo de París para el sector UTCUTS.

Nombre del Indicador	Descripción	Compromiso asociado	Años	Avance	Beneficios secundarios
Porcentaje de superficie manejada de bosque nativo	Superficie manejada de bosque nativo entre el 2020 y último año reportado por CONAF, dividida por la superficie manejada de bosque nativo comprometida al 2030 (200.000 ha).	Manejo sustentable y recuperación de 200.000 hectáreas de bosque nativo	Último año reportado: 2021	2,34%	No estimado

Porcentaje de absorción alcanzada por la superficie manejada de bosque nativo	Absorción neta alcanzada por la superficie manejada de bosque nativo para el último año reportado por CONAF, dividida por absorción esperada de la superficie manejada de bosque nativo comprometida al 2030.	Alrededor de 0,9 a 1,2 MtCO ₂ eq anuales, al año 2030.	Último año reportado: 2021	3,96%	No estimado
Porcentaje de superficie reforestada	Superficie reforestada entre el 2020 y último año reportado por CONAF, dividida por la superficie reforestada comprometida al 2030 (200.000 ha).	Forestar 200.000 hectáreas, de las cuales al menos 100.000 hectáreas corresponden a cubierta forestal permanente, con al menos 70.000 hectáreas con especies nativas. La recuperación y forestación se realizará en suelos de aptitud preferentemente forestal y/o en áreas prioritarias de conservación.	Último año reportado: 2021	0,29%	No estimado
Porcentaje de absorción alcanzada por la superficie reforestada	Absorción neta alcanzada por la superficie reforestada para el último año reportado por CONAF, dividida por absorción esperada de la superficie reforestada comprometida al 2030	Alrededor de capturas de entre 3,0 a 3,4 MtCO ₂ eq anuales al 2030	Último año reportado: 2021	0,20%	No estimado

Fuente: Extraído de MMA (2022b).

4. Análisis de cumplimiento del sector

a. Estado del presupuesto sectorial

El sector UTCUTS no tiene presupuesto sectorial asignado en la Estrategia Climática de Largo Plazo.

b. Estado de las metas/objetivos de la ECLP

Al no tener un presupuesto asignado, ni medidas en la ECLP, no es posible medir el estado de metas para el sector UTCUTS.

V. Caracterización de Medidas de mitigación

1. Costos y Potencial de mitigación

Se caracterizaron en mayor profundidad aquellas medidas preevaluadas consideradas en la ECLP⁸, sobre (1) Asistencia técnica al uso eficiente de fertilizantes y (2) Biodigestores de purines porcinos. Además, se han considerado aquellas medidas que han sido preevaluadas en ejercicios prospectivos del Sistema Nacional de Prospectiva del Ministerio del Medio Ambiente. Por otro lado, se han levantado antecedentes de estudios previos en el cual se han caracterizado las medidas de mitigación, que han considerado procesos participativos para el levantamiento de medidas y la construcción de escenarios de mitigación para el sector agricultura (Tabla 5).

Tabla 5 Medidas de mitigación caracterizadas

Medida de mitigación	Descripción de la medida
Biodigestores de Purines Porcinos	Implementación de Biodigestores para tratamiento de Purines de plántulas 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.
Aditivo Reductor de Metano	Incorporación de aditivo reductor de metano en la dieta de ganado bovino en confinamiento.
Reducción de quemas Agrícolas	Reducción de quemas agrícolas mediante manejos y usos alternativo de rastrojo en cereales.
Arroz bajo en metano	Extensión y transferencia tecnológica de variedades de menor consumo hídrico

Fuente: Elaboración propia

a. Estimación del potencial de mitigación de las medidas

Se estimó el potencial de emisiones evitadas a partir del potencial de mitigación de las medidas caracterizadas en base al contrafactual de un escenario sin medidas de mitigación. Para dicha evaluación se consideraron tasas de implementación plausibles desde el punto de vista técnico.

Se describe los supuestos de implementación para cada una de las medidas en la Tabla 6.

⁸ Tabla 5 Asignación de medidas NDC, Cap. 3. ECLP.

Tabla 6 Tasa de implementación de medidas caracterizadas al año 2030

Medida de mitigación	Tasa de implementación al 2030
Biodigestores de Purines Porcinos	El 42% de los purines del ganado porcino es tratado mediante Biodigestor.
Uso eficiente del Fertilizante	Reducción en un 10% en la intensidad de uso de fertilizante nitrogenado para cultivos cereales. Reducción en un 8% en la intensidad de uso de fertilizante nitrogenado para cultivos anuales y forrajeras.
Biodigestores de Purines en Bovinos	El 10% de los purines de ganado Bovino es tratado mediante biodigestores.
Aditivo Reductor de Metano	El 20% de los bovinos en sistemas de confinamiento reciben aditivos en su dieta.
Reducción de quemas Agrícolas	Reducción del 30% en la superficie destinada a quemas agrícolas mediante la implementación de manejos y usos alternativos del rastrojo en cultivos de cereales.
Arroz bajo en metano	El 10% de la superficie destinada al cultivo de arroz emplea variedades que requieren menor consumo hídrico.

Fuente: Elaboración propia

Para cada una de las tasas de implementación de las medidas anteriores se consideró una factor de incremento anual lineal, partiendo desde el año 2025, con una implementación del 1% para dicho año. Excepcionalmente se consideró que la implementación de biodigestores porcinos comienza a implementarse desde el año 2024, sobre el porcentaje de adopción tecnológica actual, que corresponde a un 27%.

Considerando las tasas de implementación de las medidas previamente descritas, se estima un potencial de mitigación de 1,346 ktCO₂eq para el periodo 2020-2030, de las cuales un 82% corresponden a reducción de emisiones de CH₄, un 13% a reducción de emisiones de N₂O y un 4% a emisiones de CO₂ (Figura 12).

Las medidas con el mayor potencial de reducción son la implementación de biodigestores y el uso eficiente de fertilizantes, los cuales representan el 89% de las reducciones totales estimadas.

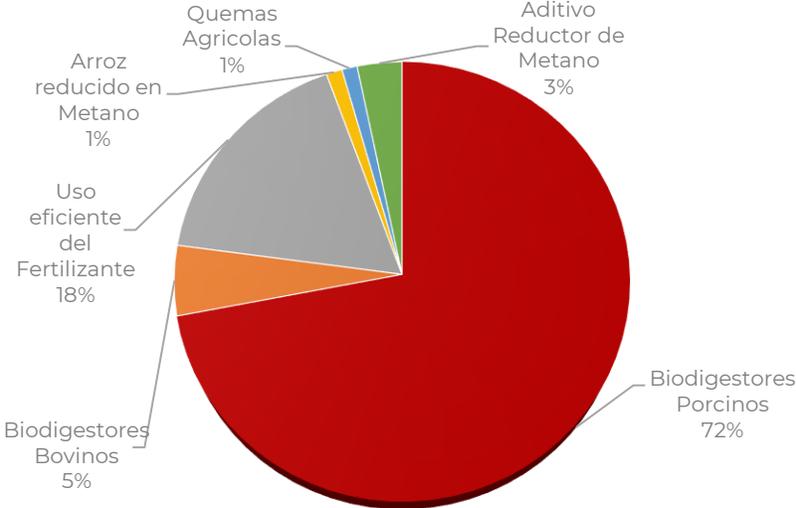


Figura 12 Distribución de las emisiones evitadas por medida de mitigación.
Fuente: Elaboración propia

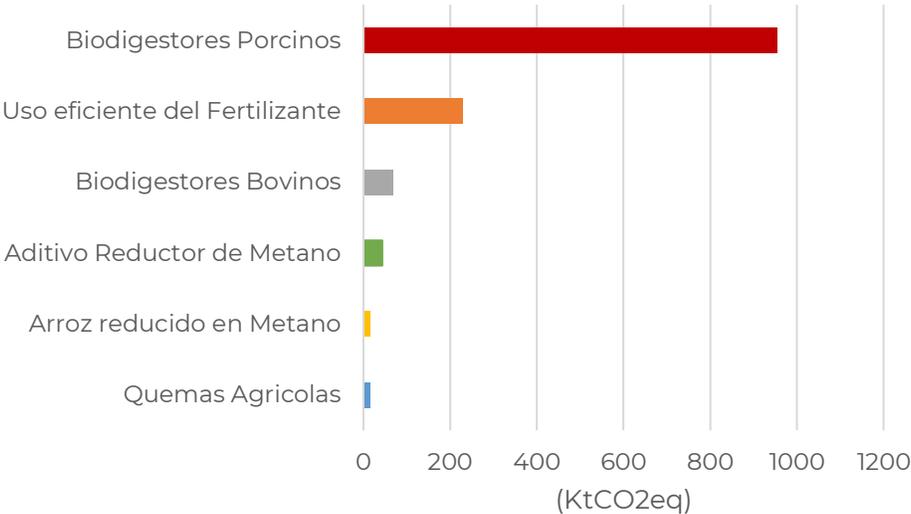


Figura 13 Potencial de mitigación de medidas de mitigación caracterizadas
Fuente: Elaboración propia

La medida de mitigación biodigestores porcinos evita la emisión de 953.6 ktCO₂e durante el periodo 2024-2030. La medida que le sigue es el uso eficiente del fertilizante, con una reducción potencial de 229.3 ktCO₂e. En tercer lugar, encontramos los biodigestores bovinos, que contribuyen con una disminución de 68.2 ktCO₂e. Posteriormente, el aditivo reductor de metano evita la emisión de 43.4 ktCO₂e. El arroz reducido en metano aporta una reducción de 15.5 ktCO₂e. Finalmente, las quemas agrícolas presentan un potencial de reducción de 14.8 ktCO₂e, como se puede ver en la figura 2 y tabla 3. Mayor detalle de las medidas en la sección VII Anexos.

Tabla 7 Potencial de mitigación de medidas caracterizadas

Medida	Potencial de Reducción (ktCO ₂ eq)
Biodigestores Porcinos	953.6
Uso eficiente del Fertilizante	229.3
Biodigestores Bovinos	68.2
Aditivo Reductor de Metano	43.4
Arroz reducido en Metano	15.5
Quemas agrícolas	14.8

Fuente: Elaboración propia

b. Estimación de Costos y Curva MAC de las medidas

A continuación, se presenta el valor presente neto de los costos de inversión (CAPEX) y de operación (OPEX) para cada una de las medidas de mitigación (Tabla 8). En el cálculo del VPN se consideró una tasa de descuento social del 6% para el periodo desde que se inicia la implementación de la medida. En medidas donde se produce un ahorro neto producto de la implementación de la medida se pone un signo menos (-). Es relevante mencionar que estos montos no incorporan los costos de fiscalización, evaluación y monitoreo.

Tabla 8 CAPEX, OPEX y Costo total en (USD) y costo de abatimiento de medidas de mitigación (USD/ton)

Medida de Mitigación	CAPEX (USD)	OPEX (USD)	Costo Total (USD)	Costo Abatimiento (USD/ton)
Biodigestores Porcinos	\$21,926,547	(-\$1,656,011)	\$20,270,536	\$21
Biodigestores Bovinos	\$4,344,714	(-\$473,067)	\$3,871,647	\$57
Uso eficiente del Fertilizante		(-\$21,986,186)	(-\$21,986,186)	(-\$96)
Arroz reducido en Metano		\$2,939,171	\$2,939,171	\$189
Quemas agrícolas		(-\$5,145,279)	(-\$5,145,279)	(-\$348)
Aditivo Reductor de Metano		\$5,187,163	\$5,187,163	\$119

Fuente: Elaboración propia

Las Curvas de Costos Marginales de Abatimiento (Curvas MACC) ilustran la efectividad en términos de costos y se relacionan con el potencial de reducción de las diversas opciones de mitigación, las cuales se organizan de forma ascendente según su costo (Bockel et al., 2012). Estas curvas se presentan habitualmente en forma de gráfico de barras o histograma. En dicho gráfico, el eje horizontal muestra el potencial de reducción (expresado en ktCO₂eq), mientras que el eje vertical representa el costo de abatimiento, por ejemplo, en términos de USD por tCO₂eq.

Las estrategias de mitigación se disponen de izquierda a derecha, ordenadas según su costo-efectividad de manera ascendente, lo que facilita el análisis y la interpretación de las diferentes opciones.

Este tipo de gráfico MACC se emplea para comparar medidas de mitigación, y son de utilidad para evaluar el potencial costo de reducción de emisiones de una cierta estrategia. La costo-efectividad, o el costo de abatimiento se estima mediante la suma del CAPEX y OPEX anual en Valor Actual Neto, para cada año, dividido por el potencial de reducción de emisiones para la medida en dicho año.

En la Figura 14, se presenta la Curva de Costos Marginales de Abatimiento para las medidas caracterizadas para el sector Agricultura. En el eje horizontal se muestra el potencial de reducción acumulado a medida que se agregan las emisiones mientras que, en el eje vertical, se muestra el costo de abatimiento de cada medida. Luego, se ordenan las medidas desde la más costo-efectiva al menos costo efectivo de izquierda a derecha.

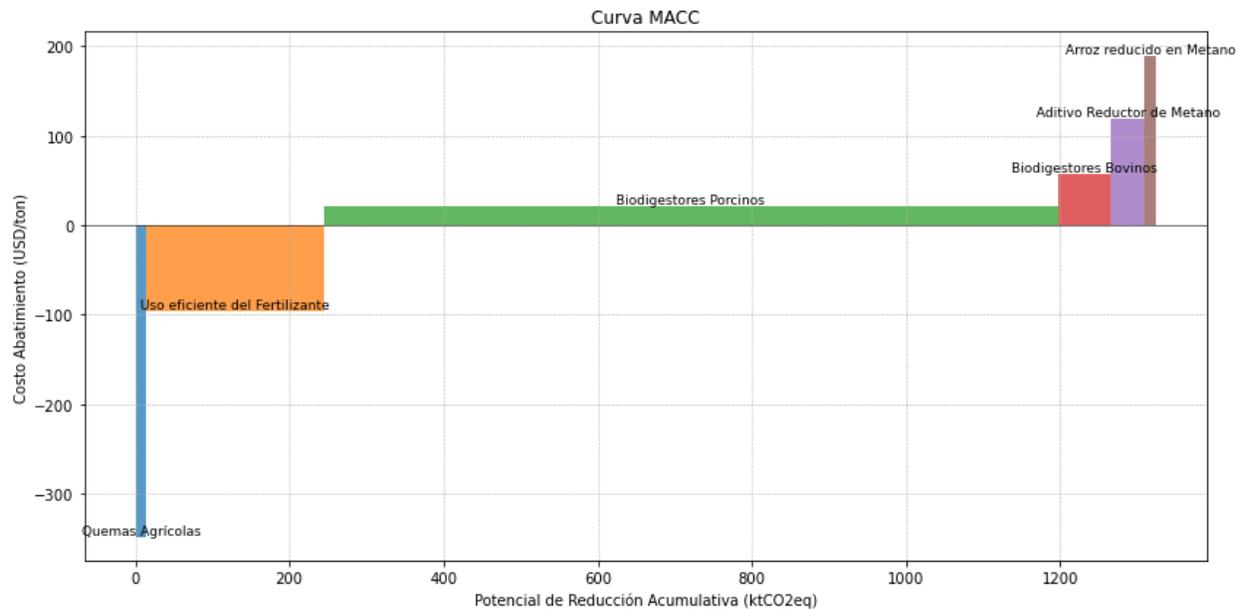


Figura 14 Curva de Costos Marginales de Abatimiento para medidas caracterizadas.

Fuente: Elaboración propia

c. Caracterización medidas adicionales

Adicionalmente se caracterizaron medidas complementarias que pueden contribuir en la reducción de emisiones desde el sector agricultura, sin embargo, dada la estructura actual del INGEI nacional, estas medidas quedan fuera de la estimación actual de lo que considera el inventario. Para lo anterior, sería necesario que el INGEI pudiera considerarlas.

Se describen los siguientes supuestos de modelación:

- **Ganadería Regenerativa:** Se entiende como la optimización de las relaciones simbióticas entre animales y plantas. Captura de carbono en suelos de praderas destinadas a la producción ganadera extensiva. Se considera que un 4% de la superficie de praderas al 2030 (43.740 ha) será manejada bajo sistemas de ganadería regenerativa.
- **AgroPV:** Sistema de producción de energía en base a tecnología solar fotovoltaica en combinación armónica y optimizada con la producción agrícola. Dado que las experiencias piloto en Chile han sido en la región Metropolitana en cultivos de hortalizas, se consideró la estimación potencial de reducción de emisiones dentro de la Región Metropolitana. Al menos el 4% de la superficie de hortalizas (508 ha), implementa el sistema AgroPV al 2030, comenzando el año 2025.

Medida de Mitigación	CAPEX (MM USD)	OPEX (MM USD)	Costo Total (MM USD)	Reducción emisiones (kt 2020-2021)	Costo Abatimiento (USD/tonCO ₂ e)
Ganadería Regenerativa	-	(-7,79)	(-7,79)	-0,309	(-25,2)
AgroPV	73,8	(-93,93)	(-20,54)	-365	(-72,4)

En el caso de ambas medidas se estiman costos de abatimiento negativos, es decir, un beneficio neto, ya que estas prácticas reducen los costos de operación de los sistemas productivos.

2. Análisis de brechas institucionales, técnicas, legales y económicas

- 2025 Agricultura biodigestores porcinos

Brechas institucionales: es necesario generar un trabajo coordinado con el Ministerio de Medio Ambiente, ya que existen exigencias normativas que están produciendo cambios en la toma de decisión de los productores porcinos que podrían favorecer o perjudicar la medida.

- Brechas técnicas: la instalación y operación de biodigestores requiere capacidades tecnológicas y mano de obra calificada que hoy no está disponible en los productores que podrían adoptar la medida.
- Brechas legales: [El Decreto Supremo N°9/2022](#) “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”, en vigencia desde el 6 de febrero de 2023, exige un tratamiento de los purines para el control de olores, que implica un control de emisiones. Es necesario establecer una coherencia entre la regulación vigente y la medida. Se debe obtener una autorización del SEA y de SEC.
- Brechas económicas: la instalación de biodigestores es una medida que deberá ser adoptada por pequeños y medianos productores que no cuentan con acceso a crédito ni una estructura financiera que les permita hacer las inversiones necesarias.
- [2025 Agricultura uso eficiente fertilizantes](#)
 - Brechas institucionales: No existe un organismo en el estado con competencia directa para incentivar el uso eficiente de fertilizante.
 - Brechas técnicas: No hay claridad respecto del potencial exacto de la medida y en cuáles cultivos y perfiles de productores tiene mayor potencial y costo efectividad.
 - Brechas legales: Podrían ser necesarias algunas normas para crear la institucionalidad que se haga cargo de un programa de promoción del uso eficiente de fertilizantes y para implementar una certificación que opere como un incentivo.
 - Brechas económicas: Si bien se espera que esta medida reduzca los costos de los agricultores, el esfuerzo financiero para lograr la adopción de estas prácticas puede ser significativo.
- [2025 Agricultura aditivo reductor metano](#)
 - Brechas institucionales: no se identifican brechas relevantes.
 - Brechas técnicas: falta difusión de los productos de aditivos, sus efectos, y pruebas piloto a nivel nacional
 - Brechas legales: no se identifican brechas relevantes.
 - Brechas económicas: el uso de aditivo genera un mayor costo de producción y no se genera un aumento en ingresos ni eficiencia productiva, por lo cual baja la rentabilidad.
- [2025 Agricultura biodigestores bovino](#)
 - Brechas institucionales: Se requiera coordinación con Ministerio de Energía, ya que este tipo de tratamiento de estiércol genera energía.
 - Brechas técnicas: hoy no existe este tipo de tratamiento de estiércol en el ganado bovino confinado, solo algunos casos pilotos. Por lo cual, falta conocimiento y capacidades técnicas para su operación.
 - Brechas legales: se requiere autorización de SEC y SEA

- Brechas económicas: los biodigestores requieren altas inversiones y mayores costos de operación que los sistemas de tratamiento actuales, por lo cual es difícil que se genere un cambio voluntario sin incentivos económicos
- 2025 Agricultura quemas agrícolas
- Brechas institucionales: No hay un organismo que vele por reducir las quemas por razones distintas a los contaminantes locales.
- Brechas técnicas: La falta de maquinaria para incorporación de los rastrojos podría ser una limitante para evitar la quema. Salvo en los casos en que se utilice cero labranza, pues los rastrojos no se incorporan, sino que quedan en superficie. Si se incentiva cero labranza, se reducen quemas y se obtienen numerosos co-beneficios (salud de suelo, captura C, , control erosión, etc)
- Brechas legales: La normativa que regula las quemas no responde a contaminantes globales por lo que no es aplicable en este caso.
- Brechas económicas: Para los agricultores la quema de rastrojos es una solución más "fácil" y "barata". Por lo que al plantear alternativas a la quema se deben considerar estas dimensiones.
- 2025 Agricultura arroz reducido metano
- Brechas institucionales: no se identifican brechas relevantes, ya que la medida va a requerir el liderazgo de INDAP, que cuenta con personal y programas que pueden implementar la medida.
- Brechas técnicas: gran parte de los productores utilizan sistemas productivos tradiciones para el arroz, y por ende, no existe conocimiento técnico para un sistema productivo de arroz bajo en carbono.
- Brechas legales: no se identifican brechas legales existentes.
- Brechas económicas: el cultivo del arroz es desarrollado por pequeños productores, que son beneficiarios de INDAP, y la mayoría trabaja con sistema de contrato con la agroindustria, que le da financiamiento para que pueda llevar a cabo el ciclo productivo. Cualquier cambio de cultivo debe considerar toda la cadena de producción primaria y agroindustrial y manejar conjuntamente el riesgo económico asociado a un cambio del sistema productivo.

a. Evaluación de co-beneficios

i. Desarrollo de las cadenas causales

En base a los presentado en la Guía para la Elaboración de los Planes Sectoriales de Mitigación (DICTUC, 2023), la cadena causal es una herramienta que permite identificar y esquematizar los efectos secuenciales de las medidas de mitigación. Ayuda a determinar co-beneficios, costos y riesgos asociados a estas medidas. Aunque no puede identificar todos los efectos, destaca los cambios más relevantes, ya sean directos, indirectos, deseados o no deseados. Se utiliza para evaluar el impacto de las medidas y puede revelar cambios inesperados en el camino hacia los objetivos de mitigación. A

continuación, se presentan las cadenas causales para las 6 medidas de mitigación del sector agricultura:

- 2025 Agricultura biodigestores porcinos

En la Figura 15 se presenta la cadena causal para la implementación de Biodigestores para el tratamiento de Purines en plantales porcinos:

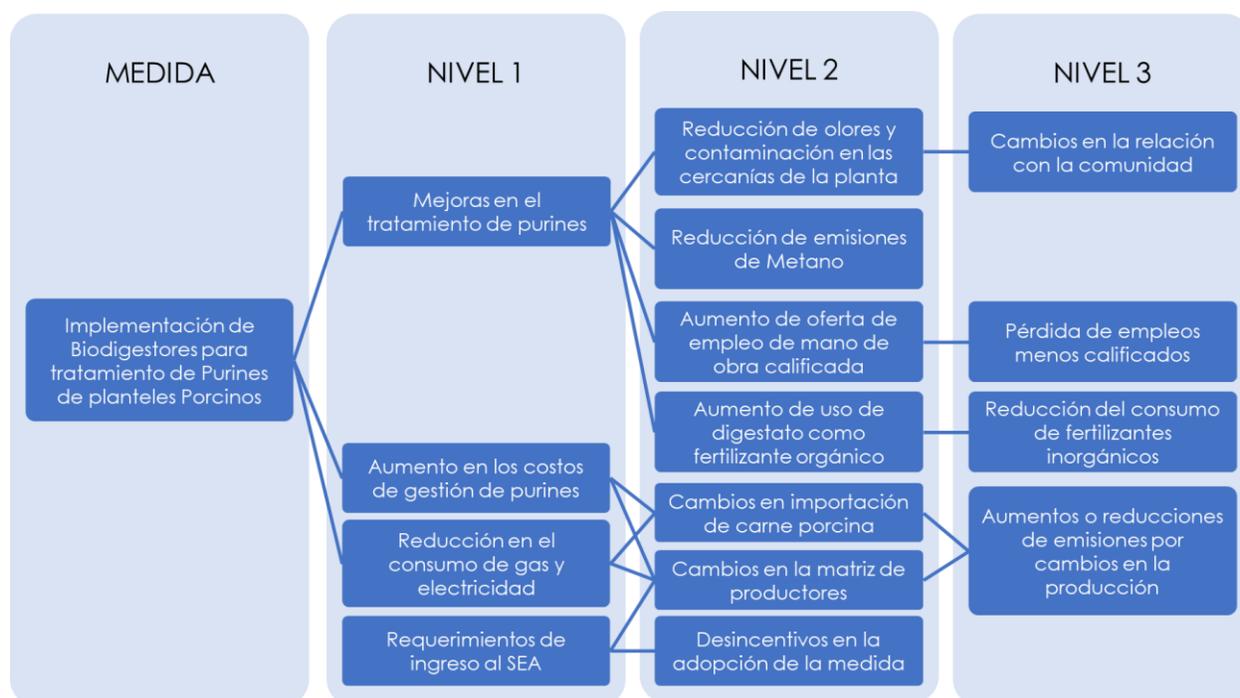


Figura 15: Cadena causal de la medida Implementación de Biodigestores para tratamiento de Purines de plantales Porcinos.

Fuente: Elaboración propia

La implementación de esta medida directamente mejora el tratamiento de purines, lo cual tiene efectos directos en la generación de olores y contaminantes que expelen de las piscinas de tratamiento, y reduciendo las emisiones de metano. La operación de la planta requiere de mano de obra capacitada o calificada (Pérez Medel, 2010), lo cual genera beneficios en la creación de empleos de este tipo, sin embargo, también puede haber una reducción en empleos menos calificados, debido a que las piscinas de purines estarían siendo suplantadas por el biodigestor.

Los Biodigestores generan como subproducto, biogás y digestatos que contienen buenas cualidades fertilizantes (Odales et al., 2020), el uso de estos fertilizantes puede reducir en el tiempo el consumo de fertilizantes inorgánicos.

Sin embargo, los biodigestores tienen un alto costo de implementación (Pérez Medel, 2010), lo cual puede reducirse con los subproductos generados. Estos subproductos pueden ser usados para generación eléctrica, y generación de biogás, sin embargo, la inversión requerida puede generar cambios en la matriz de productores, ya que

pequeños productores no tendrían la capacidad económica para generar la inversión inicial. A su vez el aumento en los costos de operación de las plantas porcinas puede aumentar los precios de la carne, generando un cambio en el consumo e importación del producto.

Dependiendo del tamaño de la planta y los avances en la legislación actual, puede que los requerimientos del SEA para los proyectos de biodigestores sean una barrera para pequeños y medianos productores, generando un desincentivo en la adopción de la medida.

- 2025 Agricultura uso eficiente fertilizantes

En la Figura 16 se presenta la cadena causal para la medida uso eficiente de fertilizantes:

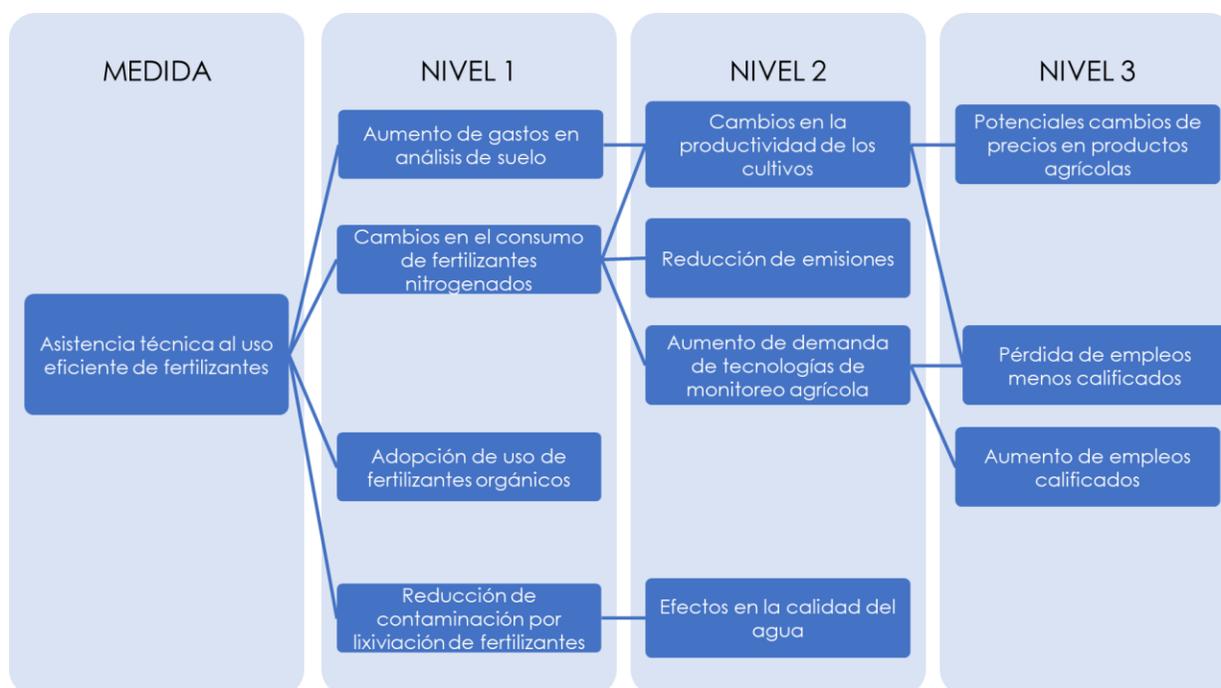


Figura 16: Cadena causal de la medida Asistencia técnica al uso eficiente de fertilizantes.

Fuente: Elaboración propia

Para la implementación de la medida, se requiere de análisis de suelo a nivel predial que identifique si existe sobre o sub-fertilización, esto asociado al cambio en los consumos de fertilizantes. Al volver su aplicación eficiente puede generar cambios en la productividad de los cultivos, un uso correcto de la medida implica una mejor productividad de los cultivos, ya que un uso inadecuado de los fertilizantes puede llevar a la planta a tener deficiencias o excesos de nutrientes (Penuelas et al., 2023). Esto directamente puede afectar el precio de los productos agrícolas.

Un uso eficiente de nutrientes puede requerir de monitoreo continuo u otro tipo de tecnologías que permitan tomar las correctas decisiones del uso de fertilizantes, esto abrirá nuevos puestos de trabajo calificados, a desmedro de empleos sin calificación.

Al reducir el exceso de fertilización se reduce la contaminación en el agua, ya que la lixiviación de estos fertilizantes aumenta las concentraciones de nitratos, generando problemas ambientales (Penuelas et al., 2023).

- 2025 Agricultura aditivo reductor metano

En la Figura 17 se presenta la cadena causal para la medida llamada aditivos para reducir la fermentación entérica:

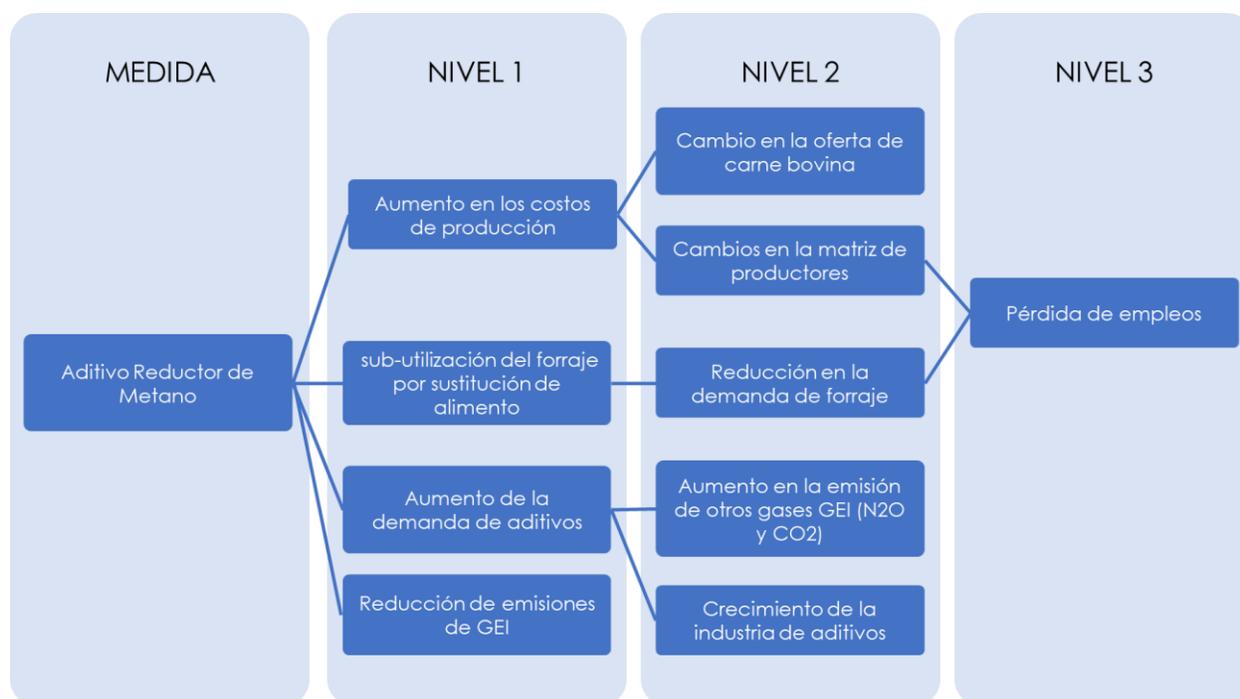


Figura 17: Cadena causal de la medida Aditivo Reductor de Metano

Fuente: Elaboración propia

Según Pinares-Patiño (n.d.), la ingestión de forraje decrece en bovinos a consecuencia de la suplementación con un aditivo reductor, resultando en la sub-utilización del forraje, esto puede tener un efecto directo en la demanda del sector por forraje.

Conectado con otra cadena causal, el costo de los aditivos pueden generar directamente un aumento en los costos de producción bovina, y en los precios de la carne. Productores pequeños y medianos que no tienen la capacidad económica de adoptar un cambio dietario que reduzca la fermentación entérica pueden quebrar o quedarse fuera de futuros mercados más exigentes, afectando la oferta y valor de la carne bovina, como también puestos de empleo en el sector.

La demanda de estos aditivos puede generar un crecimiento en esta industria. La producción de aditivos y su uso, sin embargo, no son inocuos, y están asociados con emisiones de otros GEI (Pinares-Patiño, n.d.)

- 2025 Agricultura biodigestores bovino

En la Figura 18 se presenta la cadena causal para la medida llamada biodigestores para tratamiento de purines de bovinos en confinamiento:

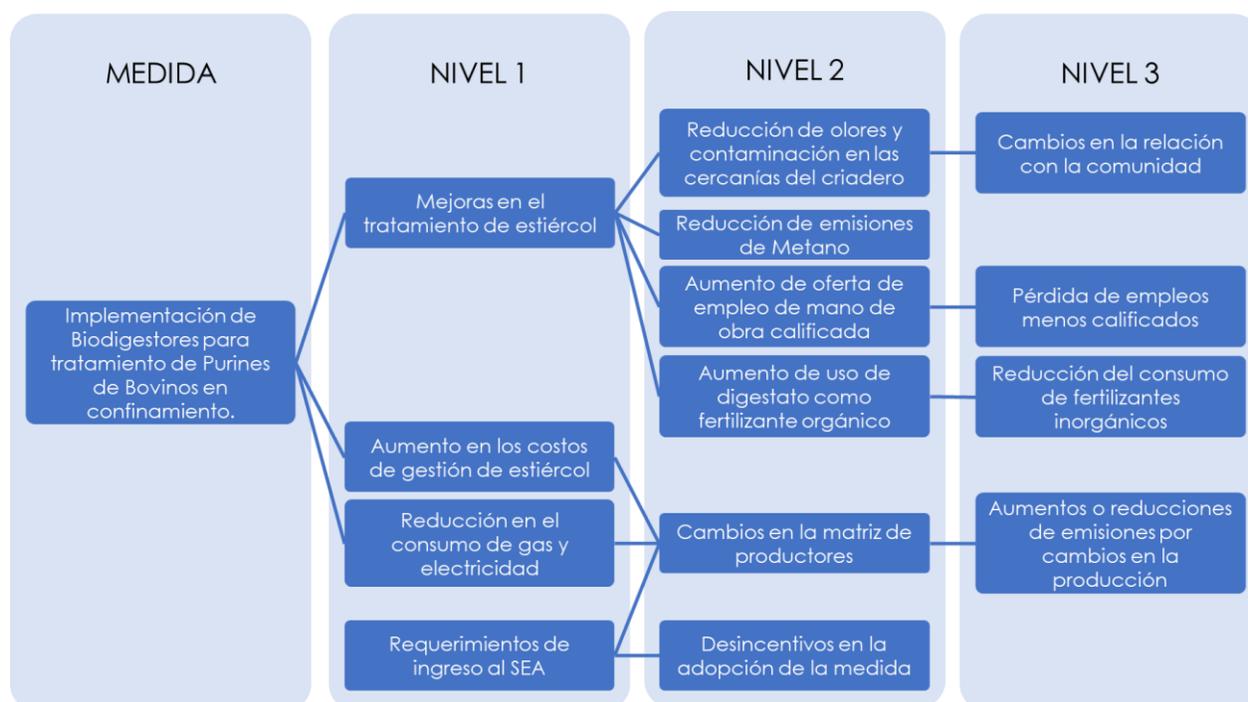


Figura 18: Cadena causal de la medida Implementación de Biodigestores para tratamiento de Purines de Bovinos en confinamiento.

Fuente: Elaboración propia

Esta cadena causal es similar a la de biodigestores porcinos, su implementación mejora el tratamiento del estiércol, reduciendo olores, y disminuyendo las emisiones de metano. su implementación genera un cambio en la oferta de empleos calificados y no calificados. Además, los biodigestores producen biogás y fertilizantes que pueden reducir el uso de fertilizantes inorgánicos a largo plazo.

Los altos costos iniciales de los biodigestores podrían ser mitigados con la generación de subproductos, como electricidad y biogás.

Además, la regulación ambiental y el tamaño de la planta podrían ser barreras para pequeños y medianos productores, desincentivando la adopción de esta medida.

- 2025 Agricultura quemas agrícolas

En la Figura 19 se presenta la cadena causal para la medida llamada reducción de quemas agrícolas:

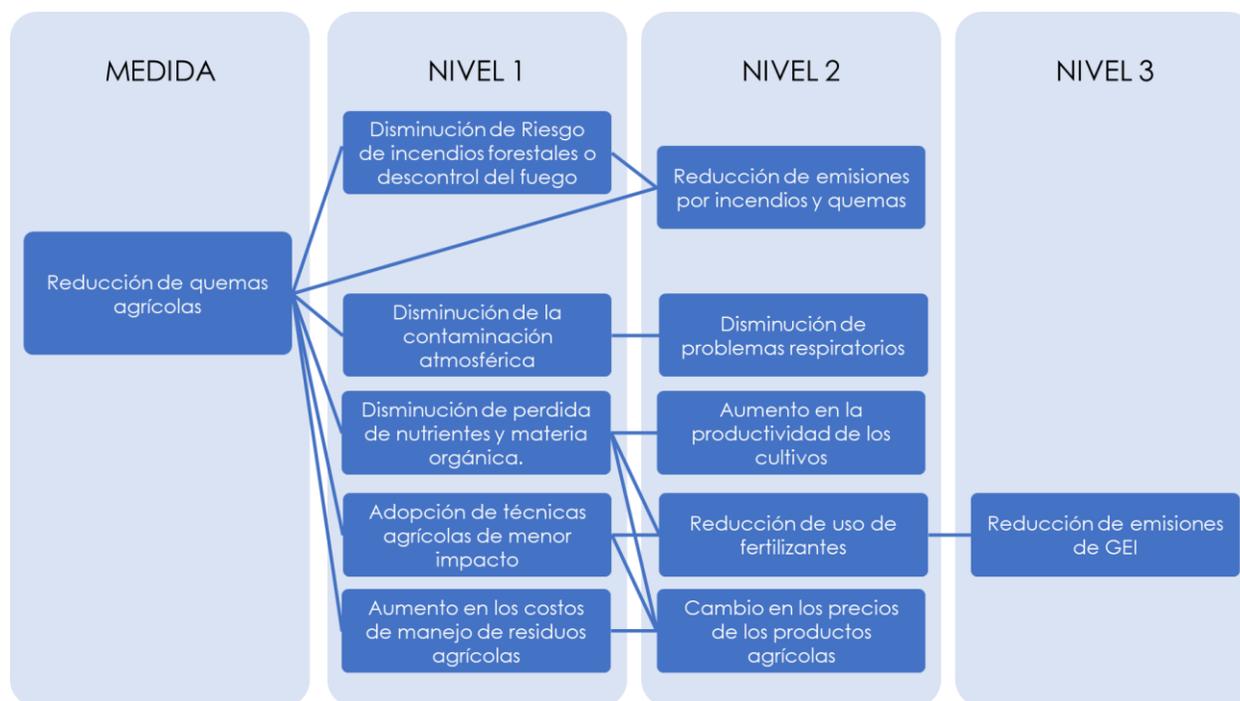


Figura 19: Cadena causal de la medida Reducción de Quemas Agrícolas.

Fuente: Elaboración propia

Las quemas agrícolas aumentan el riesgo de incendios y descontrol del fuego, la reducción de las quemas agrícolas disminuye estos riesgos, como también las emisiones por quema de biomasa y la contaminación aérea (Ungerfeld M. et al., 2021).

Desde el punto de vista del suelo, las quemas agrícolas eliminan la materia orgánica y microorganismos en los primeros centímetros, produce una pérdida de nitrógeno amoniacal y reduce la fertilidad natural de los suelos agrícolas por el aumento de las temperaturas (Sepúlveda S. & Sánchez P., 2021)

Reducir las quemas implica reducir todas las consecuencias que conlleva la contaminación, los incendios forestales y la pérdida de nutrientes, como lo son los problemas respiratorios, la productividad de los cultivos, el cuidado del suelo, la reducción de usos de fertilizantes para recuperar las propiedades del suelo perdidas, y también la reducción de emisiones.

Sin embargo, la adopción de esta medida requiere de un manejo de residuos agrícolas distinto a la quema, aumentando los costos de esta actividad, que en consecuencia puede afectar a los precios de los productos.

- 2025 Agricultura arroz reducido en metano

En la Figura 20 se presenta la cadena causal para la medida llamada arroz bajo en metano:

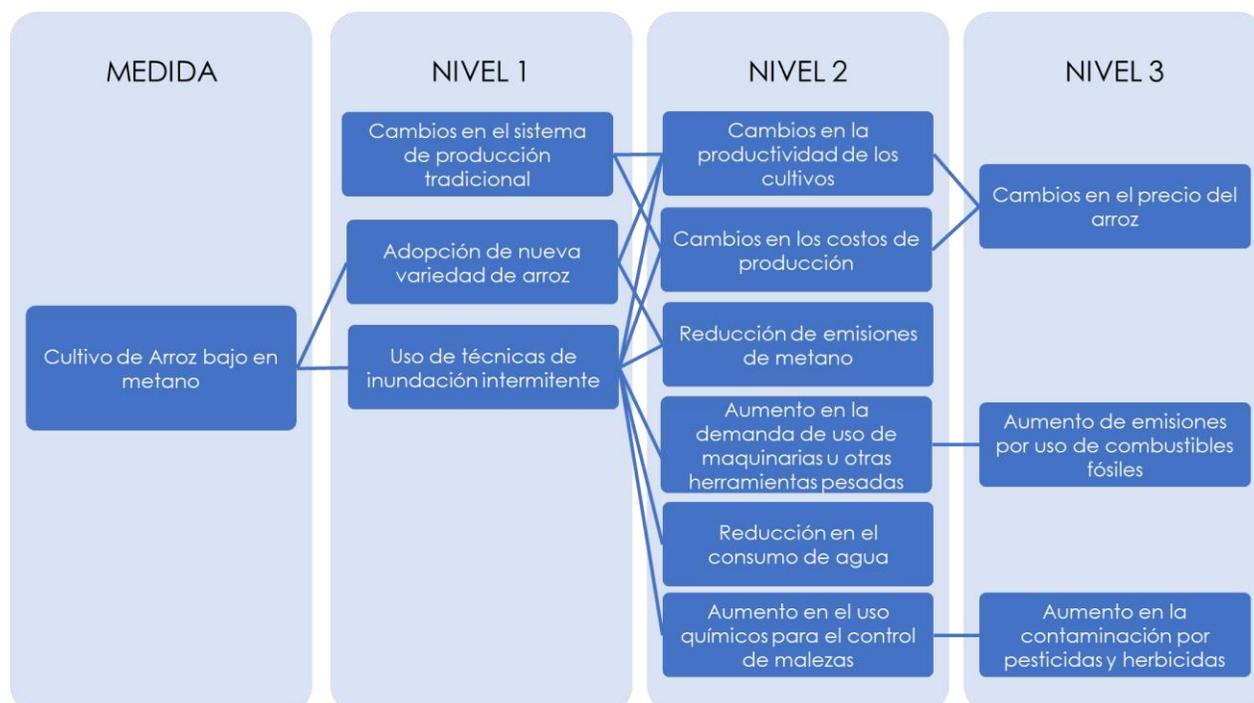


Figura 20: Cadena causal de la medida Arroz bajo en metano.

Fuente: Elaboración propia

Existen varias formas de aproximarse a la reducción de metano en cultivos de arroz, de las cuales destacan el manejo del agua y la selección de variedades (Paredes et al., 2021). En el uso de técnicas de inundación intermitente, existe evidencia que muestra que estas técnicas no solo disminuyen las emisiones de metano, sino que también generan beneficios en la productividad de los cultivos (Jang et al., 2023). En una creciente demanda de granos a nivel nacional y mundial, una mejor producción puede disminuir o preservar el precio del arroz. Sin embargo, los costos de operación de esta actividad, aunque reducen el consumo de agua, puede aumentar como también pueden requerir de maquinaria u otro tipo de infraestructura y prácticas que pueden aumentar las emisiones de GEI distintas al metano.

Es esencial ajustar el riego para evitar afectar el rendimiento del cultivo, ya que la planta de arroz es más sensible al déficit hídrico durante la floración y el llenado de los granos. La introducción de suelo aireado para reducir las emisiones de CH₄ a menudo lleva a la pérdida de nitrógeno, por lo que es necesario optimizar tanto el manejo del agua como del nitrógeno para reducir las emisiones de CH₄ y N₂O y, en consecuencia, el impacto en el calentamiento global asociado al cultivo de arroz (Paredes et al., 2021).

Las variedades de arroz influyen en las emisiones de CH₄, siendo más altas durante la fase de plena floración. Factores morfológicos como el área foliar, el volumen de raíces se relacionan con las tasas de emisión de este gas GEI. En condiciones de escasa vegetación, variedades más bajas, precoces y productivas emiten menos CH₄, posiblemente debido a una menor disponibilidad de carbono en la floración, entre otras. La emisión de CH₄ debe considerarse en relación con la productividad por

kilogramo de alimento producido (Paredes et al., 2021). De la misma forma que las otras cadenas causales, esto puede llevar a cambios en los precios del arroz.

b. Evaluación de riesgos

- 2025 Agricultura biodigestores porcinos

Actualmente se está tramitando la inclusión de los olores como contaminante en la Ley 19.300, dependiendo de cómo avance esta tramitación, y que tan alineado con la medida y la ECLP estén los reglamentos que regulen dicha modificación, puede existir sinergia o riesgos/desincentivos en la implementación de la medida. A su vez, el Decreto Supremo N°9/2022 que establece normas de emisión de contaminantes en plantales porcinos que, en función de sus olores, generan molestia y constituyen un riesgo a la calidad de vida de la población, puede generar un desincentivo en la aplicación de biodigestores, ya que, sin incentivos o subsidios económicos que permitan solventar los altos costos de implementación, otros métodos de eliminación de olores menos intensivos en la reducción de GEI tendrán mayores tasas de adopción.

En esta misma línea, la inversión inicial para adquirir e instalar biodigestores y sistemas de generación de biogás es alta, lo que podría ser un riesgo financiero si las plantas de cerdos no pueden hacer frente a estos gastos, específicamente pequeños y medianos productores. Este riesgo puede disminuir con subsidios estatales.

La reducción del precio del kWh cogenerado, así como el aumento de precio del gas natural pueden hacer que los beneficios de la implementación de biodigestores no sean económicamente sostenibles para pequeños y medianos productores. A su vez, los costos de operación, como el mantenimiento de los biodigestores y el suministro de sustrato, pueden ser altos y requerir una inversión continua.

La instalación de biodigestores debe tener un tamaño mínimo para que sea sostenible financieramente en el tiempo, esto puede generar que pequeños productores no tengan la capacidad técnica ni financiera para su implementación, a su vez, el aumento en los costos de operación de plantas de tratamiento que abarque a varios productores, requeriría de logística y costos de operación más altos, ya que se necesitaría del traslado de los purines hacia el biodigestor, lo que aumentaría significativamente los costos de operación y reduciría la capacidad de mitigación.

Aunque los biodigestores pueden reducir los olores y la contaminación ambiental, todavía puede haber preocupaciones y conflictos con la comunidad local si no se gestionan y maneja adecuadamente el biodigestor, disminuyendo la reducción de los olores como también otros problemas, como los efectos visuales de la infraestructura, accidentes, explosiones entre otros.

En esta misma línea la capacitación del personal para operar los biodigestores es crucial, y la falta de formación adecuada puede resultar en accidentes o errores de operación. A su vez, se requerirá de personal altamente capacitado para la operación del biodigestor, aumentando los costos de operación de este. En esta misma línea la

cantidad de personal calificado para la operación de la planta puede ser insuficiente para suplir con la demanda potenciales nuevos empleos.

Si no se gestionan correctamente, los gases emitidos por los biodigestores pueden afectar la salud de los trabajadores y la comunidad local. A su vez, el mal manejo del biodigestor puede generar accidentes como la descarga de efluentes mal tratados, accidentes por parte de la operación de estos podría contaminar las fuentes de agua locales si no se toman las medidas adecuadas.

Finalmente, si los biodigestores no funcionan eficientemente, y no reciben purines suficientes o en un ritmo constante, la producción de biogás podría ser insuficiente para cubrir las necesidades energéticas de la planta de cerdos, lo que requeriría fuentes de energía adicionales, aumentando los costos de operación y extendiendo el periodo de retorno de la inversión.

- 2025 Agricultura uso eficiente fertilizantes

Existe un desconocimiento del estado del arte del uso de fertilizantes del país, se requieren investigaciones que muestren el consumo de fertilizantes a nivel predial, y los aumentos y reducciones en la producción en el cambio en la aplicación, como también pruebas piloto y casos de estudio de nuevas tecnologías que permitan aplicar la medida de manera más eficiente. A su vez, existe una falta de conocimiento técnico de los productores sobre el uso eficiente de fertilizantes.

La inversión inicial en análisis de suelo y equipos de aplicación eficiente de fertilizantes puede ser alta, lo que representa un riesgo económico si no se gestiona adecuadamente. Los precios de los fertilizantes nitrogenados pueden ser volátiles en el mercado, lo que puede afectar los costos de producción y la rentabilidad.

La aplicación de esta medida requiere de mano de obra calificada para la aplicación eficiente, en este sentido el riesgo está en la potencial falta de esa mano de obra para cumplir con los plazos de adopción que se esperan de la medida. La gestión inadecuada de los fertilizantes puede resultar en una baja eficiencia en la absorción de nutrientes por parte de los cultivos, lo que a su vez podría afectar negativamente el rendimiento y la producción.

Puede existir una resistencia en la adopción de la medida por parte de los agricultores, tanto si se requiere un cambio tecnológico, cultural, de tradiciones y prácticas arraigadas que dificulten la implementación de la medida, debido a la percepción de los agricultores, que la reducción del uso de fertilizantes puede tener un impacto negativo en el rendimiento de los cultivos. Sin un diagnóstico de los requerimientos de fertilizantes adecuado puede llevar a una falta de nutrientes esenciales y por consecuencia la degradación del suelo y a una disminución de la fertilidad a largo plazo.

- 2025 Agricultura aditivo reductor metano

Existe una falta de aplicabilidad de las tecnologías de reducción de emisiones de CH₄ entérico en la crianza/explotación de rumiantes en sistemas de pastoreo. Esta estrategia puede no ser universalmente aplicable y debe adaptarse a las circunstancias específicas de cada explotación ganadera.

La necesidad de suministrar suplementos de manera oportuna y económicamente viable implica una serie de desafíos logísticos, económicos y de manejo en la producción ganadera que pueden ser una barrera para pequeños y medianos productores. Los ganaderos deben encontrar un equilibrio entre la mejora de la nutrición de los animales, la eficiencia de la producción y la mitigación de las emisiones de metano, teniendo en cuenta las condiciones específicas de su operación y el entorno en el que trabajan.

La suplementación con aditivos debe ser alta dentro de la dieta diaria para influir significativamente en la metanogénesis, lo cual puede aumentar significativamente el costo económico de la alimentación del ganado bovino (INIA, n.d., INIA, 2019). Aunque se reduzcan las emisiones de metano entérico, aumentar el consumo de aditivos, aumentará las emisiones adicionales de otros gases de efecto invernadero (GEI), como CO₂ y N₂O, asociadas con la producción y uso de suplementos (INIA, n.d.).

Resistencia del sector a aplicar la medida, debido al costo asociado a la compra de aditivos, la dificultad de implementación en rumiantes semi confinados, como también aspectos culturales, tradiciones y prácticas arraigadas en el sector ganadero. La suplementación con concentrados como método de reducción de emisiones puede resultar en costos adicionales que volverían inviable de aplicar en pequeños y medianos productores.

- 2025 Agricultura biodigestores bovinos

Para el correcto funcionamiento de los biodigestores es deseable la provisión de estiércol de manera continua y controlada. Si esto no es posible de mantener en el tiempo, no es posible la implementación de la medida a escala pequeña lo que representa una barrera para pequeños y medianos productores.

Al igual que para los biodigestores porcinos, actualmente se está tramitando incluir los olores como contaminante en la Ley 19.300, y, dependiendo de cómo avance esta tramitación y la alineación de los reglamentos que la regulen con otros instrumentos como la ECLP, puede existir sinergia o riesgo en la implementación de la medida.

La inversión inicial para adquirir e instalar biodigestores y sistemas de biogás puede ser alta, lo que podría ser un riesgo financiero si las plantas ganaderas no pueden hacer frente a estos gastos. Al igual que con los biodigestores porcinos, este riesgo puede disminuir con incentivos estatales.

La reducción del precio del kWh cogenerado, así como el aumento de precio del gas natural pueden hacer que los beneficios de la implementación de biodigestores no sean económicamente sostenibles para pequeños y medianos productores.

El mantenimiento de los biodigestores y el suministro de estiércol pueden ser altos y requerir una inversión continua, a su vez, para el manejo y mantención del biodigestor se requiere de mano de obra calificada, aumentando los costos de operación de la planta.

La instalación de biodigestores debe tener un tamaño mínimo para que sea sostenible financieramente en el tiempo, esto puede generar que pequeños productores no tengan la capacidad técnica ni financiera para su implementación, a su vez la industria bovina no utiliza en su generalidad un confinamiento total, lo que hace que la colecta de estiércol sea menor, haciendo difícil la implementación de la medida para pequeños y medianos productores.

La capacitación del personal para operar los biodigestores es crucial, y la falta de formación adecuada puede resultar en accidentes o errores de operación, por lo cual la falta de mano de obra calificada para el manejo de los biodigestores puede ser una barrera en su implementación.

Resistencia del sector privado a la adopción de la medida, debido al costo y a la dificultad de implementación, sobre todo en el sector ganadero bovino, que se caracteriza por ser varios productores pequeños.

Aunque los biodigestores reducen los olores y la contaminación ambiental, todavía puede haber preocupaciones y conflictos con la comunidad local si no se gestionan adecuadamente los olores y los efectos visuales de la infraestructura. Si no se opera correctamente el biodigestor, los gases emitidos pueden afectar la salud de los trabajadores y la comunidad local. Una mala operación y mantenimiento de la planta de tratamientos podría atraer vectores, accidentes ambientales, explosiones, entre otros.

- 2025 Agricultura quemas agrícolas

La resistencia en la adopción de la medida por parte de los agricultores, tanto si se requiere un cambio en las prácticas usadas para la eliminación de residuos, como culturales, las tradiciones y prácticas arraigadas pueden dificultar la implementación de la medida.

- 2025 Agricultura arroz reducido metano

La falta de conocimiento técnico en las áreas rurales puede representar un riesgo significativo para la implementación de proyectos de gestión de agua en campos de arroz. Los riesgos tecnológicos pueden incluir la implementación deficiente de tecnologías de gestión de agua en los campos de arroz, reduciendo la efectividad en la capacidad de mitigación de la medida.

Resistencia por parte de los agricultores de aplicar nuevas técnicas de inundación, o adopciones de variantes que reducen la emisión de metano, por factores culturales, tradiciones y prácticas arraigadas, más que económicas.

A su vez, las nuevas técnicas de manejo pueden generar un aumento en la aparición de malezas y plagas, lo que requerirá una mayor cantidad de herbicidas y pesticidas, aumentando los costos de operación. La activa participación de los agricultores es fundamental en la implementación de proyectos de reducción de metano, y la falta de colaboración puede ser un riesgo social importante.

Existe el riesgo de que los beneficios de los proyectos de reducción de metano no se distribuyan equitativamente entre los agricultores y las comunidades rurales.

La gestión inadecuada del agua en los campos de arroz puede tener impactos ambientales negativos, como el agotamiento de los recursos hídricos y la degradación del suelo y la ineficiencia de la medida en reducir las emisiones de metano. Este riesgo es de vital importancia en el contexto de la mega sequía que enfrenta el país.

La implementación de nuevas prácticas de manejo del agua o de nuevas variantes de arroz podría afectar la producción, y, por lo tanto, tener un impacto en la seguridad alimentaria.

Los proyectos de gestión de campos de arroz pueden requerir inversiones significativas en infraestructura de riego y drenaje, como también en la operación, debido al uso de maquinarias u otras herramientas pesadas, lo que representa un riesgo económico y una barrera de adopción para pequeños y medianos productores.

VI. Medios de Implementación

Para el desarrollo de los medios de implementación requeridos para cada una de las medidas se ha utilizado la guía para la elaboración de planes sectoriales de mitigación, la cual es coherente con la clasificación e indicaciones establecidas en la LMCC y ECLP respecto de los medios de implementación.

Los medios de implementación se clasifican en:

1. Desarrollo y Transferencia de Tecnología
2. Creación y Fortalecimiento de Capacidades
3. Lineamientos Financieros

Para el desarrollo de los medios de implementación se identificaron y caracterizaron las medidas, que corresponden a las acciones habilitantes que conformarán los medios de implementación y que permitirán que la medida de mitigación pueda desarrollarse y cumplir su objetivo.

Luego de caracterizadas las medidas de medio de implementación están se priorizaron y se describen en las fichas propuestas en las guías.

Para la identificación de las medidas de medios de implementación se ha hecho un análisis y evaluación de las brechas y riesgos asociados a la medida de mitigación.

- 2025 Agricultura biodigestores porcinos

En base a las brechas y riesgos identificados para la medida de mitigación de biodigestores porcinos se proponen las medidas de medios de implementación:

	Medidas de Medios de Mitigación
<p>Brechas</p> <p>Norma de Olores Coordinación con MMA Falta capacidades tecnológicas del productor Requerimiento de alta inversión para productores sin capacidad de crédito Desarrollar proceso de autorización ambiental Autorización SEA y SEC</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Evaluar en coordinación con MMA los cambios en los sistemas de tratamiento de purines que genere la norma de olores 2. Continuar programa público-privado de "Transformación Tecnológica Energética y Ambiental para el Segmento Pyme de la Industria Porcina", para diseñar las opciones de implementación de los proyectos 3. Evaluar un sistema de apoyo financiero estatal para la implementación de proyectos (garantías crediticias, subsidios, bonificación u otro)
<p>Riesgos</p> <p>Que los productores decidan cerrar Que el cambio de sistema no se económicamente sostenible Impactos negativos por mal manejo del biodigestor</p>	

Tabla 21 Ficha Medidas de Medios de Implementación: 2025 Agricultura biodigestores porcinos

Elemento	Subelemento	Medida Asociada 1	Medida Asociada 2	Medida Asociada 3
Identificación	Nombre	Evaluar en coordinación con MMA la norma de olores para planteles porcinos	Continuar programa "Transformación Tecnológica Energética Pyme Porcina	Evaluar un sistema de apoyo financiero estatal para Pymes porcinas
	Tipo de medio de implementación	Creación y Fortalecimiento de Capacidades	Desarrollo y Transferencia de Tecnología	Lineamientos Financieros
	Fecha implementación	Primer semestre 2024	Primer semestre 2024	Primer semestre 2024
Objetivo	Necesidad en que se enfoca	Se necesita conocer que sistema de tratamiento implementarán los productores porcinos para dar cumplimiento a la ley de olores, ya que al disminuir olores se bajan las emisiones	Saber cómo implementar las soluciones para el tratamiento de purines identificadas y caracterizadas en el programa de Pymes porcinas, incluyendo los permisos SEC y SEA	Identificar opciones de financiamiento público para apoyar las inversiones de implementación y operación de biodigestores
	Barrera o riesgo que busca resolver/mitigar	Riesgo que los productores opten por un tratamiento para manejar olores y después no puedan modificarlo a biodigestor	Barrera técnico-económica asociada a la falta de financiamiento para la inversión del sistema de tratamiento y su posterior operación	Que las Pymes porcinas cierren y la industria se concentre en pocos productores grandes
	Objetivo práctico	Lograr congruencia entre la norma de olores y la medida de mitigación	Tener un sistema diseñado para la implementación de biodigestores en las Pymes porcinas	Contar con una vía de financiamiento para los biodigestores
Descripción	Acciones concretas	Presupuestar recursos para licitar la realización de un estudio/encuesta para conocer y dimensionar los tratamientos de purines que harán los productores, quienes deben levantar su línea base en enero 2024 y reducir olores en 70% y 75% a febrero 2027	Presupuestar recursos para la licitación y diseñar un programa que haga viable técnica y económicamente la implementación de biodigestores	Realizar análisis económico y presupuestario para contar con un fondo de cofinanciamiento para la implementación de biodigestores porcinos

	Medidas de mitigación relacionadas	Biodigestores porcinos	Biodigestores porcinos	Biodigestores porcinos
	Otros medios de implementación relacionados	Continuar con el programa de transformación tecnológica energética, y Evaluar sistema de apoyo financiero	Evaluar impacto de norma de olores	Continuar programa "Transformación Tecnológica Energética Pyme Porcina"
Alcance	Alcance temporal	12 meses	12 meses	12 meses
	Alcance territorial	Nivel nacional	Nivel nacional	Nivel nacional
Instituciones	Institución líder	ODEPA	ODEPA	CORFO
	Instituciones involucradas	Ministerio de Medio Ambiente	Ministerio de Energía/CORFO	ODEPA/Ministerio de Economía
Financiamiento	Costo implementación	25.000.000 pesos	50.000.000 pesos	No genera costo incremental
	Origen del financiamiento	ODEPA	ODEPA/CORFO	CORFO
	Instrumento por medio del cual se ejecutaría	Licitación de estudio	Licitación de estudio	Comité de trabajo interministerial (CORFO-MINECON-MINHACIENDA)
Análisis cualitativo	Facilitadores	Se debe cubrir solo el 20% de la producción nacional con una distribución en la zona centro sur	Ya existe un estudio que identifico a productores Pymes y les entregó una solución técnica	Experiencia institucional en este tipo de estudios.
	Brechas de ejecución	Falta de financiamiento	No existe factibilidad técnica y/o económica del programa de implementación de biodigestores	Falta de priorización de la medida
Seguimiento	Indicadores para evaluar su cumplimiento	Distribución de sistemas de tratamiento de purines que serán realizados por productores que hoy solo tienen tratamiento primario	Programa de implementación de biodigestores en Pymes porcinas diseñado y con evaluación de factibilidad	Creación de un fondo de cofinanciamiento para la implementación de biodigestores

Fuente: Elaboración propia

- 2025 Agricultura uso eficiente fertilizantes

	Medidas de Medios de Mitigación
<p>Brechas</p> <p>No existe un organismo en el estado con competencia directa para incentivar el uso eficiente de fertilizante.</p> <p>No hay claridad respecto del potencial exacto de la medida y en cultivos y perfiles de productores tiene mayor potencial y costo efectividad.</p> <p>Normas para crear institucionalidad que se haga cargo de programa de promoción del uso eficiente de fertilizantes e implementación de certificación.</p> <p>Si bien se espera que esta medida reduzca los costos de los agricultores, el esfuerzo financiero para lograr la adopción de estas prácticas puede ser significativo.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Diagnóstico de potenciales de reducción uso fertilizantes 2. Certificación calidad fertilizantes nitrogenados
<p>Riesgos</p> <p>Desconocimiento del estado del arte del uso de fertilizantes del país</p> <p>Falta de conocimiento técnico de los productores sobre el uso eficiente de fertilizantes.</p> <p>Inversión inicial en análisis de suelo y equipos de aplicación eficiente de fertilizantes puede ser alta.</p> <p>Se requiere de mano de obra calificada.</p> <p>Resistencia en la adopción</p>	

Tabla 22 Ficha Medidas de Medios de Implementación : 2025 Agricultura uso eficiente fertilizantes

Elemento	Subelemento	Medida Asociada 1	Medida Asociada 2
Identificación	Nombre	Diagnóstico de potenciales de reducción uso fertilizantes	Certificación calidad fertilizantes nitrogenados
	Tipo de medio de implementación	Desarrollo y transferencia de tecnología	Creación y fortalecimiento de capacidades
	Fecha implementación	Segundo semestre 2024	Segundo semestre 2024
Objetivo	Necesidad en que se enfoca	Falta de diagnóstico respecto de dónde se debe centrar las intervenciones para potenciar la reducción en uso de fertilizantes	Existen problemas en la calidad y correspondencia en los contenidos de fertilizantes
	Barrera o riesgo que busca resolver/mitigar	Ya que pueden existir importantes diferencias en la eficiencia de uso entre distintos agricultores es necesario evaluar donde se deben enfocar las medidas para que estas tengan una mayor eficiencia	Dado que no siempre los contenidos son los indicados en las etiquetas esto puede afectar la eficiencia de uso, los rendimientos y las emisiones
	Objetivo práctico	Reducir el costo de implementación y aumentar la eficiencia de la medida de mitigación relacionada	Ayudar a lograr una mayor eficiencia efectiva en el uso de fertilizantes
Descripción	Acciones concretas	Diagnóstico sobre intensidad de uso de fertilizantes a nivel nacional (levantar información sobre qué tipo de productores, medianos, pequeños o grandes).	Implementar sistema de certificación de fertilizantes nitrogenados respecto a sus contenidos
	Medidas de mitigación relacionadas	Uso eficiente de fertilizantes nitrogenados	Uso eficiente de fertilizantes nitrogenados
	Otros medios de implementación relacionados	Certificación calidad fertilizantes nitrogenados	Diagnóstico de potenciales de reducción uso fertilizantes
Alcance	Alcance temporal		
	Alcance territorial	Nivel nacional.	Nivel nacional.
Instituciones	Institución líder	Ministerio de Agricultura: ODEPA	Ministerio de Agricultura: ODEPA

	Instituciones involucradas	Ministerio de Agricultura: SAG	Ministerio de Agricultura: SAG
Financiamiento	Costo implementación	300.000 USD en total	700.000 USD en total
	Origen del financiamiento	Ministerio de Agricultura	Ministerio de Agricultura
	Instrumento por medio del cual se ejecutaría	Licitación de estudio	Normativa
Análisis cualitativo	Facilitadores	Existen antecedentes que podrían facilitar el desarrollo del diagnóstico	Existencia de estudios previos en Chile y otros países
	Brechas de ejecución	Un diagnóstico detallado podría requerir un levantamiento en terreno que es costoso y demoroso	Se requiere implementar nuevas normativas que regulen la certificación
Seguimiento	Indicadores para evaluar su cumplimiento	Estudios realizados que actualicen diagnóstico	Existencia y grado de utilización de sistema de certificación de calidad de fertilizantes nitrogenados

Fuente: Elaboración propia

- 2025 Agricultura aditivo reductor metano

	Medidas de Medios de Mitigación
<p>Brechas No hay mucho conocimiento, falta difusión. Actualmente no se utiliza. Reduce la rentabilidad económica del negocio.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dar a conocer el valor del uso de aditivos reductores de metano 2. Diseñar y evaluar los incentivos que puede producir un cambio en el productor hacia el uso de aditivos
<p>Riesgos No es aplicable a todas, debe diseñarse uno a uno. Puede aumentar las emisiones de otros gases GEI. Resistencia al cambio por parte de los productores por mayores costos de operación, ajustes en el manejo del ganado y logística.</p>	

Tabla 23 Ficha Medidas de Medios de Implementación: 2025 Agricultura aditivo reductor metano

Elemento	Subelemento		
Identificación	Nombre	Dar a conocer el valor del uso de aditivos reductores de metano y capacitar sobre su uso	Diseñar y evaluar los incentivos para el uso de aditivos
	Tipo de medio de implementación	Creación y Fortalecimiento de Capacidades	Lineamientos Financieros
	Fecha implementación	Primer semestre 2024	Segundo Semestre de 2024

Objetivo	Necesidad en que se enfoca	Desconocimiento del efecto del aditivo en el animal, y la reducción de las emisiones de la fermentación entérica	Lograr que los productores usen el aditivo reductor de metano
	Barrera o riesgo que busca resolver/mitigar	Barrera técnica, porque su uso es reciente, y puede existir un rechazo a los desconocido, y porque no se ha probado en todos los sistemas productivos.	Generar un incentivo para incorporarlo a la dieta, aun cuando el productor no tiene un beneficio directo económico, ni tampoco en el bienestar del animal.
	Objetivo práctico	Conocer el o los productos aditivos y su factibilidad de uso	Que el aditivo se incorpore en las dietas, en los concentrados para animales bovinos
Descripción	Acciones concretas	Programa de Granjas Pilotos y Capacitación en el Uso de Aditivo reductor de metano	Identificar incentivos económicos que modifiquen la decisión del productor para incorporar el aditivo
	Medidas de mitigación relacionadas	Aditivo reductor de metano	Aditivo reductor de metano
	Otros medios de implementación relacionados	Diseñar y evaluar los incentivos para el uso de aditivos	Dar a conocer el valor del uso de aditivos reductores de metano y capacitar sobre su uso
Alcance	Alcance temporal	12 meses, con frecuencia anual hasta 2030.	12 meses
	Alcance territorial	Nivel nacional.	Nivel nacional.
Instituciones	Institución líder	ODEPA	ODEPA
	Instituciones involucradas	INIA, INDAP	Ministerio de Hacienda
Financiamiento	Costo implementación		30.000.000
	Origen del financiamiento	Ministerio de Agricultura	Ministerio de Agricultura
	Instrumento por medio del cual se ejecutaría	Programas de Investigación y Cursos de Capacitación	Licitación pública

Análisis cualitativo	Facilitadores	INIA ya ha trabajado en la temática, existen las instancias de trabajo público privadas, a través de las mesas ganaderas regionales y nacional	El sector agropecuario cuenta con programas de apoyo e incentivos que podría usarse de referencia
	Brechas de ejecución	No hay una ganancia directa para el productor, no puede medir el impacto de reducción al usar el producto por lo cual puede haber poca acogida	Falta de información respecto del comportamiento y toma de decisión de los productores. Falta de disponibilidad de instrumentos económicos para el apoyo del programa
Seguimiento	Indicadores para evaluar su cumplimiento	Número de productores capacitados y su representación en el número de cabezas	Programa de apoyo diseñado y propuesta factible

Fuente: Elaboración propia

- 2025 Agricultura biodigestores bovinos

	Medidas de Medios de Mitigación
Brechas No existe uso actual de este tratamiento en bovinos confinados. El sistema de tratamiento requiere autorización de SEC y SEA. Alto costo de inversión y operación.	1. Desarrollar capacidades técnicas para la implementación de biodigestores 2. Diseñar y evaluar un programa y un fondo para caracterizar los sistemas productivos de bovinos confinados, en los cuales es factible de incorporar biodigestores de estiércol; y su implementación
Riesgos No ser solución aplicable a medianos y pequeños productores. Resistencia del sector porque requiere cambios de manejo. Requiere capacidad técnica que hoy no existe en los planteles.	

Tabla 24 Ficha Medidas de Medios de Implementación: 2025 Agricultura biodigestores bovinos.

Elemento	Subelemento		
Identificación	Nombre	Desarrollar capacidades técnicas para la implementación de biodigestores	Diseñar y evaluar un programa y un fondo para la implementación de biodigestores de estiércol bovino
	Tipo de medio de implementación	Creación y Fortalecimiento de Capacidades	Lineamientos Financieros
	Fecha implementación	Segundo semestre 2024	Segundo semestre 2024
Objetivo	Necesidad en que se enfoca	Contar con las capacidades para diseñar e implementar biodigestores de acuerdo a la realidad de los productores	Identificar opciones de financiamiento público para apoyar las inversiones de implementación y operación de biodigestores
	Barrera o riesgo que busca resolver/mitigar	Barrera técnico-económica por la falta de capacidades en la temática de biodigestores, y porque actualmente no se utilizan como un tratamiento para los purines bovinos, solo algunos casos puntuales	Que los productores opten por otros sistemas de tratamiento de purines menos eficientes en la reducción de emisiones de metano

	Objetivo práctico	Contar con capacidades técnicas para el diseño, implementación y operación de biodigestores bovinos	Contar con un incentivo económico para que los productores decidan implementar y operar biodigestores en sus planteles
Descripción	Acciones concretas	Realizar un curso de capacitación en Biodigestores, visitar experiencias nacionales en porcinos y en bovinos en otros países	Realizar análisis económico y presupuestario para contar con un fondo de cofinanciamiento para la implementación de biodigestores
	Medidas de mitigación relacionadas	Biodigestores Bovinos	Biodigestores Bovinos
	Otros medios de implementación relacionados	Diseñar y evaluar un programa y un fondo para la implementación de biodigestores de estiércol bovino	Desarrollar capacidades técnicas para la implementación de biodigestores
Alcance	Alcance temporal	12 meses con frecuencia anual hasta 2030	12 meses
	Alcance territorial	Nivel nacional.	Nivel nacional.
Instituciones	Institución líder	ODEPA	CORFO
	Instituciones involucradas	INIA, Ministerio de Energía	ODEPA/Ministerio de Economía
Financiamiento	Costo implementación	60.000.000	50.000.000
	Origen del financiamiento	Ministerio de Agricultura	Ministerio de Agricultura
	Instrumento por medio del cual se ejecutaría	Programa de Capacitación	Licitación pública
Análisis cualitativo	Facilitadores	Existen biodigestores operativos en algunos planteles porcinos	Existen programas en el sector agropecuario con incentivos económicos para apoyar las decisiones del productor
	Brechas de ejecución	Lograr una convocatoria y contar con productores interesados en capacitarse	Falta de financiamiento, falta de información del estado del arte de la situación nacional
Seguimiento	Indicadores para evaluar su cumplimiento	Cantidad de productores capacitados	Estudio realizado y propuesta factible

Fuente: Elaboración propia

- 2025 Agricultura quemas agrícolas

	Medidas de Medios de Mitigación
Brechas Falta de institución dedicada. Falta de maquinaria. No hay normativa de quemas por contaminantes globales.	1. Generación de antecedentes para promover reducción de quemas
Riesgos Resistencia en la adopción de la medida por parte de los agricultores. Menor costo que otras alternativas	

Tabla 25 Ficha Medidas de Medios de Implementación : 2025 Agricultura quemas agrícolas

Elemento	Subelemento	Medida Asociada 1
Identificación	Nombre	Generación de antecedentes para promover reducción de quemas
	Tipo de medio de implementación	Desarrollo y transferencia de tecnología
	Fecha implementación	Segundo semestre 2024
Objetivo	Necesidad en que se enfoca	Falta de antecedentes de relevancia local para demostrar las ventajas de incorporación de rastrojos en vez de quema, o de uso de siembra directa
	Barrera o riesgo que busca resolver/mitigar	Ya que pueden existir importantes diferencias entre distintos agricultores es necesario evaluar donde se deben enfocar las medidas para que estas tengan una mayor eficiencia
	Objetivo práctico	Reducir el costo de implementación y aumentar la eficiencia de la medida de mitigación relacionada

Descripción	Acciones concretas	Diagnóstico sobre intensidad de uso de fert. nivel nacional. (levantar información sobre qué tipo de productores, medianos, pequeños o grandes).
	Medidas de mitigación relacionadas	Reducción de quemas agrícolas
	Otros medios de implementación relacionados	
Alcance	Alcance temporal	
	Alcance territorial	Nivel nacional.
Instituciones	Institución líder	Ministerio de Agricultura: ODEPA
	Instituciones involucradas	
Financiamiento	Costo implementación	150.000 USD en total
	Origen del financiamiento	Ministerio de Agricultura
	Instrumento por medio del cual se ejecutaría	Licitación de estudio
Análisis cualitativo	Facilitadores	Existe evidencia general de la conveniencia de evitar las quemas
	Brechas de ejecución	Falta evidencia a nivel local para las distintas condiciones y cultivos
Seguimiento	Indicadores para evaluar su cumplimiento	Realización de estudio que entreguen antecedentes relevantes para la toma de decisiones de los agricultores

Fuente: Elaboración propia

- 2025 Agricultura arroz reducido metano

	Medidas de Medios de Mitigación
Brechas Falta de conocimiento técnico. Falta en la forma de producir de pequeños productores. Incorporar a la cadena de valor (agroindustria).	1. Desarrollar capacidades técnicas en pequeños productores para enfrentar un nuevo sistema de producción de arroz 2. Diseñar y evaluar un programa de INDAP para incentivar la adopción de un nuevo sistema productivo de arroz bajo en emisiones, que incluya el encadenamiento con la agroindustria.
Riesgos Resistencia al cambio. Dificultades por cambios en el manejo del cultivo. Bajas en la rentabilidad. Requerimiento de inversiones adicionales.	

Tabla 26 Ficha Medidas de Medios de Implementación: 2025 Agricultura quemas agrícolas

Elemento	Subelemento		
Identificación	Nombre	Desarrollar capacidades técnicas en pequeños productores para enfrentar un nuevo sistema de producción de arroz	Diseñar y evaluar un programa de INDAP para arroz bajo en emisiones que incluya a la agroindustria
	Tipo de medio de implementación	Creación y Fortalecimiento de Capacidades	Desarrollo y Transferencia de Tecnología
	Fecha implementación	Primer semestre 2024	Segundo semestre 2024
Objetivo	Necesidad en que se enfoca	Falta de conocimientos y capacidades técnicas para desarrollar el nuevo sistema productivo de arroz bajo en carbono	Falta programa específico de arroz que incentive el cambio de variedad e incluya a la agroindustria para que esté dispuesta a comprar la nueva variedad

	Barrera o riesgo que busca resolver/mitigar	Barrera técnica para enfrentar un cambio en el sistema productivo y de manejo del cultivo	Contar con los incentivos financieros para producir la adopción de la nueva variedad de arroz, y que el productor no se quede en la producción tradicional de inundación.
	Objetivo práctico	Generar capacidades en los pequeños productores para que puedan cambiar la variedad de arroz y siga siendo rentable su negocio	Generar el cambio de sistema productivo y que los pequeños agricultores adopten el arroz bajo en emisiones y mantengan o mejoren su rentabilidad
Descripción	Acciones concretas	Realizar curso de capacitación	Diseñar programa Arroz bajo en emisiones dentro del Programa TAS
	Medidas de mitigación relacionadas	Arroz reducido en metano	Arroz reducido en metano
	Otros medios de implementación relacionados	Diseñar y evaluar un programa de INDAP para arroz bajo en emisiones que incluya a la agroindustria	Desarrollar capacidades técnicas en pequeños productores
Alcance	Alcance temporal	12 meses con frecuencia bianual	12 meses
	Alcance territorial	Nivel nacional	Nivel nacional.
Instituciones	Institución líder	INDAP	INDAP
	Instituciones involucradas	ODEPA	ODEPA
Financiamiento	Costo implementación		
	Origen del financiamiento	INDAP	INDAP
	Instrumento por medio del cual se ejecutaría	Recursos propios INDAP	Recursos propios INDAP
Análisis cualitativo	Facilitadores	Experiencia de INDAP en la realización de capacitaciones	Experiencia de INDAP en el diseño de este tipo de programas, y opciones de incluirlo dentro de programas existentes como TAS
	Brechas de ejecución	Falta de interés de los productores por temor a cambiar y que se afecte su rentabilidad	Falta de recursos o disponibilidad de personal de INDAP para el diseño del programa
Seguimiento	Indicadores para evaluar su cumplimiento	Cantidad de productores capacitados	Programa de fomento de arroz bajo en emisiones diseñado y factible

Fuente: Elaboración propia

VII. Medidas Complementarios

3A Fermentación entérica

Optimización de la dieta:

Corresponde a un conjunto de estrategias, las cuales incluyen medidas como el aumento en el suministro de concentrados, el aumento en el suministro de proteína, aumento en el nivel de alimentación, disminuir la madurez del forraje y la adición de otras especies forrajeras. De acuerdo al estudio de INIA (Beltrán et al., 2023) en relación con el manejo de la dieta, la "Adición de otras especies forrajeras" y "Reducción suministro de proteína" corresponden a las medidas con mayor potencial de reducción.

Aceites y grasas:

Esta medida corresponde a la incorporación de aceites y grasas como una fuente de energía dentro de la dieta bovina, cuya finalidad es optimizar el balance proteína-energía. En la investigación de INIA (Muñoz y Ungerfeld, 2015) mencionan la suplementación con semillas oleaginosas. A partir de diferentes tratamientos, con raps, algodón, lino y tratamiento control, se obtuvo no mayor diferencia en cuanto a la producción de leche. La semilla de algodón fue la más eficaz en mitigar metano, sin embargo, incrementó la excreción de nitrógeno en la orina.

Algas:

El uso de algas marinas como una parte de la suplementación animal, se puede utilizar como medida debido a que la presencia de compuestos orgánicos presentes en las algas, actúan como inhibidores de la metanogénesis (Beltrán, et al.).

De acuerdo al estudio de INIA (Beltrán, et al., 2023) en un clima templado húmedo, el potencial de reducción de esta medida es de -18.1% (con un rango de -96.3 a +93.3%), destacando el objetivo productivo cárnico, en donde el potencial de reducción es de -64.6% (con un rango de -86.8 a -36.3%).

Taninos:

El uso de taninos corresponde a una medida en donde se adiciona extractos o compuestos vegetales que tienen un efecto inhibidor (Beltrán, et al., 2023). El uso de taninos es considerado como un aditivo alimentario natural con diversas propiedades, entre las que incluye propiedades antimicrobianas, antiinflamatorias, antioxidantes y propiedades inmunomoduladoras (Nawab et al., 2020). Además, pueden contribuir a la inhibición de la emisión de metano entérico, mejorando la digestibilidad de nutrientes, calidad de leche y carne (Nawab et al., 2020).

3B Gestión de estiércol

Acidificación:

Esta medida corresponde a la adición de productos químicos acidificantes, que pueden lograr disminuir el pH del purín a 5,0-5,5, teniendo la capacidad de inhibir los procesos metanogénicos.

La adición de ácidos podría generar un potencial de reducción de -70% para el componente CH₄, -67% para N₂O y -55% para NH₃ (Beltrán, et al., 2023).

Método de aplicación estiércoles:

La aplicación de purines en forma de cubierta genera emisiones de amoníaco, sin embargo, esto se puede reducir al inyectar el purín en el suelo. El problema de esta medida es que puede producirse una exacerbación de las emisiones de N₂O (Beltrán, et al., 2023).

Cubiertas:

Esta medida consiste en cubrir los pozos purineros, evitando que las emisiones se liberen al aire. Se pueden utilizar diferentes tipos de cubiertas (por ejemplo, membrana, paja, aserrín, madera), en donde el potencial de reducción para CH₄ puede ir de -98% a -24%, para el N₂O puede ir de -5% a 5%, y el NH₃ de -98% a -43% (Beltrán, et al., 2023).

Fraccionamiento:

Esta medida consiste en la separación de las fracciones líquidas y sólidas del purín, generando dos sustratos que pueden manejarse independientemente (Beltrán, et al., 2023). La separación de la fracción sólida-líquida posee un potencial de reducción de -70% y -10% para los componentes CH₄ y NH₃, respectivamente, sin embargo, para el componente de N₂O puede tener un aumento de alrededor de 200%.

Incorporación de subproductos vegetales:

Esta medida consiste en la adición de material vegetal al purín con el objetivo de evitar la generación de condiciones anaeróbicas (sin oxígeno) durante el almacenamiento. La incorporación de subproductos vegetales puede aumentar en un 31% la emisión de CH₄, sin embargo, el potencial de reducción para NH₃ puede ser de -34% (Beltrán, et al., 2023).

Manejos del pozo purinero:

Para el sector porcino, el estándar desarrollo en el marco del programa Chile Origen Consciente⁹ señala que se debe contar con manejos que permitan minimizar las emisiones de olores, como canales cubiertas o tuberías de conducción del purín desde el pabellón al pozo homogeneizador, el uso de cubiertas en los pozos homogeneizadores, un cobertizo y paredes el proceso de

⁹ Revisión del documento Estándar de sustentabilidad sector porcino. Consultado en <https://chileorigenconsciente.cl/generacion-de-estandares-de-sustentabilidad-por-rubro-productivo/>

separación sólido-líquido del purín y la fracción sólida acumulada que se encuentra en pilas y tapada (a excepción de los estabilizados).

El manejo del pozo purinero precisa un correcto almacenaje de la fracción sólida de los purines. Esta fracción se almacena sobre superficies compactadas para así evitar la percolación o la lixiviación a suelos, además, se debe contar con canales perimetrales para contener eventuales derrames.

3.D Suelos Agrícolas

Biocarbón:

El biocarbón o biochar es un material rico en carbono producido por pirólisis de biomasa de residuales agrícolas o forestales. En la última década, la aplicación de biocarbón ha sido uno de los elementos más estudiados para su uso en agricultura, principalmente, como una forma de aumentar el carbono orgánico en el suelo promoviendo su captura (Smith et al., 2021). Esto se debe al alto interés comercial de los generadores, quienes podrían producirlo a escala industrial (agrícola, forestal, industrial).

También se debe considerar que pueden existir sobreestimaciones de sus efectos, ya que la mayoría de los estudios se han realizado en laboratorios y en condiciones de campo limitadas, por lo que existen limitadas experiencias sobre aplicaciones a escala comercial (Das et al., 2020). Para diversos estudios y tipos de suelo, la adición de biocarbón se ha demostrado como el método más eficaz para aumentar el contenido de carbono en el suelo, superando a los cultivos de cobertura y al laboreo de conservación. En metaanálisis de estudios comparativos de uso de biocarbón, vs uso de biocarbón combinado con fertilizantes se demostró que ambos aumentan la productividad de cultivos (15.1 % y 48.4 %) y reducen los efectos potenciales de emisión de GEI (27.1 % y 14.3 %) (Xu et al., 2021).

Sin embargo, se ha observado que el efecto del biocarbón es mayor en climas cálidos (tropicales y subtropicales) o en agricultura de bajo consumo de insumos y son muy sensibles a condiciones de textura y pH del suelo (Ye et al. 2021). Los suelos chilenos no se encuentran en este grupo, lo que sugiere que sus efectos en la acumulación de carbono podrían ser limitados. En cuanto a los aportes de nitrógeno en la fertilización, se ha observado que uso en cantidades reducidas son los ideales para lograr el máximo efecto de secuestro de carbono orgánico. Sin embargo, es poco probable que estos niveles bajos se alcancen, ya que sistemas agrícolas con capacidad de fertilización, buscan maximizar la productividad (Smith et al., 2021). La recomendación efectiva, sería en uso combinado con fertilizantes, pero no existe claridad en las dosificaciones, porque el nitrógeno aumentaría los niveles de emisión.

Es importante tener en cuenta que la estabilidad del biocarbón en el suelo varía ampliamente, desde varios años hasta milenios, debido a las diferentes condiciones climáticas, características del suelo, manejos agrícolas y características del propio biocarbón. Los efectos sobre la actividad microbiana y

la dinámica de los nutrientes dependen de las características y procesos de producción del biocarbón. Dada su alta variabilidad, nunca se tendrá una respuesta única y clara, ya que no existen recomendaciones efectivas de uso en agricultura (Yang et al., 2021)

Según la publicación del IPCC "Fortalecimiento e implementación de la respuesta global", cuando se aplica al suelo el biocarbón (producido a partir de carbono orgánico recalcitrante) se aumenta la captura de carbono y mejora la fertilidad del mismo (Werner et al., 2018). El potencial de biocarbón en 2050 varía ampliamente, pero se estima en 0.3-2 GtCO₂ por año debido a la disponibilidad limitada de biomasa y la falta de ensayos a gran escala. Los costos de implementación del biochar oscilan entre 30 y 120 USD por tonelada de CO₂ capturado, y tiene bajos requisitos de agua. Además, la producción de biocarbón puede generar hasta 65 EJ por año de energía como subproducto (de Coninck, et al., 2018).

El biocarbón tiene efectos positivos en nutrientes del suelo y puede reducir las emisiones de N₂O. Sin embargo, se necesita una gran cantidad de tierra para cultivar la biomasa requerida para la producción de biocarbón, y existen límites en la capacidad de los suelos para retenerlo (Coninck, et al., 2018).

Mejoramiento agroambiental de los suelos

El suelo se degrada debido al uso agrícola continuo, con prácticas convencionales e intensivas. Esta degradación es resultado de la erosión, la pérdida de materia orgánica y nutrientes del suelo, y estos aspectos están fuertemente interrelacionados. La transición de un ecosistema natural a la producción agrícola perturba la estructura del suelo, además, la eliminación de raíces perturba las condiciones óptimas para la actividad biológica del suelo. A su vez, el manejo agrícola convencional intensivo se basa en el uso exclusivo de fertilizantes minerales y carece de aporte de materia orgánica, lo que agrava aún más la condición del suelo con los años. Para abordar estos problemas, se destaca la importancia de aplicar prácticas agrícolas más sostenibles, como la adición de materia orgánica al suelo, como compost, biopreparados (lombricompost o vermicompost), bokashi entre otros; a su vez se recomienda el uso de enmiendas orgánicas, materia orgánica de origen animal y vegetal, dentro de las cuales se encuentran los guanos en estado fresco, semi-compostado, estabilizado, guanos fosilizados, compost, humus, abonos verdes; que aportan materia orgánica y nutrientes al suelo agrícola (Ovalle M. & Quiroz P., 2021).

Existen a su vez, varias soluciones para abordar el manejo de rastrojos sin recurrir a la quema. Estas soluciones incluyen el enfardado y la eliminación de parte de los rastrojos, la trituración de la caña sobrante y la mezcla con el suelo. Además, se menciona una alternativa que está siendo evaluada en campo, que implica sembrar sobre caña parada con la eliminación del 50% de los rastrojos en cultivos como trigo y avena (Ovalle M. & Quiroz P., 2021).

Otro métodos relacionados a la mejora del suelo agrícola son los diferentes tipos de cultivos de cobertura utilizados en la agricultura, con un enfoque en la temporada de invierno (Ovalle M. & Quiroz P., 2021).

Estos cultivos se dividen en tres categorías:

i) Cultivos de abono verde de invierno: Por lo general, son leguminosas fijadoras de nitrógeno como arvejas, lupinos y habas. Se siembran en otoño y se siegan o incorporan en primavera. También pueden mezclarse con cereales como avena o cebada.

ii) Leguminosas forrajeras anuales de autosiembra: Se siembran en otoño y se pastorean durante la primavera y a principios del verano para permitir la resiembra natural.

iii) Especies perennes: Pueden ser especies forrajeras o leguminosas, como ballica perenne, festuca, pasto ovillo y trébol blanco. Se siembran en otoño y se cortan o pastorean para proporcionar una cobertura de suelo durante todo el año. Estos cultivos de cobertura se establecen en toda la superficie o entre las hileras de árboles o viñedos. Además, se utilizan en la producción de hortalizas de primavera-verano.

Otros:

Eficiencia energética:

Según Ferreyra et al. (2014) la cantidad de energía eléctrica utilizada en la irrigación de cultivos está estrechamente ligada tanto a la cantidad de agua aplicada en los campos como a las necesidades de potencia de los sistemas de riego. En el caso del cultivo de paltos, se ha calculado que el costo asociado a la energía eléctrica puede representar una parte significativa de los costos directos, oscilando entre el 6.5% y el 43.4% del costo total.

Para reducir el gasto energético de estos sistemas se destaca la importancia de utilizar emisores de riego que solo mojen la zona de los camellones en la agricultura, en contraste con los microaspersores que pueden desperdiciar agua al dejar caer una cantidad significativa fuera de la zona de raíces (Ferreyra E. et al., 2014). Se menciona que un estudio realizado en la temporada 2004-2005 en la zona de Hijuelas encontró que el riego por goteo alcanzó una eficiencia del 90%, mientras que el riego por microaspersión solo logró el 66.4%. También es importante calibrar los equipos de riego para asegurar un coeficiente de uniformidad superior al 80%. Un coeficiente de uniformidad menor conduce a una variabilidad en la aplicación de agua que afecta la homogeneidad del huerto y la eficiencia del riego (Ferreyra E. et al., 2014). Además, se destaca la necesidad de un programa de riego adecuado que evite el exceso o la falta de agua. Este enfoque, combinado con sistemas de medición continua de la humedad del suelo, puede ayudar a reducir las pérdidas de agua por percolación profunda, lo que a su vez reduce los costos de energía eléctrica (Ferreyra E. et al., 2014).

La comisión Nacional de Riego (n.d) indica que se requiere diseñar sistemas de riego de acuerdo a las necesidades del agricultor desde el principio. Otros medios para reducir el consumo eléctrico es utilizar motores eléctricos de alta

eficiencia, como los clasificados como IE4; implementar Variadores de Frecuencia (VDF) para controlar la velocidad de rotación de las bombas, lo que puede reducir el consumo eléctrico; y utilizar bancos de condensadores para mejorar el factor de potencia y evitar sanciones por parte de las empresas distribuidoras.

VIII. Resultado talleres con expertos

Los talleres tuvieron como objetivo levantar información de actores relevantes del cada uno de los sectores emisores, donde se han propuesto medidas de mitigación.

Considerando las seis medidas de mitigación propuestas se acordó con la contraparte la realización de 4 talleres como se muestra en la Tabla 9. Más detalles sobre la realización de los talleres se presenta en el Anexo digital.

Tabla 9 Medidas de mitigación propuestas

Medida de mitigación	Descripción de la medida	Taller
Biodigestores de Purines Porcinos	Implementación de biodigestores para tratamiento de purines de planteles porcinos.	Reducción de Metano en el Sector Porcino
Uso eficiente del Fertilizante	Reducción en la intensidad del uso de fertilizantes para cereales, cultivos industriales y forrajeras	Uso Eficiente de Fertilizantes
Biodigestores de Purines en Bovinos	Implementación de biodigestores para tratamiento de Purines para ganado bovino en confinamiento.	Reducción de Metano en el Sector Bovinos
Aditivo Reductor de Metano	Incorporación de aditivo reductor de metano en la dieta de ganado bovino en confinamiento.	Reducción de Metano en el Sector Bovinos
Reducción de quemas Agrícolas	Reducción de quemas agrícolas mediante manejos y usos alternativo de rastrojo en cereales.	Opciones Agrícolas para Reducir Emisiones
Arroz bajo en metano	Extensión y transferencia tecnológica de variedades de menor consumo hídrico	Opciones Agrícolas para Reducir Emisiones

Fuente: Elaboración propia

Los comentarios y aportes de los participantes permitieron validar la mayoría de los análisis presentados previamente, como también incorporar nuevos elementos y variables.

A modo de priorización se destacan a continuación aspectos relevantes que fueron mencionados en forma reiterada y que son transversales a las diferentes medidas:

- A. Las medidas que no tienen un impacto positivo en productividad o rentabilidad difícilmente serán adoptadas por los productores, a menos que se entreguen incentivos.
- B. Se debe hacer más difusión y entregar información de la relevancia del impacto ambiental que generan las prácticas productivas y los residuos de estas.
- C. Es necesario desarrollar mayores capacidades técnicas para la incorporación y manejo adecuado de las medidas (biodigestores, uso eficiente de fertilizante).

- D. El uso de tecnología puede ser una herramienta de control y de eficiencia en la adopción de las medidas
- E. Se debe diseñar intervenciones más integrales y no solo en una acción específica, las medidas de mitigación deben ser parte de un nuevo programa productivo sustentable, donde se busca y alcanza la sinergia a través de las diferentes intervenciones, y del trabajo colaborativo de los diferentes actores públicos y privados: manejo de purines, manejo residuos vegetales, manejo de suelo para captura de carbono, productividad, etc.

En términos específicos en cada medida:

Aditivo reductor de metano

- ✓ Es crítico el incentivo económico para la adopción de la medida por parte de los productores.
- ✓ La medida tiene un uso limitado a ganado confinado, y por ello tendrá un impacto acotado. Deben desarrollarse opciones de aditivo para los sistemas pastoriles.
- ✓ Fomentar la investigación para identificar y desarrollar medidas de mitigación en sistemas pastoriles.

Biodigestores bovinos

- ✓ El alto costo de inversión y de operación dificulta la adopción de esta medida, junto a los mayores requerimientos de capacidades técnicas de los operarios.
- ✓ La medida tiene un uso limitado a ganado confinado y de la zona central, y por ello tendrá un impacto acotado.
- ✓ Hay biodigestores en la zona sur, algunos no están operando, sería importante saber cuáles factores han limitado su operación. Si bien es una medida costo-efectiva existen muchos factores que deben ser bien manejados para que su operación sea exitosa.

Uso eficiente de fertilizantes

- ✓ Es posible usar menos fertilizantes sin afectar la productividad, pero deben desarrollarse mayores capacidades técnicas para conocer y entender mejor los procesos suelo-planta y utilizar de forma eficiente y efectiva los fertilizantes.
- ✓ La calidad de los fertilizantes es fundamental, y se debe controlar que los incentivos económicos de las empresas proveedoras de fertilizantes no generen un sobreuso de los productos.
- ✓ Algunos incentivos económicos ayudarían a usar fertilizantes de mejor calidad, o biofertilizantes que sean menos emisores.

Biodigestores porcinos

- ✓ Es la medida que reduce más emisiones GEI y, además, disminuye los olores, pero el porcentaje de purines de cerdo que hoy no están teniendo un adecuado

tratamiento es de un 20,2% y corresponde a medianos y pequeños productores, llamadas Pymes porcinas. Un 18,4% tienen biodigestores, 54,8% lodos activados, 3,7% camas calientes y 2,9% lombrifiltros

- ✓ Ya existen los estudios técnicos para el desarrollo de tratamiento de purines en estas Pymes porcinas, pero estas no cuentan con acceso financiero para su implementación, y además, son inversiones de alto riesgo ya que requieren autorización ambiental.
- ✓ La norma de olores que entró en vigencia el presente año ha puesto en una posición muy vulnerable a estas Pymes porcinas, ya que deben hacer inversiones importantes para el control de olores.
- ✓ Es importante hacer un programa coordinado con MMA, ya que la implementación de esta medida genera un impacto positivo en la reducción de olores, pero al mismo tiempo, son inversiones que requieren someterse a un proceso de evaluación ambiental.

Arroz reducido en metano

- ✓ Es importante considerar el trabajo que están realizando las mesas campesinas de arroz de Maule y Ñuble, y ver con ellos más detalles de las opciones para adoptar estas medidas
- ✓ Se deben hacer pilotos y demostrar a los productores que las variedades reducidas en metano funcionan bien y no afectan su rentabilidad
- ✓ Se debe involucrar a la industria procesadora y conocer las posibilidades de mercado del arroz reducido en metano

Reducción de quemados agrícolas

- ✓ Es una medida posible, de hecho, ya se han incorporado incentivos para promover la incorporación de rastrojos en los programas de INDAP
- ✓ Se debe hacer más difusión y transferencia a los productores sobre prácticas para incorporar rastrojos y otras técnicas y opciones que le den valor y así evitar los quemados
- ✓ Aumentar la cobertura del programa SIRSD-S para acceder a una mayor cantidad de agricultores.

Otras Medidas mencionadas

- ✓ Mejoramiento de praderas para reducir emisiones de la fermentación entérica
- ✓ Opciones de aditivos alimenticios como taninos o algas para reducir fermentación entérica.
- ✓ Implementar ganadería regenerativa
- ✓ Mejorar la captura de los suelos a través de diferentes prácticas y manejos
- ✓ Subsidio al uso y producción de fertilizantes menos contaminantes
- ✓ Aumentar la producción agroecológica, y contar con apoyo estatal para el uso de fertilizantes orgánicos

IX. Conclusiones

Este estudio se realizó en el contexto de los compromisos que el país ha tomado para enfrentar el cambio climático, y los que le competen al Ministerio de Agricultura. Estos se estructuran en base a tres instrumentos claves: la Ley N°21.455 Ley Marco de Cambio Climático (LMCC, 2022), la Actualización de las Contribución Nacional Determinada (NDC 2020) y la Estrategia Climática de largo Plazo (ECLP 2050).

La LMCC establece como objetivo central la carbono neutralidad al 2050, y crea un marco jurídico para que el país enfrente el cambio climático en las áreas de mitigación y adaptación con una perspectiva de largo plazo y haciéndose cargo de los compromisos adquiridos en CMNUCC y el Acuerdo de París

Si no se adoptan cambios en los sistemas agroalimentarios, la tendencia de emisiones del sector agricultura muestran un alza, que se estima en un 2% al 2030 respecto a las emisiones de 2020. Este leve aumento proviene de un aumento de las emisiones del ganado porcino, y un aumento de las emisiones de fertilizantes inorgánicos, generando un presupuesto de emisiones asignadas al Ministerio de Agricultura de un total de 135,3 Mt CO₂eq, este corresponde al escenario de referencia. De acuerdo con los compromisos nacionales, el sector agrícola debe hacer un esfuerzo de reducción de 1,3 MtCO₂eq al 2030.

Para el sector UTCTUS la tendencia de emisiones va en disminución en las capturas netas. Aún cuando para este sector no existe una meta de reducción de emisiones específicas, al 2050, se espera que el sector compense las emisiones de los demás sectores. Existe una meta sectorial asignada al 2030 de reforestación de 200.000 ha, y un crecimiento de 200.000 ha de la superficie con manejo sustentable y recuperación. Lo anterior permitiría aumentar las absorciones del sector, sin embargo, el estado de avance de dichas medidas alcanza valores bajos.

En el presente informe se han analizado y evaluado las opciones de mitigación para el sector agropecuario con el propósito de cumplir con las metas propuestas, entendiendo que para el sector UTCTUS no hay metas específicas. Se han caracterizado y evaluado un conjunto de medidas de mitigación y se han propuestos los medios de implementación asociados a ellas siguiendo la pauta de la Guía para la Elaboración de Planes Sectoriales de Mitigación (DICTUC, 2022).

Las medidas de mitigación propuestas se han basado en aquellas evaluadas en el estudio del BID (referido en los términos de referencia), el que a su vez las tomó de otros instrumentos anteriores como ECLP y el Sistema Nacional de Prospectiva del Ministerio del Medio Ambiente. Las medidas con el mayor potencial de mitigación son los biodigestores porcinos, con un costo efectividad de 21 USD/ton, seguido por el uso eficiente de fertilizante con un costo efectividad de -96 USD/, es decir, su adopción genera un beneficio más alto que su costo. Con un potencial de reducción de emisiones más bajo están los biodigestores bovinos y el aditivo reductor de metano, con un costo efectividad de 57 USD/ton y 119 USD/ton, respectivamente. Luego, los menores

potenciales de reducción de emisiones GEI lo tienen el arroz reducido en metano con un costo de 189 USD/ton, y la reducción de esquemas agrícolas, sin embargo, esta tiene la mayor costo efectividad con -348 USD/ton.

Para el desarrollo de las propuestas de medios de implementación se realizó un análisis de cada uno de los sectores en que se aplicarían estas medidas, y se levantó información con actores relevantes, posteriormente, las propuestas fueron validadas en cuatro talleres de trabajo con participación con actores sectoriales: rubro bovino; rubro porcino; uso de fertilizantes; y otras medidas (arroz y quemadas agrícolas).

En el caso del sector bovino, tanto los biodigestores como el aditivo reductor de metano, son medidas que serían implementadas en sistemas productivos en confinamiento, lo cual corresponde aproximadamente a un 10% de la producción nacional lo que hace muy acotada su impacto y no aborda el desafío que hoy enfrenta la producción de ganadería bovina nacional que se concentra mayoritariamente en el sur de Chile en sistemas pastoriles. La actividad participativa permitió levantar ideas respecto de otras opciones de mitigación que actualmente se están desarrollando o investigando en dichos sistemas. Además, en el caso del aditivo reductor de metano para sistemas confinados, se identificó como una debilidad importante, el que no tienen ningún impacto en la rentabilidad del productor, por lo cual no hay incentivo para que incorpore como suplemente en la dieta

La medida de uso eficiente de fertilizantes se evaluó como positiva y factible, pero es necesario contar con información más detallada de la realidad del uso de fertilizantes a nivel nacional para diseñar los medios de implementación as efectivos. Existen investigaciones aplicadas realizadas por INIA que demuestran que es posible producir lo mismo con menos fertilizantes, pero es crítico saber qué utilizar, cuándo y dónde.

Los biodigestores porcinos corresponden a la medida con mayor potencial de mitigación, sin embargo, es importante revisar los supuestos de esta estimación, ya que el crecimiento de este sector hoy está limitado, y los sistemas productivos que hoy no tienen ningún tipo de tratamiento corresponden a las empresas medianas y pequeñas (20% del sector). Y un 80% poseen sistemas de tratamientos, que si bien no están contabilizados en el inventario como reductores de emisiones, si lo hacen en la práctica.

La incorporación de biodigestores para el tratamiento de purines presenta grandes desafíos, debido a que estos deberán ser implementados por empresas porcinas de tamaño mediano y pequeñas, que tienen importantes limitaciones financieras y crediticias, lo que impide afrontar las inversiones y costos de operación asociados a esta medida. Aun cuando esta medida tendría un impacto positivo sobre la reducción de olores, permitiéndoles a los productores cumplir con la actual normativa de emisión de olores porcinos, no sería posible adoptar esta medida de mitigación si no se cuenta con incentivos económicos.

En el caso del arroz reducido en metano, se evalúa como una medida factible, pero dado que estaría dirigida principalmente a pequeños productores, es fundamental que exista difusión, capacitación, e incentivos económicos para su adopción.

Por último, la medida de reducción de quemas agrícolas será factible si se realiza mayor difusión y capacitación, y se aplican los incentivos adecuados para afectar la toma de decisión del productor, por ejemplo, ponderar positivamente la práctica de incorporación de rastrojos en los programas de fomento o de financiamientos dirigidos a la agricultura familiar campesina.

Finalmente, se puede concluir que algunas de las medidas evaluadas deberían ser ajustadas para lograr una mayor viabilidad y efectividad de acuerdo con la realidad de cada uno de los sectores. Al mismo tiempo, es fundamental la difusión, la capacitación y transferencia tecnológica para la adopción de buenas prácticas, y diseñar sistemas de incentivos económicos para la implementación de las medidas de mitigación propuestas.

Existen otras medidas para la reducción de emisiones y/o mayor captura de CO₂ que podrían ser incorporadas en el plan nacional de mitigación del sector, aunque su reducción no sea contabilizada en el presupuesto y metas del sector agropecuario.

X. Referencias

- Acuña, D., & Pizarro, M. J. (2019). La industria porcina en Chile: Oportunidades y desafíos para su sustentabilidad. ODEPA. https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2019/04/articulo-industria_porcina.pdf
- Aguirre Brockway , R. (2021). Situación del mercado nacional e internacional de la carne de cerdo. ODEPA. <https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/bitstream/handle/20.500.12650/70940/ArtCerdos202109.pdf>
- Aguirre Brockway, R. (2022). Desafíos del sector bovino de carne. ODEPA. https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/bitstream/handle/20.500.12650/71666/Art_DesafiosSectorBovinodeCarne202206.pdf
- Almonacid, Noemí; Niklitschek, Mario; Contreras, Marco; Labbé, Rodrigo; Trincado, Guillermo; Valenzuela, Carlos et al. (2022): Impacto del cambio climático en plantaciones de *Pinus radiata* (D. Don). Cartografía e indicadores regionales. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 276 p.
- Álvarez González, Verónica; Poblete Hernández, Pamela; Soto Aguirre, Daniel; Gysling Caselli, Janina; Kahler González, Carlos; Pardo Velásquez, Evaristo; Bañados Munita, Juan Carlos; Baeza Rocha, Daniela. ANUARIO FORESTAL 2022. Instituto Forestal, Chile. Boletín Estadístico N° 187. P. 280. Recuperado de https://wef.infor.cl/?option=com_wef&task=GetFile&format=raw&id=11&f=17&n=2022
- Benavides, C., Cifuentes, L., Díaz, M., Gilabert, H., Gonzales, L., González, D., Groves, D., Jaramillo, M., Marinkovic, C., Menares, L., Meza, F., Molina-Perez, E., Montedónico, M., Palma-Behnke, R., Pica-Téllez, A., Salas, C., Syme, J., Torres, R., Vicuña, S., ... Vogt-Schilb, A. (2021). Opciones para lograr la neutralidad en carbono para 2050 en Chile: Una evaluación en condiciones de incertidumbre. Banco Interamericano de Desarrollo. <http://dx.doi.org/10.18235/0003527>
- Bockel, L., Jönsson, M., Sutter, P., & Touchemoulin, O. (2012). *Using Marginal Abatement Cost Curves to Realize the Economic Appraisal of Climate Smart Agriculture Policy Options*. 36.
- Camara Chileno Alemana (Camchal). Escenario Energético del Sector Agroalimentario. Proyecto Smart Energy Concepts Chile. CAMCHAL y AChEE. https://www.agrificiente.cl/wp-content/uploads/2016/10/160928_Informe-EE-agroalimentario_SMART-ENERGY-CONCEPTS-CHILE_kk.pdf

- ChileCarne. (2023, March 30). Subsecretario del Medio Ambiente visitó biodigestor de Maxagro para conocer soluciones de la industria porcina en la reducción de olores a nivel predial. <https://www.chilecarne.cl/subsecretario-del-medio-ambiente-visito-biodigestor-de-maxagro-para-conocer-soluciones-de-la-industria-porcina-en-la-reduccion-de-olores-a-nivel-predial/>
- CONAF. (2023). Sistema de Información Territorial SIT CONAF. Recuperado de <https://sit.conaf.cl/>
- De Coninck, H., A. Revi, M. Babiker, P. Bertoldi, M. Buckeridge, A. Cartwright, W. Dong, J. Ford, S. Fuss, J.-C. Hourcade, D. Ley, R. Mechler, P. Newman, A. Revokatova, S. Schultz, L. Steg, and T. Sugiyama, 2018: Strengthening and Implementing the Global Response. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 313-444. <https://doi.org/10.1017/9781009157940.006>.
- Escenarios Hídricos 2030 (2018). Radiografía del Agua: Brecha y Riesgo Hídrico en Chile. Fundación Chile, Chile. <https://escenarioshidricos.cl/wp-content/uploads/2020/06/resumen-radiografia-del-agua-1-1.pdf>
- Ferreira E., R., Gil M., P., & Selles Van S., G. (2014). Eficiencia energética en huertos de palto: Uso del agua y consumo de energía. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/4622>
- Foster, William and Valdes Alberto. 2014. Ministerio de Agricultura, Serie Propuestas y Análisis ¿Cuál Es El Tamaño Económico Del Sector Silvoapropuario En Chile?
- González, M.E., Sapiains, R., Gómez-González, S., Garreaud, R., Miranda, A., Galleguillos, M., Jacques, M., Pauchard, A., Hoyos, J., Cordero, L., Vásquez, F., Lara, A., Aldunce, P., Delgado, V., Arriagada, Ugarte, A.M., Sepúlveda, A., Farías, L., García, R., Rondanelli, R.J., Ponce, R., Vargas, F., Rojas, M., Boisier, J.P., C., Carrasco, Little, C., Osses, M., Zamorano, C., Díaz-Hormazábal, I., Ceballos, A., Guerra, E., Moncada, M., Castillo, I. (2020). Incendios forestales en Chile: causas, impactos y resiliencia. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2, Universidad de Chile, Universidad de Concepción y Universidad Austral de Chile.
- INIA. (2019). Tres estrategias nutricionales para disminuir las emisiones de metano. Disponible en: <https://web.inia.cl/wp-content/uploads/2018/01/3.-C.-Muñoz.pdf>

- Larraín, R., Melo, O., Díaz Rojas, L. G., Riveros Fernández, J. L., & Fernández López, J. (2018). Estudio prospectivo: Industria carne bovina y ovina Chilena al 2030. FIA. <https://bibliotecadigital.fia.cl/bitstream/handle/20.500.11944/146251/Estudio%20prospectivo%20industria%20carne%20bovina.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ministerio de Agricultura de Chile (MINAGRI). (2016). Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales (ENCCRV) de Chile. Período del reporte 2013-2017. CONAF. Recuperado de <https://www.conaf.cl/nuestros-bosques/bosques-en-chile/cambio-climatico/encrcv/>
- Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2022). Fortalecimiento de la contribución determinada a nivel nacional (NDC) Chile, noviembre 2022. División de Cambio Climático. Santiago, Chile. <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2023/01/Chile-Fortalecimiento-NDC-nov22.pdf>
- Ministerio de Medio Ambiente (MMA), (2022b). 5to Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Santiago, Chile. https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2022/12/Informe_5IBA_2022.pdf
- Ministerio del Medio Ambiente. (2023). Informe del Inventario Nacional de Gases Efecto Invernadero de Chile 1990-2020. https://snichile.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2023/04/2022_IIN_CL.pdf
- Nawab, A., Li, G., An, L., Nawab, Y., Zhao, Y., Xiao, M., Tang, S. & Sun, C. (2020). The Potential Effect of Dietary Tannins on Enteric Methane Emission and Ruminant Production, as an Alternative to Antibiotic Feed Additives – A Review. *Annals of Animal Science*, 20(2) 355-388. <https://doi.org/10.2478/a0as-2020-0005>
- Odales, L., López, E., López, L. M., Jiménez, J., & Barrera, E. L. (2020). Biofertilizer potential of digestates from small-scale biogas plants in the Cuban context. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 37(2), Article 2. <https://doi.org/10.22267/rcia.203702.134>
- ODEPA (2018) Reflexiones y Desafíos Al 2030. https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/01/ReflexDesaf_2030-1.pdf.
- ODEPA (2023) Boletín Bimestral de Empleo Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Pesca. Abril 2023. <https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/bitstream/handle/20.500.12650/72308/BEempleo042023.pdf>
- ODEPA (2019) Panorama de la Agricultura Chilena. https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/bitstream/handle/20.500.12650/70246/PanoramaPresCap_I_2019.pdf

- Ovalle M., C., & Quiroz P., M. (eds). (2021). Manual de prácticas agrícolas para una agricultura sustentable. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/67616>
- Paredes C., M., Becerra V., V., & Donoso Ñ., G. (eds). (2021). 100 años del cultivo del arroz en Chile en un contexto internacional 1920-2020. Tomo II. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/68052>
- Penuelas, J., Coello, F., & Sardans, J. (2023). A better use of fertilizers is needed for global food security and environmental sustainability. *Agriculture & Food Security*, 12(1), 5. <https://doi.org/10.1186/s40066-023-00409-5>
- Pérez Medel, J. A. (2010). Estudio y Diseño de un Biodigestor para Aplicación en Pequeños Ganaderos y Lecheros. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103926>
- Pica-Téllez, A., Lorca, Á., Urtubia, R., Cifuentes, L. A., Valdes, J. M., Cerda-Gho, V., Veloso, C., González, D., Gilabert, H., Meza, F., Jara, V., Marinkovic-De la Cruz, C., Vicuña, S., Pinto, F., & Montero, J. P. (2022). Potential Greenhouse Gas Reductions Beyond Chile's Nationally Determined Contribution to 2030: Preliminary Modelling Results (SSRN Scholarly Paper 4168343). <https://doi.org/10.2139/ssrn.4168343>
- Pinares-Patiño., C. (n.d.) Mitigación de las emisiones de metano entérico de sistemas ganaderos al pastoreo. Gobierno de Chile / Ministerio de Agricultura/ INIA REMIHIE. Primera conferencia de gases de efecto invernadero en sistemas agropecuarios de latinoamérica (GALA), disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/8685/NR40147.pdf?sequence=7&isAllowed=y#:~:text=El%20uso%20de%20aditivos%20diet%C3%A9ticos,la%20emisiones%20de%20CH4%20ent%C3%A9rico.>
- Poblete Hernández, Pamela. (2022). Bosque Nativo. Instituto Forestal, Chile. Boletín N°24. P. 43.
- Rojas Cofré, C. (2019). Documento de Trabajo: Comportamiento y caracterización de la producción de ganado bovino en Chile. Instituto Nacional de Estadísticas. <https://www.ine.cl/inicio/documentos-detrabajo/documento/comportamiento-y-caracterización-de-la-producción-de-ganado-bovinoen-chile>
- Schmidt, H., Kammann, C., Hagemann, N., Leifeld, J., Bucheli, T., Monedero, M., & Cayuela, M. (2021). Biochar in agriculture – A systematic review of 26 global meta-analyses. *GCB Bioenergy*, 13, 1708 - 1730. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12889>.
- Sepúlveda S., F., & Sánchez P., L. (2021). Efecto de las quemadas agrícolas en la vida del suelo. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/68115>
- Tapia Cruz, B. (2021). Situación de la industria láctea: Producción, precios y comercio exterior. ODEPA.

- Ungerfeld M., E., Vial A., M., Jobet F., C., Mathias R., M., & Peñailillo M., K. (2021). Dilema de fuego. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/68391>
- Valdes, J. M., Lorca, Á., Salas, C., Pinto, F., Herrera, R., Bañados, A., Urtubia, R., Castillo, P., Maulén, L., & González, D. (2023). Greenhouse Gas Mitigation Beyond the Nationally Determined Contributions in Chile: An Assessment of Alternatives (SSRN Scholarly Paper 4481537). <https://doi.org/10.2139/ssrn.4481537>
- West, P. C., Gerber, J. S., Engstrom, P. M., Mueller, N. D., Brauman, K. A., Carlson, K. M., Cassidy, E. S., Johnston, M., MacDonald, G. K., Ray, D. K., & Siebert, S. (2014). Leverage points for improving global food security and the environment. *Science*, 345(6194), 325–328. <https://doi.org/10.1126/science.1246067>
- Whitton, C., Bogueva, D., Marinova, D., & Phillips, C. J. C. (2021). Are We Approaching Peak Meat Consumption? Analysis of Meat Consumption from 2000 to 2019 in 35 Countries and Its Relationship to Gross Domestic Product. *Animals*, 11(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/ani11123466>
- Xu, H., Cai, A., Wu, D., Liang, G., Xiao, J., Xu, M., Colinet, G., & Zhang, W. (2021). Effects of biochar application on crop productivity, soil carbon sequestration, and global warming potential controlled by biochar C:N ratio and soil pH: A global meta-analysis. *Soil & Tillage Research*, 213, 105125. <https://doi.org/10.1016/J.STILL.2021.105125>.
- Yang, G., Shao, G., Yang, Z., Zhang, K., Lu, J., Zhiyu, W., Shiqing, W., & Dan, X. (2021). Influences of soil and biochar properties and amount of biochar and fertilizer on the performance of biochar in improving plant photosynthetic rate: A meta-analysis. *European Journal of Agronomy*, 130, 126345. <https://doi.org/10.1016/J.EJA.2021.126345>.
- Ye, L., Camps-Arbestain, M., Shen, Q., Lehmann, J., Singh, B., & Sabir, M. (2019). Biochar effects on crop yields with and without fertilizer: A meta-analysis of field studies using separate controls. *Soil Use and Management*, 36, 18 - 2. <https://doi.org/10.1111/sum.12546>.

XI. Anexos

1. Anexo 1 : Fichas de Medidas de Mitigación

Subelemento	Contenido
ID	2025_Agricultura_biodigestoresporcinos
Nombre	Implementación de Biodigestores para tratamiento de Purines de planteles Porcinos.
Tipo de medida de mitigación	Eficiencia en Captura
Acciones concretas	Implementar un programa público-privado de incorporación de tecnológica para el tratamiento de purines para planteles porcinos, mediante subsidios a pequeños y medianos productores de cerdos. Apoyar los procesos de autorización ambiental SEA y energética SEC
Instrumento	Subsidio a pequeños y medianos productores de cerdos para fomentar la implementación de biodigestores.
Periodo de implementación	Se propone que el año de inicio de implementación sea el 2024, y se consideró una meta del 42% de los cerdos, sus purines se traten bajo dicha tecnología al 2030.
Alcance territorial	Territorio Nacional
Institución líder	Ministerio de Agricultura
Instituciones involucradas	Ministerio de Energía
Meta de mitigación [ktCO₂eq]	953.55
Porcentaje de responsabilidad [%]	100%
Porcentaje de mitigación relativo a las emisiones del sector	75%
Costo medio de abatimiento [USD/tCO₂eq]	\$21.26
VAN CAPEX [USD]	\$21,926,547
VAN OPEX [USD]	(\$1,656,011)

Subelemento	Contenido
ID	2025_Agricultura_usoeficientefertilizantes
Nombre	Uso eficiente de fertilizantes nitrogenados
Tipo de medida de mitigación	Nivel de Actividad

Acciones concretas	Asistencia técnica al uso eficiente de fertilizantes. Fomentar análisis de suelo, certificación de fertilizantes
Instrumento	Incorporar en programa y subsidios, algunos compromisos o información, ej. análisis de suelo para evaluar disponibilidad. Subsidiar análisis de suelos.
Periodo de implementación	Se propone que el año de inicio de implementación sea el 2025 al 2030.
Alcance territorial	Territorio Nacional
Institución líder	Ministerio de Agricultura
Meta de mitigación [ktCO₂eq]	229.33
Porcentaje de responsabilidad [%]	100%
Porcentaje de mitigación relativo a las emisiones del sector	18%
Costo medio de abatimiento [USD/tCO₂eq]	\$56.79
VAN CAPEX [USD]	
VAN OPEX [USD]	(\$21,986,186)

Subelemento	Contenido
ID	2025_Agricultura_aditivo_reductor_metano
Nombre	Aditivo Reductor de Metano
Tipo de medida de mitigación	Factor de emisión
Acciones concretas	
Instrumento	Programa "Chile Origen consciente" en toda la cadena.
Periodo de implementación	Se propone que el año de inicio de implementación sea el 2025 al 2030.
Alcance territorial	Territorio Nacional
Institución líder	Ministerio de Agricultura
Meta de mitigación [ktCO₂eq]	43.42
Porcentaje de responsabilidad [%]	100%
Porcentaje de mitigación relativo a las emisiones del sector	3%
Costo medio de abatimiento [USD/tCO₂eq]	\$119.47
VAN CAPEX [USD]	
VAN OPEX [USD]	\$5,187,163

Subelemento	Contenido
ID	2025_Agricultura_biodigestoresbovinos
Nombre	Implementación de Biodigestores para tratamiento de Purines de Bovinos en confinamiento.
Tipo de medida de mitigación	Eficiencia de Captura
Acciones concretas	Fomentar la implementación tecnológica para el tratamiento de purines para ganado bovino en confinamiento, mediante subsidios a productores.
Instrumento	Programa "Chile Origen consciente" en toda la cadena. Vía voluntaria : Agregar al Acuerdo de Producción Limpia. Averiguar un poco más con el consorcio.
Periodo de implementación	Se propone que el año de inicio de implementación sea el 2025 al 2030.
Alcance territorial	Territorio Nacional
Otros alcances	
Institución líder	Ministerio de Agricultura
Instituciones involucradas	
Actores sectoriales o locales involucrados	
Meta de mitigación [ktCO₂eq]	68.17
Porcentaje de responsabilidad [%]	100%
Porcentaje de mitigación relativo a las emisiones del sector	5%
Costo medio de abatimiento [USD/tCO₂eq]	\$56.79
VAN CAPEX [USD]	\$4,344,714
VAN OPEX [USD]	(\$473,067)

Subelemento	Contenido
ID	2025_Agricultura_quemasagricolas
Nombre	Reducción de Quemadas Agrícolas
Tipo de medida de mitigación	Nivel de Actividad
Acciones concretas	Fomento al uso alternativo de rastrojos mediante extensión agrícola.

Instrumento	Restricción de quemas. Extensión y capacitación de prácticas sustitutivas Financiamiento a través de INDAP para grupo de agricultores.
Periodo de implementación	Se propone que el año de inicio de implementación sea el 2025 al 2030.
Alcance territorial	Territorio Nacional. *Principalmente región Ñuble, Bio-Bio, Araucanía.
Institución líder	Ministerio de Agricultura
Meta de mitigación [ktCO₂eq]	14.78
Porcentaje de responsabilidad [%]	100%
Porcentaje de mitigación relativo a las emisiones del sector	1%
Costo medio de abatimiento [USD/tCO₂eq]	(\$348.21)
VAN CAPEX [USD]	
VAN OPEX [USD]	(\$5,145,279)

Subelemento	Contenido
ID	2025_Agricultura_arroz_reducido_metano
Nombre	Arroz bajo en metano
Tipo de medida de mitigación	Factor de Emisión
Acciones concretas	Implementar en INDAP un programa de la cadena del arroz hacia la transición de un arroz sustentable, que incluya un cambio variedad de arroz bajo en emisiones.
Instrumento	Podría incorporarse dentro del programa de INDAP Transición hacia una Agricultura Sustentable (TAS)
Periodo de implementación	Se propone que el año de inicio de implementación sea el 2025 al 2030.
Alcance territorial	Territorio Nacional. *Acotado a regiones de producción de arroz
Institución líder	Ministerio de Agricultura
Meta de mitigación [ktCO₂eq]	15.51

Porcentaje de responsabilidad [%]	100%
Porcentaje de mitigación relativo a las emisiones del sector	1%
Costo medio de abatimiento [USD/tCO₂eq]	\$189.45
VAN CAPEX [USD]	
VAN OPEX [USD]	\$2,939,171

2. Anexo 2 Material de Difusión : Trípticos

INTRODUCCIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA AGRICULTURA

El cambio climático es la consecuencia de una de las amenazas más significativas a nivel mundial y es desafío sin precedentes. En Chile, sus efectos ya son visibles y tienen un impacto directo en la productividad y sostenibilidad del sector agropecuario.

EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA AGRICULTURA

- Alteración de los patrones climáticos.
- Incremento de eventos extremos.
- Daños en el sistema de plagas y enfermedades.

MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN CONCEPTO CLAVE

Mitigación y adaptación son estrategias clave esenciales en respuesta al cambio climático.

La mitigación se enfoca en reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y fortalecer la resiliencia. En el sector agropecuario más apropiado depende del tipo de actividad, las condiciones climáticas, las tecnologías disponibles y los recursos de los productores.

La adaptación, por otro lado, busca reducir pérdidas y fortalecer las actividades que se ven afectadas por los cambios climáticos, incluyendo la modificación de prácticas de manejo, el uso de variedades más resistentes y la implementación de nuevas tecnologías.

MANTENTE INFORMADO Y ACTIVO EN LA LUCHA CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO

La mitigación del cambio climático es una responsabilidad compartida y tu voz es esencial en este esfuerzo.

Participa en la consulta climática y contribuye con tus ideas y opiniones para realizar un futuro sostenible.

<https://mitigacion.ada.gov.cl/>

VENI A LA COMUNIDAD

- FUENTES Y TALLERES:** Infórmate sobre políticas públicas y participa en actividades educativas.
- RECURSOS Y PUBLICACIONES:** Accede a publicaciones, artículos y recursos útiles.
- DIALOGO ACTIVO:** Participa en conversaciones, talleres y reuniones con expertos.

¡Tu participación es fundamental para un futuro más sostenible! Únete a nosotros en este esfuerzo colectivo.

Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA)
www.odepa.gob.cl
Tel: 2 2097 9330

Ministerio del Medio Ambiente
www.mma.gob.cl

Consultar en: www.ada.gov.cl/

¿Cómo enfrentamos el CAMBIO CLIMÁTICO? Medidas de Mitigación



Aditivos Reductores de Metano y Biodigestores Bovinos, Porcinos

COMPROMISOS DE CHILE PARA LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN AGRICULTURA

Chile ha asumido un sólido compromiso en la lucha contra el cambio climático, articulando su estrategia en base a tres pilares fundamentales. Entre ellos, algunos son instrumentos que le van a permitir la disminución del país en alcanzar esta meta global, uno que también establece un marco claro y estructurado para la implementación de acciones efectivas y sostenibles:

- LEY MARCO DE CAMBIO CLIMÁTICO (Ley N° 20.606)**
Esta ley tiene como objetivo general alcanzar la carbono neutralidad para el año 2050. Como un marco jurídico que permite al país abordar el cambio climático con una visión de largo plazo y en línea con los compromisos internacionales asumidos en la Conferencia Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Acuerdo de París.
- ACTUALIZACIÓN DE LA DECLARACIÓN NACIONAL DE INTENCIONES (DNI) 2020**
Esta actualización propone alcanzar un objetivo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para el año 2025, estableciendo una meta absoluta para el año 2050 y un presupuesto máximo de emisiones para el período 2020-2050.
- ESTRATEGIA CLIMÁTICA DE LARGO PLAZO (ECLP) 2050**
Define un esquema y la asignación de presupuestos sectoriales de emisiones netas de GEI para cada uno de los sectores para el período 2020-2050. Además, presenta metas sectoriales y transversales a nivel nacional, sectorial, regional y comunal.

El sector agrícola es el segundo mayor emisor de GEI después del sector energético, siendo responsable de aproximadamente el 10% de las emisiones totales del país.

MEDIDAS DE MITIGACIÓN

Hay un estado avanzado de diferentes alternativas en el sector pecuario para reducir emisiones, como:

- Biodigestores Bovinos y Porcinos**
Son sistemas diseñados para tratar y aprovechar los residuos orgánicos, específicamente purines de vacas y cerdos. Gracias a través del proceso de digestión anaeróbica, en el cual los microorganismos descomponen la materia orgánica en ausencia de oxígeno. El resultado de este proceso es metano, que puede ser utilizado como fuente de energía renovable, y el digestato, un subproducto rico en nutrientes que sirve como biofertilizante.
- Los biodigestores contribuyen a una gestión de residuos más sostenible, reducen las emisiones de gases de efecto invernadero al capturar el metano que de otro modo se liberaría a la atmósfera y proveen recursos adicionales como energía y fertilizantes, apoyando prácticas agrícolas más sostenibles y circulares.**
- Aditivo Reductor de Metano en Ganado Bovino**
Esta es una estrategia para disminuir las emisiones de metano producidas por la fermentación entérica durante el proceso digestivo de las vacas.
- Los aditivos reductores de metano son sustancias que se añaden al alimento del ganado con el objetivo de alterar la actividad microbiana en el rumen (el primer compartimento del estómago de los rumiantes) o cambiar la fermentación normal de manera que se reduzca la producción de metano.**
- El uso de aditivos ayuda a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo a la mitigación del cambio climático.**

POTENCIAL DE MITIGACIÓN Y BENEFICIOS

BIODIGESTORES PORCINOS	BIODIGESTORES BOVINOS	ADITIVO REDUCTOR DE METANO EN GANADO BOVINO
Reducción de Emisiones Los biodigestores pueden generar la energía de 80.4 kilowatts por hora (kW) equivalente (KWh) en Chile entre 2020 y 2050, equivalente a reducir las emisiones en 18.2 kilotoneladas de CO ₂ equivalente (KtCO ₂ e).	Reducción de Emisiones Si el 10% de los productores bovinos chilenos implementa biodigestores, esto contribuirá a reducir las emisiones en 18.2 kilotoneladas de CO ₂ equivalente (KtCO ₂ e).	Reducción de Emisiones Este aditivo puede evitar la emisión de 43.8 KtCO ₂ e, el 10% del gas metano bovino producido, respecto a este tipo de suplementos en la dieta.
Beneficios Adicionales <ul style="list-style-type: none"> ► Tratamiento eficiente de purines, lo que reduce la contaminación y mejora la gestión de residuos. ► Generación de biogas que puede utilizarse como fuente de energía renovable. ► Reducción significativa de olores, lo que mejora las condiciones ambientales locales. 	Beneficios Adicionales <ul style="list-style-type: none"> ► Bajo costo relativo de purines, lo que reduce la contaminación y mejora la gestión de residuos. ► Producción de biogas como energía renovable. ► Mejora en el manejo de residuos agrícolas y reducción de la contaminación. 	Beneficios Adicionales <ul style="list-style-type: none"> ► Reduce el costo y el riesgo de producción de gases invernadero. ► Contribuye a la mitigación de la agricultura.

Reducción de Emisiones Evitada por los Usos de Mitigación

Biodigestores porcinos (sin efecto de fertilizantes)	181.6
Biodigestores bovinos	18.2
Aditivo reductor de metano	43.8
Otros usos agrícolas	10.4

INTRODUCCIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA AGRICULTURA

El cambio climático se ha convertido en una de las amenazas más significativas a nivel mundial y un desafío en los próximos años. En Chile, sus efectos ya son visibles y tienen un impacto directo en la productividad y sostenibilidad del sector agropecuario.

EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA AGRICULTURA

Alteración de los patrones climáticos
Incremento de eventos extremos.
Disminuye en el número de días con heladas y nevadas.

Mitigación y adaptación
CONCEPTO CLAVE: Mitigación y adaptación son estrategias fundamentales en respuesta al cambio climático. La mitigación se enfoca en reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y aumentar la resiliencia. En el sector agropecuario, esto incluye medidas prácticas que disminuyen emisiones y aumentan la seguridad de cultivos.

Medidas en el sector agropecuario

Mitigación

- Manejo sostenible de suelos y agua
- Manejo de residuos orgánicos y gestión de riesgos
- Uso eficiente de fertilizantes
- Manejo eficiente de pesticidas
- Manejo eficiente de agua
- Manejo eficiente de energía
- Manejo eficiente de nutrientes
- Manejo eficiente de carbono

Adaptación

- Manejo de riesgos
- Manejo de plagas y enfermedades
- Manejo de sequías
- Manejo de inundaciones
- Manejo de incendios
- Manejo de enfermedades
- Manejo de plagas y enfermedades
- Manejo de riesgos
- Manejo de plagas y enfermedades
- Manejo de riesgos

¿Cómo enfrentamos el CAMBIO CLIMÁTICO? Medidas de Mitigación

Uso eficiente de fertilizantes

COMPROMISOS DE CHILE PARA LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN AGRICULTURA

Chile ha asumido un sólido compromiso en la lucha contra el cambio climático, articulando su estrategia en torno a tres pilares fundamentales. Estos pilares son instrumentos que no solo reflejan la determinación del país en abordar esta crisis global, sino que también establecen un marco claro y estructurado para la implementación de acciones efectivas y sostenibles.

El sector agrícola es el segundo mayor emisor de GEI después del sector energético, siendo responsable de aproximadamente el 10% de las emisiones totales del país.

LEY MARCO DE CAMBIO CLIMÁTICO (Ley 20.606)

Esta ley tiene como objetivo central alcanzar la carbono neutralidad para el año 2050. Como un marco jurídico que permite al país abordar el cambio climático con una visión de largo plazo y en línea con las compromisos internacionales asumidos en la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Acuerdo de París.

Actualización de la Ley de Conservación Nacional (Ley 17.248)
Esta actualización propone alcanzar un objetivo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para el año 2050, estableciendo una meta absoluta para el año 2050 y un presupuesto máximo de emisiones para el período 2030-2050.

Estadísticas Climáticas de Largo Plazo (ECLP)
Elaborar un registro y la asignación de presupuestos sectoriales de emisiones reducidas de GEI para cada uno de los sectores para el período 2030-2050. Además, promover entre sectores y lineamientos a nivel nacional, sectorial, regional y comunal.

MEDIDAS DE MITIGACIÓN

Actualmente, se están evaluando varias estrategias de mitigación en el sector agropecuario para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Una de las medidas que tiene mayor impacto es el uso eficiente de fertilizantes, especialmente en la agricultura de campo para la producción de alimentos. Este enfoque es clave para mejorar la eficiencia productiva, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la sostenibilidad ambiental de los cultivos.

Acciones principales para una gestión eficiente de fertilizantes:

- Análisis del suelo:** Determinar el contenido de nutrientes del suelo antes de aplicar fertilizantes para evitar la sobre-fertilización y las emisiones innecesarias de gases de efecto invernadero.
- Selección adecuada de fertilizantes:** Elegir la fuente de nutrientes más adecuada para tu cultivo y condiciones del suelo.
- Dosis precisa:** Aplicar la cantidad exacta de fertilizante que necesita el cultivo, evitando el exceso.
- Momento apropiado:** Aplicar los nutrientes en el momento más oportuno para el desarrollo del cultivo.
- Aplicación efectiva:** Realizar la aplicación de fertilizantes en el lugar adecuado para maximizar la absorción por parte de la planta.

Estas acciones no solo contribuyen a un mayor rendimiento de los cultivos, sino que también ayudan a minimizar el impacto ambiental de las prácticas agrícolas.

COMPROMISOS DE CHILE PARA LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN AGRICULTURA

Chile ha asumido un sólido compromiso en la lucha contra el cambio climático, articulando su estrategia en torno a tres pilares fundamentales. Estos pilares son instrumentos que no solo reflejan la determinación del país en abordar esta crisis global, sino que también establecen un marco claro y estructurado para la implementación de acciones efectivas y sostenibles.

El sector agrícola es el segundo mayor emisor de GEI después del sector energético, siendo responsable de aproximadamente el 10% de las emisiones totales del país.

LEY MARCO DE CAMBIO CLIMÁTICO (Ley 20.606)

Esta ley tiene como objetivo central alcanzar la carbono neutralidad para el año 2050. Como un marco jurídico que permite al país abordar el cambio climático con una visión de largo plazo y en línea con las compromisos internacionales asumidos en la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Acuerdo de París.

Actualización de la Ley de Conservación Nacional (Ley 17.248)
Esta actualización propone alcanzar un objetivo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para el año 2050, estableciendo una meta absoluta para el año 2050 y un presupuesto máximo de emisiones para el período 2030-2050.

Estadísticas Climáticas de Largo Plazo (ECLP)
Elaborar un registro y la asignación de presupuestos sectoriales de emisiones reducidas de GEI para cada uno de los sectores para el período 2030-2050. Además, promover entre sectores y lineamientos a nivel nacional, sectorial, regional y comunal.

MEDIDAS DE MITIGACIÓN

Actualmente, se están evaluando varias estrategias de mitigación en el sector agropecuario para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Una de las medidas que tiene mayor impacto es el uso eficiente de fertilizantes, especialmente en la agricultura de campo para la producción de alimentos. Este enfoque es clave para mejorar la eficiencia productiva, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la sostenibilidad ambiental de los cultivos.

Acciones principales para una gestión eficiente de fertilizantes:

- Análisis del suelo:** Determinar el contenido de nutrientes del suelo antes de aplicar fertilizantes para evitar la sobre-fertilización y las emisiones innecesarias de gases de efecto invernadero.
- Selección adecuada de fertilizantes:** Elegir la fuente de nutrientes más adecuada para tu cultivo y condiciones del suelo.
- Dosis precisa:** Aplicar la cantidad exacta de fertilizante que necesita el cultivo, evitando el exceso.
- Momento apropiado:** Aplicar los nutrientes en el momento más oportuno para el desarrollo del cultivo.
- Aplicación efectiva:** Realizar la aplicación de fertilizantes en el lugar adecuado para maximizar la absorción por parte de la planta.

Estas acciones no solo contribuyen a un mayor rendimiento de los cultivos, sino que también ayudan a minimizar el impacto ambiental de las prácticas agrícolas.

INTRODUCCIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA AGRICULTURA

El cambio climático se ha convertido en una de las amenazas más significativas a nivel mundial y un desafío en los próximos años. En Chile, sus efectos ya son visibles y tienen un impacto directo en la productividad y sostenibilidad del sector agropecuario.

EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA AGRICULTURA

Alteración de los patrones climáticos
Incremento de eventos extremos.
Disminuye en el número de días con heladas y nevadas.

Mitigación y adaptación
CONCEPTO CLAVE: Mitigación y adaptación son estrategias fundamentales en respuesta al cambio climático. La mitigación se enfoca en reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y aumentar la resiliencia. En el sector agropecuario, esto incluye medidas prácticas que disminuyen emisiones y aumentan la seguridad de cultivos.

Medidas en el sector agropecuario

Mitigación

- Manejo sostenible de suelos y agua
- Manejo de residuos orgánicos y gestión de riesgos
- Uso eficiente de fertilizantes
- Manejo eficiente de pesticidas
- Manejo eficiente de agua
- Manejo eficiente de energía
- Manejo eficiente de nutrientes
- Manejo eficiente de carbono

Adaptación

- Manejo de riesgos
- Manejo de plagas y enfermedades
- Manejo de sequías
- Manejo de inundaciones
- Manejo de incendios
- Manejo de enfermedades
- Manejo de plagas y enfermedades
- Manejo de riesgos
- Manejo de plagas y enfermedades
- Manejo de riesgos

¿Cómo enfrentamos el CAMBIO CLIMÁTICO? Medidas de Mitigación

Cultivo de Arroz bajo en metano y reducción de quemas agrícolas

COMPROMISOS DE CHILE PARA LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN AGRICULTURA

Chile ha asumido un sólido compromiso en la lucha contra el cambio climático, articulando su estrategia en torno a tres pilares fundamentales. Estos pilares son instrumentos que no solo reflejan la determinación del país en abordar esta crisis global, sino que también establecen un marco claro y estructurado para la implementación de acciones efectivas y sostenibles.

El sector agrícola es el segundo mayor emisor de GEI después del sector energético, siendo responsable de aproximadamente el 10% de las emisiones totales del país.

LEY MARCO DE CAMBIO CLIMÁTICO (Ley 20.606)

Esta ley tiene como objetivo central alcanzar la carbono neutralidad para el año 2050. Como un marco jurídico que permite al país abordar el cambio climático con una visión de largo plazo y en línea con las compromisos internacionales asumidos en la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Acuerdo de París.

Actualización de la Ley de Conservación Nacional (Ley 17.248)
Esta actualización propone alcanzar un objetivo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para el año 2050, estableciendo una meta absoluta para el año 2050 y un presupuesto máximo de emisiones para el período 2030-2050.

Estadísticas Climáticas de Largo Plazo (ECLP)
Elaborar un registro y la asignación de presupuestos sectoriales de emisiones reducidas de GEI para cada uno de los sectores para el período 2030-2050. Además, promover entre sectores y lineamientos a nivel nacional, sectorial, regional y comunal.

MEDIDAS DE MITIGACIÓN

Actualmente, se están evaluando varias estrategias de mitigación en el sector agropecuario para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Una de las medidas que tiene mayor impacto es el uso eficiente de fertilizantes, especialmente en la agricultura de campo para la producción de alimentos. Este enfoque es clave para mejorar la eficiencia productiva, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la sostenibilidad ambiental de los cultivos.

Acciones principales para una gestión eficiente de fertilizantes:

- Análisis del suelo:** Determinar el contenido de nutrientes del suelo antes de aplicar fertilizantes para evitar la sobre-fertilización y las emisiones innecesarias de gases de efecto invernadero.
- Selección adecuada de fertilizantes:** Elegir la fuente de nutrientes más adecuada para tu cultivo y condiciones del suelo.
- Dosis precisa:** Aplicar la cantidad exacta de fertilizante que necesita el cultivo, evitando el exceso.
- Momento apropiado:** Aplicar los nutrientes en el momento más oportuno para el desarrollo del cultivo.
- Aplicación efectiva:** Realizar la aplicación de fertilizantes en el lugar adecuado para maximizar la absorción por parte de la planta.

Estas acciones no solo contribuyen a un mayor rendimiento de los cultivos, sino que también ayudan a minimizar el impacto ambiental de las prácticas agrícolas.

COMPROMISOS DE CHILE PARA LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN AGRICULTURA

Chile ha asumido un sólido compromiso en la lucha contra el cambio climático, articulando su estrategia en torno a tres pilares fundamentales. Estos pilares son instrumentos que no solo reflejan la determinación del país en abordar esta crisis global, sino que también establecen un marco claro y estructurado para la implementación de acciones efectivas y sostenibles.

El sector agrícola es el segundo mayor emisor de GEI después del sector energético, siendo responsable de aproximadamente el 10% de las emisiones totales del país.

LEY MARCO DE CAMBIO CLIMÁTICO (Ley 20.606)

Esta ley tiene como objetivo central alcanzar la carbono neutralidad para el año 2050. Como un marco jurídico que permite al país abordar el cambio climático con una visión de largo plazo y en línea con las compromisos internacionales asumidos en la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Acuerdo de París.

Actualización de la Ley de Conservación Nacional (Ley 17.248)
Esta actualización propone alcanzar un objetivo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para el año 2050, estableciendo una meta absoluta para el año 2050 y un presupuesto máximo de emisiones para el período 2030-2050.

Estadísticas Climáticas de Largo Plazo (ECLP)
Elaborar un registro y la asignación de presupuestos sectoriales de emisiones reducidas de GEI para cada uno de los sectores para el período 2030-2050. Además, promover entre sectores y lineamientos a nivel nacional, sectorial, regional y comunal.

MEDIDAS DE MITIGACIÓN

Actualmente, se están evaluando varias estrategias de mitigación en el sector agropecuario para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Una de las medidas que tiene mayor impacto es el uso eficiente de fertilizantes, especialmente en la agricultura de campo para la producción de alimentos. Este enfoque es clave para mejorar la eficiencia productiva, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la sostenibilidad ambiental de los cultivos.

Acciones principales para una gestión eficiente de fertilizantes:

- Análisis del suelo:** Determinar el contenido de nutrientes del suelo antes de aplicar fertilizantes para evitar la sobre-fertilización y las emisiones innecesarias de gases de efecto invernadero.
- Selección adecuada de fertilizantes:** Elegir la fuente de nutrientes más adecuada para tu cultivo y condiciones del suelo.
- Dosis precisa:** Aplicar la cantidad exacta de fertilizante que necesita el cultivo, evitando el exceso.
- Momento apropiado:** Aplicar los nutrientes en el momento más oportuno para el desarrollo del cultivo.
- Aplicación efectiva:** Realizar la aplicación de fertilizantes en el lugar adecuado para maximizar la absorción por parte de la planta.

Estas acciones no solo contribuyen a un mayor rendimiento de los cultivos, sino que también ayudan a minimizar el impacto ambiental de las prácticas agrícolas.