INIA
Instituto de Investigaciones Agropecuarias

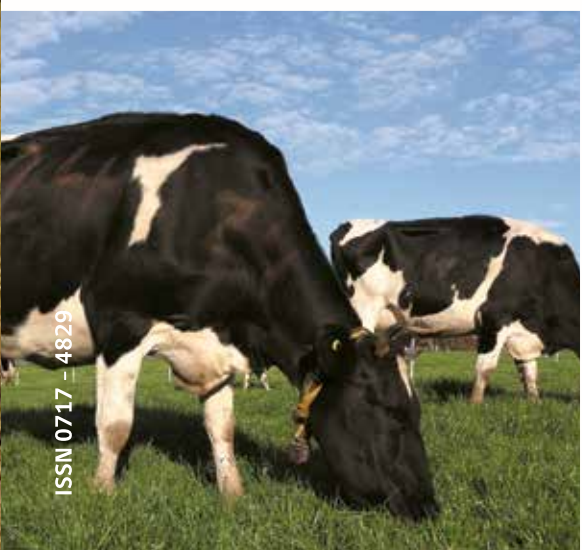
Guía metodológica para la estimación del Balance de Carbono Predial en sistemas Agropecuarios

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

Boletín INIA / N° 476







ISSN 0717 – 4829



Ministerio de Agricultura
Gobierno de Chile

FIA
Fundación para la Innovación Agraria



Francisco Salazar S.
INIA Remehue



Ignacio Beltrán G.
INIA Remehue



Marta Alfaro V.

Directora Responsable:
Natalie Urrutia C.
Médico Veterinario, Ph.D
Directora Regional INIA Remehue

Editores:

Francisco Salazar S.	Ingeniero Agrónomo, Ph.D. Investigador INIA Remehue
Ignacio Beltrán G.	Médico Veterinario, Dr. Cs. Vet. Investigador INIA Remehue
Marta Alfaro V.	Ingeniero Agrónomo, PhD.

Comité Editor:

Ana-María Méndez	Ingeniero Agrónomo, Mg en Cs., Ph.D. Investigadora INIA Remehue
Constanza Sepúlveda	Ingeniero Agrónomo. Extensionista, INIA Remehue

Autores:

Ignacio Beltrán G.	Médico Veterinario, Dr. Cs. Vet. Investigador INIA Remehue
Francisco Salazar S.	Ingeniero Agrónomo, Ph.D. Investigador INIA Remehue
Yasna Rojas	Ingeniera Forestal, Dr. Investigadora INFOR
Marta Alfaro	Ingeniero Agrónomo, Ph.D
Carlos Bahamondez	Ingeniero Forestal, Investigador INFOR
Eduardo Molina	Ingeniero Forestal, Investigador INFOR
Sergio Iraira	Ingeniero Agrónomo, Dr. Cs. Investigador INIA Remehue
Marcelo Panichini	Ingeniero Agrónomo, Mg Rec. Nat., Dr. Cs. Rec. Nat. Investigador INIA Carillanca

Boletín INIA Nº476
ISSN 0717 - 4829

Este boletín fue editado por el Centro Regional de Investigación INIA Remehue, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura.
La presente publicación entrega resultados obtenidos en el marco del proyecto "Balance de carbono como hoja de ruta para la generación de sistemas productivos agropecuarios carbono neutrales (BC-Agri) (PYT-2020-1421)".

Cita Bibliográfica correcta:
Beltrán, I.; Salazar, S.; Rojas, Y.; Alfaro, M.; Bahamondez, C.; Molina, E.; Iraira, S.; Panichini, M. 2023. Guía metodológica para la estimación del Balance de Carbono Predial en sistemas Agropecuarios. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín Nº 476, 36p.

Digitalizacion, Apoyo Gráfico, Diseño y Diagramacion:
Comercial Servigraf SpA

Osorno, Chile
Enero 2023

Instituto de Investigaciones Agropecuarias

Guía metodológica para la estimación del Balance de Carbono Predial en sistemas Agropecuarios

Editores:
Francisco Salazar S.
Ingeniero Agrónomo, Ph.D. Investigador
INIA Remehue

Ignacio Beltrán G.
Médico Veterinario, Dr. Cs. Vet. Investigador
INIA Remehue

Marta Alfaro V.
Ingeniero Agrónomo, Ph.D.

Boletín INIA / Nº 476
INIA, Osorno 2023

ISSN 0717 - 4829

Ministerio de Agricultura

Gobierno de Chile

TABLA DE CONTENIDOS

1. Introducción 9

1.1. Importancia de la caracterización del sistema productivo y registros 10

1.2. Alcance del estudio 11

2. Desarrollo de una herramienta de cálculo de Carbono 13

2.1. Emisiones de carbono 13

2.1.1. Hoja ingreso de información 15

2.1.2. Hoja resumen 16

2.1.3. Hojas de cálculo para las fuentes de emisión 16

2.2. Captura de Carbono 17

2.2.1. Captura de carbono: Praderas (CH_4 y CO_2) 17

2.2.2. Emisiones y Absorciones de las tierras en el predio 19

2.3. Encuesta Predial 22

2.3.1. Información general 23

2.3.2. Información productiva 23

2.3.3. Fertilización nitrogenada 24

2.3.4. Enmiendas y uso de urea 25

2.3.5. Sector forestal 25

2.3.6. Fuentes de energía 28

2.4. Control de calidad 28

2.4.1. Control de calidad de las ecuaciones 29

2.4.2. Control de calidad de datos prediales 29

2.5. Resultados 30

2.5.1. Reporte de resultados 30

2.5.2. Interpretación de los resultados 32

2.4.4. Límites de los resultados 33

3. Mejoramiento de la herramienta de cálculo 34

4. Agradecimientos 34

5. Referencias 35

6. Anexos 36

6.1. Glosario 36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de trabajo para determinar el balance de carbono en el sector agropecuario del país. 12
Figura 2. Estructura de un balance de C predial. 13
Figura 3. Ejemplo de delimitación de limites prediales y unidades productivas (Imagen Satelital por Google Maps®). 27
Figura 4. Representación gráfica de las fuentes de emisión de GEI. 32
Figura 5. Ejemplo de Identificación de principales a) categorías y b) subcategorías de emisión de gases con efecto invernadero. 33

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Poder de calentamiento global de gases con efecto invernadero emitidos por el sector Agricultura (Forster et al., 2007). 14
Cuadro 2. Categorías de emisión de gases con efecto invernadero para el rubro bovino (leche y carne), cultivos y cereales. Adaptado de IPCC (2006). 15
Cuadro 3. Captura de C y dióxido de carbono (CO_2) en suelos bajo pradera en sistemas de producción bovina. Fuente: Adaptado de Alfaro y Mejías (2022). 18
Cuadro 4. Tabla de presentación de resultados de balance de carbono. 31

1. Introducción

Chile tiene compromisos en la reducción de emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI), incluyendo la meta de ser carbono neutral al año 2050. Junto con ello, ha impulsado una Ley y Planes Regionales de Cambio Climático, que consideran acciones tanto en el sector Agricultura como en el sector Forestal.

A nivel mundial, el 55% del total de los GEI son emitidos por el sector Energía, seguido por el sector Agricultura y Cambio de Uso de Suelo con un 24%. En Chile, de acuerdo con el tercer Informe Bienal de Actualización sobre cambio climático 2018 (MMA-IBA, 2019), nuestro país emitió 111.678 kt CO_2 equivalente. El sector Energía fue el responsable del 78% del total de emisiones de GEI del país, en segundo lugar, se ubicó el sector Agricultura, que emitió el 11% de las emisiones totales de GEI del país.

Dentro del sector Agricultura, la fermentación entérica y el uso de suelos agrícolas representan el 40% y 39% de las emisiones de GEI, respectivamente. En tercer lugar, se encuentra la gestión de estiércol con el 17% del total emitido por el sector. Estas tres categorías representan el 96% de las emisiones totales del sector. Por otro lado, el sector forestal es el único sector que absorbe CO_2 en el país, en el año 2016 representó el 38 % de la absorción en términos absolutos del balance de GEI del país. Así, desde el punto de vista de la gestión predial, la presencia de bosques en los predios del sector Agricultura ofrece la oportunidad de mejorar el balance de GEI. Lo anterior considerando que en años anteriores el país ha logrado ser carbono neutral y actualmente hay mayor emisión de CO_2eq que captura.

El Inventario Nacional de GEI considera las emisiones y capturas a nivel regional y nacional y reporta periódicamente la información del país, incluyendo los sistemas agropecuarios (Sector Agricultura) y el sector de tierras que incluye a los bosques (Sector Forestal), no existiendo una estimación a escala predial. En el contexto de los compromisos futuros de mitigación del país, será muy importante el sector silvoagropecuario, y es relevante contar con una mirada a escala predial que permitan implementar prácticas de manejo que consideren el balance de Carbono, lo cual permitiría mejorar la sustentabilidad del sector.

La presente guía es resultado del proyecto desarrollado por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) y el Instituto Forestal (INFOR) con apoyo de la Fundación para la Innovación Agraria (FIA) denominado "Balance de carbono

como hoja de ruta para la generación de sistemas productivos agropecuarios carbonos neutrales", que fue realizado considerando los rubros de leche bovina, carne bovina, cereales y frutales (avellanos) abarcando las regiones de la Araucanía, Los Ríos y Los Lagos.

Para llevar a cabo este proyecto, se generó un trabajo conjunto entre INIA, INFOR y las principales asociaciones gremiales y corporaciones del sector Agropecuario del Sur de Chile: Federación Nacional de Productores de Leche (FEDELECHE, A.G.), Corporación Consorcio Lechero, Federación de Productores de Carne (FEDECARNE, A.G.), Corporación de la Carne (CorpCarne), Sociedad de Fomento Agrícola de Temuco (SOFO) y Avellanos Patagonia A.G. Como resultado de este trabajo conjunto, se generó una metodología que permite estimar el balance de carbono (C) a nivel predial en el sector agropecuario. Si bien se debe reconocer que el sector genera emisiones de GEI, también es importante destacar que contribuye a la captura de carbono, a diferencia de otros sectores productivos. En ese sentido, se estimaron las emisiones de C para los sistemas de la zona sur y adicionalmente, se identificaron medidas de mitigación posibles de implementar a nivel predial en Chile.

La presente guía se propone como un documento base para la realización de balances de C a nivel predial. Si bien esta guía ha sido desarrollada tomando algunos sistemas productivos, los criterios y cálculos pueden extrapolarse a otros sistemas de producción agropecuarios, tanto en las regiones evaluadas como en otras regiones del país, debiendo adaptarse según se requiera, pudiendo servir para comparar el mismo predio en distintos años o la comparación entre predios y rubros. Junto con ello la Guía permitirá realizar estimaciones para la identificación de las principales categorías (y subcategorías) de emisión, priorizando la implementación de estrategias de mitigación de GEI enfocadas en aquellas actividades que constituyan las categorías principales de emisión.

1.1. Importancia de la caracterización del sistema productivo y registros

Un aspecto clave en la realización de balances prediales es la definición del sistema de producción, el uso del suelo, y la superficie productiva involucrada, la que debe considerar no solo la del predio sino además si existiera arriendo u otras áreas extra prediales que contribuyen al sistema de producción (Ej. crianza de vaquillas extra prediales, área de producción de forrajes, u otros). En el proyecto

se seleccionaron sistemas de producción de un solo rubro: leche, carne, cereales y producción de avellanos. Sin embargo, dada la diversidad edafoclimática y de sistemas de producción existen además predios de producción mixta (Ej. leche y carne, cereales y carne, entre otros) que deberán analizarse en su contexto, debiendo idealmente hacer una separación entre ellos a nivel predial para determinar su participación en la emisión total de GEI, conocido como asignación, expresados como CO_{2eq}.

Un aspecto clave para llevar a cabo un adecuado balance de C, es la disponibilidad de buenos registros prediales. Si bien normalmente existen registros productivos o económicos, estos deben ser de calidad, confiables y más específicos para algunos ítems, por ejemplo, fuente de fertilizante nitrogenado empleado y cantidad utilizada por unidad de superficie, descripción cuantitativa y cualitativa de las dietas de las distintas categorías animales que se encuentran en el predio en las distintas estaciones del año, entre otros. Por esto es muy importante poder acceder a la información base del predio, registros e información sistematizada en herramientas de gestión u otras que permitan contar con información de calidad, lo que a su vez permitirá realizar balances de C específicos para cada uno de ellos.

1.2. Alcance del estudio

El cálculo del balance de C a nivel predial requiere de ecuaciones e información específica, la cual varía según el sector productivo. Por ejemplo, las ecuaciones utilizadas para estimar emisiones de C en el sector Energía son completamente distintas a las utilizadas en el Sector Agropecuario, de hecho, dentro del sector agropecuario podemos encontrar diferencias en la forma de estimar el balance de C (producción bovina versus producción de cereales). Por lo anterior, se debe definir el rubro productivo y el alcance del estudio en el cual se quiere hacer la estimación. Posteriormente, se deberán elaborar las encuestas y modelo predictivo en función del rubro de interés. El alcance de esta guía metodológica son 4 rubros agropecuarios:

1. Bovinos de leche
2. Bovinos de carne
3. Producción de cereales
4. Producción de avellano europeo

La estimación del balance de C a nivel predial es un proceso que puede ser

resumido en 6 pasos (Figura 1): 1) Determinar límites del estudio, 2) Desarrollar y/o identificar una herramienta de cálculo, 3) Realizar la entrevista predial, 4) Control de calidad 5) Determinar el balance de carbono, 6) Análisis y discusión de los resultados.

El desarrollo de la herramienta de calculo se realizó de tal forma de permitir actualizaciones en su planilla de cálculo. Estas actualizaciones pueden estar asociadas a nuevas metodologías del IPCC, especialmente asociadas a ecuaciones de calculo y factores de emisión. Otro punto importante en esta metodología es el proceso de "Validación e Identificación de datos faltantes". Este proceso se lleva a cabo durante y posterior a la entrevista predial. Los datos son procesados por el equipo técnico, validando que la información entregada por los productores está en concordancia o dentro de un rango esperado. Del mismo modo, en este paso se identifican los datos que puedan faltar para alimentar la herramienta de cálculo, siendo necesario visitar nuevamente al productor para completar la información faltante.

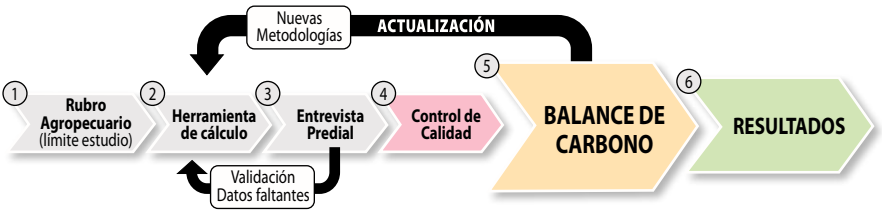


Figura 1. Esquema de trabajo para determinar el balance de carbono en el sector agropecuario del país.

Para este trabajo, se consideraron los principales gases emitidos desde el sector agropecuario nacional, es decir, metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) y dióxido de carbono (CO_2), lo que va en concordancia con el Inventario Nacional de GEI. No se incluyen las emisiones de hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre, cuya emisión proviene principalmente de otros sectores productivos.

2. Desarrollo de una herramienta de cálculo de Carbono

El balance de C corresponde a la diferencia entre el CO_2 emitido y absorbido por un sistema productivo, esto es, las emisiones netas de un sistema productivo implementado a nivel predial (Figura 2). Para efectos de esta Guía, la determinación del balance de C está dividida en dos componentes: 1) Emisiones de C; y 2) Captura o absorción de C. La captura del carbono se refiere a la capacidad que tiene el sistema de absorber carbono, que en el caso del sector agropecuario proviene de los procesos asociados a la actividad fotosintética en árboles y captura de carbono en suelos, principalmente.



Figura 2. Estructura de un balance de C predial.

2.1. Emisiones de carbono

El cálculo de las emisiones de C a nivel predial se realizó usando las Directrices 2006 del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC 2006), específicamente, el capítulo 10 y 11 del volumen 4, correspondiente al Sector Agricultura. Adicionalmente, se utilizaron las ecuaciones reportadas en el Volumen 2, correspondiente al Sector Energía. Esta metodología permite calcular las siguientes emisiones de GEI:

1. Emisiones directas: CO_2, N_2O y CH_4
2. Emisiones indirectas: N_2O

El capítulo 10 del volumen 4 describe la metodología para estimar las emisiones de metano entérico y manejo de estiércol de sistemas de producción animal, mientras que el volumen 11 permite estimar las emisiones asociadas a suelos

agrícolas (fertilización, orina y heces, aplicación de enmiendas, residuos agrícolas, etc.).

Una vez que se estiman las emisiones de GEI directas e indirectas, cada gas se multiplica por su poder de calentamiento global (PCG, Cuadro 1). El potencial de calentamiento global es una forma de medir el impacto del forzamiento radiactivo de un determinado gas en el tiempo. En otras palabras, permite saber cuánto es el forzamiento radiactivo que libera 1 kg de un GEI en comparación a 1 kg de un gas de referencia (CO_2) en el tiempo (generalmente, un horizonte de 100 años). En el caso del IPCC, el gas de referencia corresponde al CO_2, cuyo PCG = 1, mientras que el metano tiene un PCG=25, es decir, si sus emisiones de metano entérico corresponden a 100 Gg toneladas de CH_4/año, su equivalencia en CO_2 sería de 2.500 Gg CO_{2eq}/año.

Cuadro 1. Poder de calentamiento global de gases con efecto invernadero emitidos por el sector Agricultura (Forster *et al.,* 2007).

Gas	Abreviación	Poder de calentamiento global (Horizonte de 100 años)
Dióxido de carbono	CO_2	1
Metano	CH_4	25
Óxido Nitroso	N_2O	298

Cada rubro del sector agropecuario puede ser sujeto de estimación de sus emisiones de GEI, mediante el uso de la metodología descrita en las directrices del IPCC. Para la estimación se consideran distintas categorías y subcategorías de emisión, las que deben ser identificadas y adaptadas a las definidas en la metodología de cálculo de inventarios (IPCC, 2006). Por ejemplo, se sabe que el metano entérico es una de las principales fuentes de emisión del sector Agricultura del país, sin embargo, su emisión no proviene de todos los rubros que conforman dicho sector. Por ende, productores de avellano europeo y cereales cuyos sistemas de producción no consideran la inclusión de animales, no requieren estimar las emisiones de metano entérico, sin embargo, poseen otro tipo de fuentes como la incorporación y/o quema de residuos agrícolas. Esta diferenciación es fundamental al momento de desarrollar la herramienta de estimación de emisiones de C predial, siendo necesario considerar las fuentes de emisión específicas para cada rubro (Cuadro 2).

Cuadro 2. Categorías de emisión de gases con efecto invernadero para el rubro bovino (leche y carne), cultivos y cereales. Adaptado de IPCC (2006).

Bovinos de leche y carne	Cereales y Frutales
1. Fermentación entérica	1. Suelos agrícolas (fertilización nitrogenada, residuos agrícolas)
2. Manejo del estiércol	
3. Aplicación enmiendas calcáreas	2. Quema de residuos
4. Suelos agrícolas (fertilización nitrogenada, orina y heces de animales a pastoreo)	3. Energía consumida al interior del predio (bencina, petróleo, electricidad)
5. Energía consumida al interior del predio (bencina, petróleo, electricidad)	

Para bovinos de leche y carne se debe realizar una identificación de los animales en sus distintas subcategorías de acuerdo a su etapa de crecimiento, manejo y pesos. En caso de que haya registro completo de los animales del predio, se sugiere realizar la siguiente clasificación:

1. Alta y baja producción de leche (solo para bovinos lecheros)
2. Animales adultos
   - Hembras: para producción de crías de carne y doble propósito
   - Machos: toros y bueyes
3. Animales en crecimiento
   - Terneros antes del destete
   - Vaquillas de reemplazo
   - Otros animales en crecimiento
   - Engorda post destete

Se sugiere elaborar la herramienta de cálculo de las emisiones de C en Excel, o identificar un modelos que se adapte a su sistema productivo, la cual debería calcular las emisiones de manera automática. En este sentido, la planilla de cálculo podría incluir 1) Hoja de ingreso de información, 2) Hoja resumen y 3) Hoja de cálculo de las emisiones.

2.1.1. Hoja ingreso de información

Corresponde a la hoja más importante de la planilla de cálculo, ya que es donde se ingresan todos los datos productivos del sistema. Para todos los rubros

del sector agropecuario descritos en esta guía metodológica, es importante diferenciar la información que se debe calcular de forma estacional y anual:

- **Información estacional.** Esto aplica principalmente para el sector bovino, donde la variabilidad en parámetros productivos requiere una desagregación de la información, para obtener un valor anual que permita incluir la variabilidad estacional. En este sentido, es importante obtener un valor estacional del número de animales por categoría, peso vivo, ganancia de peso vivo, calidad de la dieta. Para el rubro lechero, además es importante considerar la producción estacional de leche (promedio diario y por estación) y su composición (% de grasa y proteína).
- **Información anual.** Superficie total de cultivos y pradera, fertilización nitrogenada, uso de enmiendas, destino de los residuos, fuentes de energía (electricidad, petróleo, bencina, etc.).

2.1.2. Hoja resumen

La herramienta de cálculo debería ser desarrollada de tal manera que de forma automática permita complementar una planilla resumen, en la cual se describan las características promedio del sistema productivo (ubicación, superficie, fertilización, nivel productivo, etc.) y una caracterización de las emisiones para sus distintas fuentes.

2.1.3. Hojas de cálculo para las fuentes de emisión

El documento debe contemplar hojas de cálculo para cada una de las fuentes de emisión.

i. Fermentación entérica. Aplica a sistemas de producción bovina de leche y carne

ii. Manejo de estiércol. Aplica a sistemas de producción bovina de leche y carne

iii. Suelos agrícolas. Se calculan las emisiones directas en indirectas de óxido nitroso asociadas a la aplicación de fertilizantes nitrogenados (sintéticos y orgánicos) y de la orina y heces depositadas en la pradera. Adicionalmente, se calcula las emisiones asociadas a residuos agrícolas.

iv. Uso de enmiendas. Corresponde al cálculo de las emisiones de CO_2 provenientes de la aplicación de cal al suelo y por uso de urea, asociado a su aplicación. Una vez aplicada la urea y cal en el suelo, estas son hidrolizadas por microorganismos presentes en el suelo, lo cual genera, entre otros productos CO_2.

v. Energía. De acuerdo a las directrices del IPCC (IPCC, 2006), las emisiones asociadas al consumo de fuentes de energía se deben contabilizar en el sector "Energía". Sin embargo, en la presente guía metodológica se propone calcular las emisiones de GEI asociadas a todas las actividades del predio que permite producir leche, carne, cereales o frutas, por ende, el consumo de energía es incluido en la planilla de cálculos.

vi. Captura de carbono por la pradera. Esta es una hoja adicional a las emisiones de Carbono, la cual se asocia a la captura de carbono en suelos bajo pradera, utilizando como dato de actividad la superficie de pradera disponible (ver sección 2.2 de esta guía).

Una forma de verificar si los resultados de la planilla de cálculo son representativos de la realidad predial, es hacer una comparación con los resultados del inventario nacional de GEI[1]. Por ejemplo, para la determinación de metano entérico se utiliza un factor de emisión país especifico, el cual se calcula usando datos nacionales. Dicho factor de emisión del INGEI puede ser comparado con el factor calculado a nivel predial y, en caso de existir una notoria diferencia numérica, se debería proceder a revisar los datos prediales y/o ecuaciones.

2.2. Captura de Carbono

2.2.1. Captura de carbono: Praderas (CH_4 y CO_2)

Durante el proceso de fotosíntesis, las plantas que conforman las praderas capturan el CO_2 del aire y lo transforman en energía, como parte estructural para el crecimiento y mantención de la planta. Por ende, al igual que los bosques, las praderas presentes en sistemas bovinos (carne y leche) a pastoreo tienen la capacidad de capturar carbono en la forma de CO_2.

Actualmente, el inventario nacional de GEI asume que la captura de CO_2 producto de la actividad fotosintética de praderas está en equilibrio con la cantidad de CO_2 producido, generando una emisión/captura neta de carbono = 0.

[1] *https://snichile.mma.gob.cl/documentos/*

Para la determinación del secuestro de C desde praderas, y considerando que no se cuenta con estudios nacionales que den cuenta del cambio de stock de carbono en suelos bajo praderas, de acuerdo a los requerimientos para ser reportados por IPCC (2006), se utilizó las estimaciones realizadas por FAO (2022a) y la herramienta de balance de carbono ex ante desarrollada por FAO (2022b).

En base a ello, fue posible estimar que la pradera tiene un potencial de captura de carbono de 0,30 t C/ha/año, lo que equivale a 1,1 t CO_2 ha^{-1} $año^{-1}$. Dicho valor puede ser utilizado para estimar la captura anual de CO_2 en suelos bajo praderas. Este valor considera un potencial medio de captura para Chile de acuerdo a lo señalado por FAO (2022a) con una proyección de captura de acuerdo al manejo de la pradera. En el caso de la estimación usando el modelo ex ante de FAO (2022b), se toma como condición base una **"pradera mejorada"** a una **"pradera mejorada con alto uso de insumos y/o manejos"**, bajo una condición climática temperada fría, como la encontrada en la zona sur del país. Al contar con datos nacionales de captura y considerando distinta manejos y condiciones edafoclimáticas de las praderas, podrá usarse de preferencia este valor.

Por ejemplo, un productor con 100 hectáreas de pradera, tiene la capacidad de capturar 110 t CO_2/año. Como referencia además se incluyen distintos estudios científicos de captura de C por praderas, reportados en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Captura de C y dióxido de carbono (CO_2) en suelos bajo pradera en sistemas de producción bovina. Fuente: Adaptado de Alfaro y Mejías (2022).

País	t C/ha/año	t CO_2/ha/año
Australia	0,13	0,49
Australia	0,76	2,81
Francia	0,20	0,74
Nueva Zelanda	0,53	1,94
Nueva Zelanda	0,57	2,11
Nueva Zelanda	0,52	1,92
Francia	0,49	1,81
Irlanda	0,53	1,96
Islandia	0,51	1,89
Uruguay	0,94	3,48
PROMEDIO	**0,52**	**1,92**

2.2.2. Emisiones y Absorciones de las tierras en el predio

Se requiere determinar las emisiones y absorciones anuales que se producen en las tierras gestionadas. Para poder estimar el balance anual se sugiere utilizar el método de pérdidas y ganancias del IPCC (2006), que da cuenta del cambio de las existencias anuales de carbono.

$$\Delta C_B = \Delta C_G - \Delta C_L$$

Donde:

- ΔCB = Cambio anual en las existencias de carbono en la biomasa (aérea y subterránea), para cada subcategoría de uso de la tierra, considerando la superficie total (t C año^{-1}),
- ΔCB = Incremento anual de las existencias de carbono debido al crecimiento de la biomasa para cada subcategoría de uso de la tierra, considerando la superficie total (t C año^{-1}), y
- ΔCL = Reducción anual de las existencias de carbono debida a la pérdida de biomasa para cada subcategoría de tierra, considerando la superficie total (t C año^{-1}).

a. Incrementos anuales de existencias de carbono

Para establecer los incrementos anuales de existencias de carbono, es importante conocer la superficie del uso de la tierra que se está estimando, el crecimiento de biomasa del respectivo uso y la fracción de carbono de la vegetación evaluada, de acuerdo a la Ecuación 2.9 de las Directrices del IPCC (2006).

$$\Delta C_G = \sum (A * G_{TOTAL} * CF)$$

Donde:

- ΔCG = Incremento anual de las existencias de carbono en la biomasa debido al crecimiento de la biomasa en Tierras que permanecen en la misma categoría de uso, por tipo de vegetación y zona climática (t C/año),
- A = Superficie que permanece en la misma categoría de uso de la Tierra (ha),
- GTOTAL = Crecimiento medio anual de la biomasa (t MS/ha/año), y
- CF=Fracción de carbono de la materia seca (t C en ms).

b. Reducción anual en las existencias de carbono debido a la perdida de biomasa

Las pérdidas de biomasa corresponden a cortes para extracción de madera, leña y pérdidas producto de los disturbios que puedan ocurrir en el predio tales como incendios o plagas.

c. Tierras Forestales

En el caso de las tierras forestales los factores de emisión para determinar los incrementos y las pérdidas asociados a los diversos usos productivos por tipo de bosque deben ser lo más representativos posibles y tender a ser geográficamente específicos. Para determinar las ganancias y pérdidas de C de las tierras forestales del predio se recomiendan los siguientes pasos:

- Identificación de los polígonos que contienen bosque dentro de los límites prediales, es importante destacar que los bosques que se contabilizan corresponden a aquellos que se encuentran bajo gestión de parte del propietario.

  En el caso del bosque nativo, se consideran bajo gestión a las siguientes categorías:
  - Si tienen algún plan de manejo acorde a la legislación forestal.
  - Son clasificados como renovales bajo el Catastro de Usos Vegetacionales (CONAF).
  - Son bosques bajo áreas de conservación

  Para el caso de plantaciones forestales, todas las plantaciones se consideran bajo gestión.

- Identificación del tipo de bosque, en bosques plantados con especies exóticas o bosques nativos en este caso, considerar el tipo forestal.
- Recopilación de valores característicos de crecimiento publicados para la zona geográfica de la que forma parte el predio. Recopilar antecedentes respecto de crecimientos para la zona geográfica de la que forma parte el predio y su bosque. En su defecto utilizar alguna herramienta de estimación del crecimiento que considere parámetros locales, es el caso del modelo ecofisiológico MoDiVe (Bahamondez, 2020) el cual provee estimaciones de crecimiento en base a parámetros climáticos descritos por la estación

meteorológica más cercana al predio.

- Estimación del crecimiento del bosque objetivo en m^3/ha/año, la estimación del crecimiento se hace mediante el procesamiento de los tarugos de crecimiento procesando el largo del tarugo y el conteo de los mismos, información que provee las bases para estimar el crecimiento en diámetro, el cual llevado a volumen y expandido a todos los individuos de la muestra provee el crecimiento en volumen.

- Estimación de pérdidas anuales: se consideran como pérdidas de carbono lo siguiente:
  - las cortas y cosechas que se realizan para obtener productos madereros
  - las cortas y recogida de leña
  - las pérdidas de biomasa por incendios o plagas en el predio

- Transformación de crecimientos y de pérdidas en carbono: Para establecer los contenidos de CO_{2eq} a partir del crecimiento en volumen se trabaja de acuerdo a la metodología del IPCC (2006), que se detalla a continuación:

Se transforma el volumen (m^3) a biomasa (t), esto se hace bajo la siguiente función:

$$B = V * \Delta$$

Dónde:
B = Biomasa (t)
V = Volumen comercial (m^3)
Δ = Densidad ($t\ m^{-3}$)

- Se expande la biomasa comercial a la biomasa total del árbol (biomasa aérea y subterránea), bajo la siguiente fórmula:

$$BT = B * FEB\ (1+R)$$

Dónde:
BT = Biomasa Total (t)
FEB = Factor de expansión a Biomasa aérea
R = Proporción de raíces

- Se determina el contenido de carbono según la siguiente fórmula:

$$C = BT * FC$$

Dónde
C = Carbono (t)
BT = Biomasa total (t)
FC = Fracción de carbono

- Finalmente se lleva el contenido de carbono a CO_2 equivalente según la siguiente ecuación:

$$CO_{2eq} = C * FCon$$

Dónde:
CO_{2eq} = CO_2 equivalente (t)
C = Carbono (t)
FCon = Factor de conversión C/CO_2

Se sugiere usar la información del Inventario de gases de efecto invernadero de Chile para los distintos parámetros.

Una definición de los términos descritos en esta sección se presenta en Anexos "Glosario".

d. Conversiones de usos de la tierra en el predio

Una vez establecidos los usos de la tierra que se tienen en el predio, es importante dar seguimiento a los cambios de usos que pueden existir en el predio, por ejemplo, tierra de pastizales (praderas) que cambian a tierras de cultivo. Estos cambios de uso implican emisiones y absorciones que es importante registrar como parte de la contabilidad de gases de efecto invernadero en el predio.

2.3. Encuesta Predial

Cuando se realiza por primera vez un balance de C para un rubro en particular, es fundamental considerar a productores promedio/tipo de cada rubro y zonas agroecológicas, ya que permitirá tener una mejor aproximación de la realidad productiva y de esta forma, verificar que la planilla de cálculo se ha desarrollado de forma correcta. Por ende, antes de realizar la encuesta predial, es importante hacer una preselección de productores "promedio o representativos", considerando los siguientes parámetros: ubicación geográfica, tamaño de la unidad productiva,

superficie de cultivo (pradera, frutales, cereales), inventario animal en caso de predios ganaderos, superficie de bosque, parámetros productivos y consumo de energía. Una vez seleccionado a los productores promedio del rubro, se puede extender la encuesta a los productores que serán incluidos en el estudio de balance de C. Es importante señalar que todos los productores que formarán parte del estudio deben **tener registros de la información requerida para ingresar en la planilla de estimación del balance de C**. Se recomienda obtener información en base anual, de al menos dos años consecutivos, con el objetivo de absorber la variabilidad existente entre años debido a condiciones climáticas, productivas y/o de manejo predial. Otro aspecto importante para realizar una caracterización de productores tipo, es que los predios no estén en crecimiento o decrecimiento, esto ya que existirán importantes diferencias entre los años comparados. También hay que considerar cambios importantes en el manejo entre un año y otro, por ejemplo con o sin fertilización y/o riego.

Como se mencionó previamente, el objetivo de la encuesta predial es recopilar toda la información requerida para estimar el balance de C, por ende, su elaboración debe ser realizada posterior al desarrollo de la hoja de cálculo. Para ello, se recomienda dividir la encuesta en 7 secciones: 1) Información general, 2) Producción, 3) Fertilización nitrogenada, 4) Manejo estiércol, 5) Uso de enmiendas, 6) Sector forestal, 7) Consumo de energía.

2.3.1. Información general

Esta sección está destinada a recopilar información del predio y propietario. En ese sentido, es importante registrar fecha, nombre del productor, informante, región, rubro productivo, superficie total, superficie productiva, superficie forestal. Se debe delimitar claramente todo el predio y/o superficie utilizada como sistema productivo. En el caso de predios ganaderos, también forman parte del sistema arriendos y cualquiera otra superficie destinada a la producción lechera en todas sus etapas de desarrollo.

2.3.2. Información productiva

a. Producción bovina

Es posible elaborar una encuesta que permita recolectar información en bovinos destinados a la producción de carne y leche. Para ello, se requiere que

la encuesta permita recopilar información mensual, estacional o anual del predio, según la posibilidad de acceso a ellos. Se requiere obtener información sobre el número de animales, tasa de preñez, tasa de nacimientos, peso vivo, ganancia de peso vivo, dieta (proteína cruda, digestibilidad y cenizas), producción de leche (kg/día y kg/estación), composición láctea (grasa y proteína expresados como %).

Valores asociados al número de animales, consumo, dieta, producción y composición láctea deben ser reportados por estación, a fin de obtener un valor promedio anual considerando la variación intra-anual.

b. Producción de cereales

Registrar la superficie productiva para cada cultivo y su rendimiento (kg/ha/año). También es importante registrar el volumen y destino de los residuos (quema o incorporación, otro uso) y orden de la rotación.

c. Producción de frutales (avellano europeo)

Similar a la producción de cereales, es importante registrar la superficie productiva para cada cultivar del frutal, rendimiento (kg/ha/año) y año de plantación. Registrar el destino de los residuos de poda, porcentaje de sustitución o renovación de árboles y residuos de los frutales (cáscara). Además, se debe obtener información del uso de energía (petróleo, eléctrica u otros) utilizada en el predio sea esta por faenas realizadas en forma autónoma o arriendo de equipos y servicios.

2.3.3. Fertilización nitrogenada

a. Fertilización sintética

Registrar la fuente de N, el nombre del producto comercial, cantidad aplicada (anual y/o hectárea) y su porcentaje de nitrógeno. Es importante mencionar que se debe considerar solo el N aplicado por año, por ende, no se debe asumir que el N comprado corresponde al N aplicado para un año en particular.

b. Fertilización orgánica

Registrar tipo de fertilizante orgánico (estiércol, purines, etc.) y su contenido de N. En caso de no disponer del contenido de N de purines y/o estiércol, utilizar valores de literatura que sean representativos de la zona geográfica y tipo de fertilizante orgánico.

2.3.4. Enmiendas y uso de urea

Por enmienda se entiende la aplicación de cales, además del uso de urea, en su contribución directa a las emisiones por liberación de CO_2. En ambos casos, es importante registrar el nombre del producto comercial, y cantidad aplicada, ya sea de forma anual o por hectárea. En el caso de enmiendas calcáreas se debe registrar su porcentaje de pureza y composición.

El encalado del suelo, es decir, la aplicación de cal o dolomita, emite CO_2 durante la disolución de sus compuestos, dando lugar a CO_2 + agua. Similarmente, cuando se aplica urea al suelo, se emite CO_2 debido a la disolución de la urea en distintas moléculas, dando lugar a CO_2 + agua, similar al proceso descrito para el encalado. Es importante señalar que la urea, al ser un compuesto nitrogenado, emite N_2O, el cual debe ser cuantificado en la categoría "Fertilización nitrogenada".

Para más información de las ecuaciones a utilizar, revisar el volumen 10 del capítulo 4 de las directrices 2006 del IPCC (IPCC, 2006).

2.3.5. Sector forestal

La superficie comprendida dentro de los límites prediales presenta diversos usos, los que se relacionan a actividades productivas y usos auxiliares a las distintas actividades productivas realizadas en el predio. Para este propósito es recomendable determinar de forma explícita la distribución de los usos de la tierra al interior del predio.

Respecto a las reglas de contabilidad de emisiones y absorciones de GEI, los países deben declarar en tierras que se encuentran bajo gestión. Para esto, es importante determinar las áreas a escala predial que se encuentran con algún tipo de gestión.

2.3.5.1. Elaboración de Cartografía detallada

Limites prediales. Los límites prediales deben ser expresados en la forma de un mapa georreferenciado del área que implica el predio en cuestión, dependiendo del tamaño del predio se sugiere una escala de mapeo entre 1:20.000 – 1: 50.000. El área horizontal encerrada al interior de estos límites corresponde al área total del predio y debe ser consistente con lo declarado en la escritura de dominio

del predio.

Delimitación de zonas de actividad productiva. Las tierras comprendidas en el predio son objeto de actividad productiva de acuerdo con los manejos y rubros productivos que el propietario ha decidido realizar. Así, dado que cada rubro productivo conlleva sus propias tasas de emisión por unidad de superficie, es altamente relevante y necesario contar con la delineación precisa de las áreas que están involucradas en cada rubro productivo.

Áreas de uso auxiliar. Ciertas porciones del territorio predial como construcciones, obras civiles, caminos, pozos de captación de agua, redes de tendido eléctrico etc., no son atribuibles a ninguna actividad productiva en específico, sin embargo, deben ser delimitadas en forma detallada para permitir una buena y precisa estimación de las áreas de actividad asociada a cada rubro.

Materiales y métodos asociados a la generación de cartografía predial (Figura 3). A objeto de elaborar una cartografía predial, se debe contar con al menos los siguientes insumos:

- **Imágenes del predio.** Existe una variada fuente de acceso a imágenes que pueden usarse para el predio, desde fotografías aéreas a distintas escalas hasta imágenes satelitales de resolución media a alta. Este material previa geo rectificación resulta muy flexible y útil para la elaboración de cartografía predial.
- **Georreferenciación.** Las imágenes seleccionadas para representar los usos de la tierra usados en actividades productivas deben ser objeto de asignación de coordenadas geográficas asociadas a algún modelo de la tierra, permitiendo así hacer cálculos de superficie que reflejen las áreas de actividad con precisión suficiente, reduciendo los valores de incertidumbre al máximo.
- **Digitalización de límites.** Para realizar la digitalización de los límites prediales y de los usos por rubro productivo es importante contar con software especializado que permitan la realización de esta actividad, se sugiere utilizar los servicios de un consultor especializado en esta tarea a objeto de evitar errores.
- **Atributación y Almacenamiento alfanumérico en formato SIG.** Una vez delimitadas las unidades productivas distribuidas dentro del predio, se atributa cada polígono con el tipo de unidad productiva de que es objeto esa porción de tierra, conformando un archivo estándar de Sistema Geográfico



Figura 3. Ejemplo de delimitación de limites prediales y unidades productivas (Imagen Satelital por Google Maps®).

de Información, típicamente en formato en el estándar shape. Se debe considerar una estructura mínima de la tabla de datos comprendiendo los siguientes campos:

ID :	Identificación del polígono delimitado
Uso :	Usos de la tierra acorde las definiciones del país (ver glosario): 1) Pastizales, 2) Tierras de Cultivos, 3) Tierras Forestales, 4) Humedales, 5) Asentamientos y 6) Otras tierras.
Gestión :	Si / No
Área :	Área del polígono delimitado en m^2

Área gestionada :	Área gestionada del polígono delimitado en m^2
Actividad productiva :	1) Cultivos agrícolas (Clasificado en anuales y perennes) 2) Ganado (clasificado en bovinos, ovinos, caprinos, etc.) 3) Tierras forestales (Clasificado en Plantaciones y bosque nativo)

2.3.6. Fuentes de energía

Las emisiones de C a nivel predial requieren considerar las fuentes de emisión asociadas al sector Agricultura (punto 1 al 4) y Forestal (punto 5), pero además, es importante considerar las emisiones asociadas al sector "Energía", la cual es requerida para el desarrollo de las distintas actividades al interior del predio. Para ello, es necesario registrar:

- **Petróleo y/o bencina (L/año).** Indicar la cantidad de petróleo y bencina utilizada para propositivos productivos tales como fertilización, encalado, ensilado, etc.
- **Electricidad (kwh).** Uso de electricidad para procesamiento de productos, funcionamiento de instalaciones, etc.

En caso de que existan servicios externos de fertilización, aplicación de purines, encalado, u otro manejo predial, es importante cuantificar el uso de petróleo y/o bencina asociada a dichas actividades.

2.4. Control de calidad

Una parte fundamental del balance de C es tener la seguridad de que los resultados reportados reflejan fielmente la realidad predial. Para ello el proceso de análisis y control de datos es importante, y al existir dudas o diferencias importantes con valores promedio para los mismos sistemas productivos, se recomienda revisar nuevamente los datos con el productor. En especial se deberá tener especial cuidado en el uso de distintas unidades de medida utilizadas.

2.4.1. Control de calidad de las ecuaciones

Como se ha mencionado previamente, las emisiones prediales de C fueron calculadas usando las directrices del IPCC (IPCC, 2006), específicamente, el volumen 4 correspondiente a "Agricultura". Se recomienda hacer un Control de Calidad de las ecuaciones utilizadas por una persona externa que tenga conocimientos sobre las directrices del IPCC. Del mismo modo, se recomienda que la persona encargada del control de calidad verifique que las funciones y vínculos estén correctamente ingresadas.

2.4.2. Control de calidad de datos prediales

Es necesario hacer un control de calidad de los datos entregados por los productores, a fin de que estos reflejen la realidad productiva. La validación de los datos recolectados durante la entrevista predial tiene como objetivo mejorar la calidad y confianza de los resultados, siendo necesario hacer un análisis crítico de los datos entregados por los productores. Se sugiere hacer una comparación de los valores promedio del país con los entregados por los productores para las siguientes variables dentro de cada rubro:

- **Bovinos de leche y carne**
  a. Nivel productivo de los animales (peso vivo, ganancia peso vivo, producción y composición láctea)
  b. Composición química de la dieta (PC, FDN, digestibilidad y cenizas).
- **Frutales y cereales**
  a. Producción anual (fruta o cereales)
  b. Destino de los residuos (quema, compostaje, incorporación, etc.)
- **Todos los rubros**
  c. Aplicación de fertilizantes nitrogenados (total por año y por hectárea)
  d. Consumo de energía
  e. Destino de los residuos de cultivos

En caso de identificar valores extremos (sobre o bajo el valor esperado), es importante corroborar en forma remota los datos o si se requiere realizar una segunda visita predial.

2.5. Resultados

2.5.1. Reporte de resultados

Los resultados deben ser reportados de manera automática en la hoja "Resumen" del documento Excel. Se sugiere considerar lo siguiente para la presentación de resultados: 1) Información general del predio, 2) Resumen productivo, 3) Resumen de GEI e 4) Indicadores prediales.

a. Información general del predio.

Se sugiere crear una tabla inicial que entregue la siguiente información:

- Nombre del productor
- Año evaluado
- Región
- Sistema productivo

b. Información productiva

Una segunda tabla debe entregar información productiva del predio, la cual varía según el rubro. Se sugiere lo siguiente:

- Bovinos de leche y carne
  - Número promedio de animales por año (N°)
  - Producción de leche (kg/año)
  - Calidad de la leche (% promedio de grasa y proteína/año)
  - Fertilización con N y uso enmiendas (toneladas/año; composición del fertilizante/enmienda)
  - Consumo de energía.
- Cereales y frutales:
  - Superficie anual de cultivos,
  - Rendimiento (toneladas/año)
  - Fertilización con N y uso de enmiendas (toneladas/año, composición del fertilizante/enmienda)
  - Consumo de energía.

c. Resumen de GEI

Para las emisiones de C, se sugiere elaborar una tabla resumen de cada fuente de emisión separada por GEI y expresada en CO_{2eq}, como se muestra en el Cuadro 4. Al final de la tabla es importante mostrar los siguientes parámetros:

- **Emisión total:** Representa la suma de todas las fuentes de emisión del

predio.

- **Emisión neta:** Representa las emisiones totales del predio, una vez descontada la captura del sistema (pradera, bosques u otra fuente que pueda ser estimada y reportada).
- **Indicador 1 (t CO_{2eq}/ha):** Este indicador nos permite visualizar la tasa de emisión por unidad de superficie total utilizada para producción, considerando propia o en arriendo. Este cálculo se hace considerando las emisiones netas.

Cuadro 4. Tabla de presentación de resultados de balance de carbono.

	tCO_{2eq} $año^{-1}$	% del total
Fermentación entérica		
Manejo de estiércol		
Suelos Agrícolas		
Fertilización inorgánica		
Fertilización orgánica		
Orina y heces en pradera		
Quema de residuos		
Residuos agrícolas		
Aplicación de Cal		
Aplicación de Urea		
Energía		
CO_2 - Capturado por suelos		
CO_2 - Capturado por sector forestal		
Total, t CO_{2eq} $año^{-1}$		
Emisiones netas, t CO_{2eq} $año^{-1}$		
Indicador 1, t CO_{2eq} ha^{-1}		

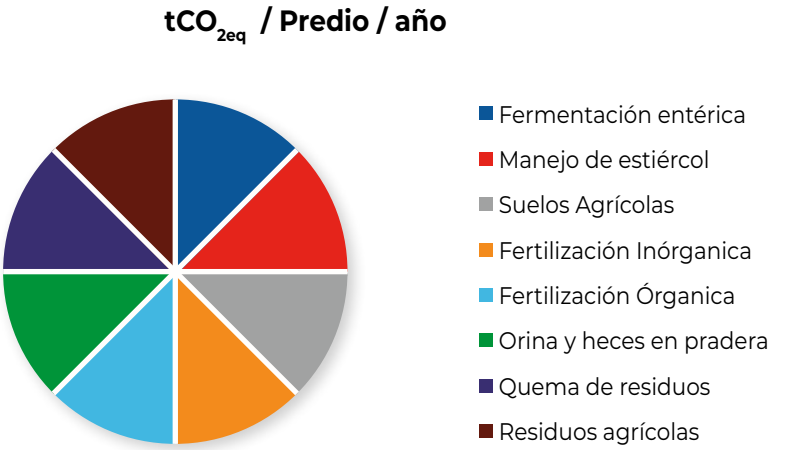


Figura 4. Representación gráfica de las fuentes de emisión de GEI.

2.5.2. Interpretación de los resultados

Los resultados obtenidos deben permitir hacer una segregación de las emisiones de C entre sus distintas fuentes, categorías y gases cuantificados. De esta manera, aquellas fuentes de emisión, gases y categorías que aporten una gran cantidad al total emitido por el sector, deberían ser priorizadas para el desarrollo de estrategias de mitigación, esto en concordancia con lo señalado por el IPCC (2006). Para ello, se sugiere obtener el porcentaje de aporte de cada fuente de emisión al total emitido, luego, ordenar de manera descendente. La selección de las categorías principales de emisión del rubro en evaluación puede hacerse siguiendo las directrices del IPCC (2006) para estos fines. Por ejemplo (ver Figura 5a, las emisiones provenientes de la fermentación entérica y suelos agrícolas representan en conjunto el 84% del total emitido, por ende, las estrategias de mitigación deberían ser enfocadas en estas dos categorías). Como la categoría "Suelos Agrícolas" está compuesta por distintas subcategorías, se sugiere abrir esta categoría y repetir el mismo proceso (Figura 5b). Así, los esfuerzos por reducir las emisiones deberían ser enfocadas en metano entérico, orina y heces, fertilización orgánica y fertilización inorgánica, por ende, estrategias de mitigación enfocadas en ellas pueden generar un mayor impacto en comparación a estrategias apuntadas a reducir las emisiones desde la aplicación de cal y/o urea.

a)

CATEGORÍAS	%	% acumulado
Metano entérico	60	60
Suelos Agrícolas	24	84
Manejo estiércol	8	92
Energía	5	98
Cal y Urea	2	100

b)

SUBCATEGORÍAS (Suelos Agrícolas)	%	% acumulado
Orina de heces	64	63,6
Fertilización orgánica	16	79,6
Fertilización inorgánica	12	91,6
Aplicación de Cal	7	98,3
Residuo de cultivos	1	99,6
Aplicación de Urea	0	100,0

Figura 5. Ejemplo de Identificación de principales a) categorías y b) subcategorías de emisión de gases con efecto invernadero.

2.4.4. Límites de los resultados

La calidad de los resultados reportados mediante la herramienta de cálculo va a depender de **la calidad de los datos reportados por los productores,** es decir, a mejores registros productivos, mejor estimación del balance de carbono predial.

Es importante señalar que los resultados corresponden a un "**Balance predial de C**", es decir, corresponde al cálculo de las emisiones y captura de C que ocurren al interior del predio, sin considerar emisiones asociadas a las fuentes de alimentación extra prediales o emisiones por insumos (transporte, despachos, u otros). Por lo tanto, los resultados, en ningún caso, deben ser interpretados como análisis de ciclo de vida, huella de carbono, u otros.

El potencial uso de la información es para la identificación de las principales categorías (y subcategorías) de emisión de cada rubro y/o potenciales capturas, permitiendo la implementación de estrategias de mitigación de GEI enfocadas en aquellas actividades que constituyan las categorías principales de emisión, según lo descrito previamente.

3. Mejoramiento de la herramienta de cálculo

La herramienta de cálculo de balance de C debe ser construida de tal forma que los resultados se obtengan de manera automática. Esto permitirá hacer un rápido cálculo del balance de C, y además permitirá hacer actualizaciones en relación a nuevos factores de emisión, potencial de calentamiento global y otros, en base a nuevos reportes del IPCC o a nuevos datos de actividad del predio.

Por lo tanto, la planilla de cálculo debe identificar y modificar los siguientes puntos:

- Factores de emisión
- Datos de actividad
- Ecuaciones de calculo
- Potencial de calentamiento global (GWP, por sus siglas en ingles). Este valor se utiliza para convertir las emisiones de gases distintos al CO_2 (Ejemplo: metano y óxido nitroso) en CO_{2eq}. Se recomienda utilizar los reportes del IPCC en relación al GWP más adecuado para estudios de inventario de GEI.

4. Agradecimientos

Esta iniciativa surge gracias al apoyo de la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), en el marco del proyecto "Balance de carbono como hoja de ruta para la generación de sistemas productivos agropecuarios carbono neutrales (BC-Agri) (PYT-2020-1421)".

Agradecemos la colaboración de las siguientes asociaciones y/o corporaciones: Federación Nacional de Productores de Leche (FEDELECHE, A.G.), Corporación Consorcio Lechero, Federación de Productores de Carne (FEDECARNE, A.G.), Corporación de la Carne (CorpCarne), Sociedad de Fomento Agrícola de Temuco (SOFO) y Avellanos Patagonia A.G., quienes a través de sus productores permitieron desarrollar el presente proyecto. Finalmente, agradecemos la colaboración del Agriculture Victoria (Australia) y FAO Ecuador, por su ayuda en el desarrollo de la herramienta de cálculo.

5. Referencias

Alfaro, M. y Mejías, J. 2022. El secuestro de carbono en los sistemas ganaderos, sus oportunidades y desafíos. En: Sostenibilidad en la producción ganadera, Lainez, M., Calvet, S., Estellés, F. (eds), Editorial Cajamar Caja Rural, España, ISBN-13: 978-84-95531-63-6, pp:97-116. https://publicacionescajamar.es/publicacionescajamar/public/pdf/series-tematicas/informes-coyuntura-monografias/monograf-43-sostenibilidad_ganadera_w.pdf

Bahamondez, C. 2020. Modelo dinámico de vegetación (MoDive). Informe final, convenio Miagro. 21 p. Link de descarga del modelo: https://ifn.infor.cl/index.php/descargas-recursos/descargas/category/13-modive

Carbon Trust (2018). Carbon footprinting: The next step to reducing your emissions. Carbon Trust (UK). 25p. Disponible en: https://www.carbontrust.com/resources/carbon-footprinting-guide

FAO. 2022a. Global Soil Organic Carbon Sequestration Potential Map - GSOCseq v.1.1. Technical report. Rome. https://doi.org/10.4060/cb9002en

FAO. 2022b. Ex-Ante Carbon-balance Tool | EX-ACT - Guidelines. Second edition - Tool version 9. Rome. https://doi.org/10.4060/cc0142en

Forster, P., V. Ramaswamy, P. Artaxo, T. Berntsen, R. Betts, D.W. Fahey, J. Haywood, J. Lean, D.C. Lowe, G. Myhre, J. Nganga, R. Prinn, G. Raga, M. Schulz and R. Van Dorland, 2007: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg1-chapter2-1.pdf

MMA-IBA. 2019. Informe del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Chile serie 1990-2016. Santiago, Chile.

IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; IPCC: Geneva, Switzerland, 2006.

IPCC. 2014. Informe de Síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático; IPCC: Ginebra, Switzerland.

6. Anexos

6.1. Glosario

Balance carbono. Corresponde a la diferencia entre el CO_2 emitido por un sistema y el absorbido por este mismo. En el sector Agricultura (que incluye agricultura y ganadería), las emisiones provienen principalmente de la fermentación entérica, suelos agrícolas, uso de enmiendas, quema de residuos, manejo de estiércol, entre otros, mientras que la absorción de carbono se asocia principalmente a la captura de carbono por bosques y praderas.

Huella de carbono. La huella de carbono es el total de gases de efecto invernadero (GEI) de emisiones causadas directa e indirectamente por un individuo, organización, evento o producto, y se expresa como dióxido de carbono equivalente (CO_{2eq}). La huella de carbono considera las emisiones de los GEI proveniente del dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC), y hexafluoruro de azufre (SF6) (Carbon Trust, 2013).

Inventario nacional de gases efecto invernadero. Estimación de las emisiones y absorciones de CO_2, CH_4, N_2O, HFC, PFC y SF6, siguiendo la metodología del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por su sigla en inglés) (MMA, 2019).

Tierras forestales: la definición de bosques utilizada en el país corresponde a la definición de la Ley Nº 20.283 sobre recuperación de Bosque Nativo y Fomento Forestal, que define Bosques como «sitio poblado con formaciones vegetales en las que predominan árboles y que ocupa una superficie de por lo menos 5.000 metros cuadrados, con un ancho mínimo de 40 metros con cobertura de copa arbórea que supere el 10 % de dicha superficie total en condiciones áridas y semiáridas y el 25 % en circunstancias más favorables». La Ley Nº 20.283 además define Bosque Nativo como «bosque formado por especies autóctonas, provenientes de generación natural, regeneración natural, o plantación bajo dosel con las mismas especies existentes en el área de distribución original, que pueden tener presencia accidental de especies exóticas distribuidas al azar». Las plantaciones forestales son bosques establecidos artificialmente por plantación o siembra. Los árboles usualmente pertenecen a la misma especie, pueden ser especies nativas o introducidas y tienen la misma edad y están espaciados regularmente en el terreno.

Tierras de cultivo: se refiere a zonas actualmente destinadas a la producción

agropecuaria. Incluye cereales, horticultura, fruticultura y ganadería.

Pastizales: corresponde al área de praderas y matorrales, y se refiere a formaciones herbáceas, arbustivas, arbustivo-herbáceas, arbustivo-suculenta y suculentas. Se subdividen de acuerdo con el tipo biológico preponderante (pastos, arbustos, suculentas) y sus especies dominantes. Este tipo de formaciones puede contener una componente de árboles, pero estos no superan los 2 metros de altura, ni el 25% de cobertura de copas en condiciones húmedas o el 10% en condiciones áridas o semiáridas.

Humedales: corresponden a extensiones de marismas, pantanos y turberas o, en general, superficies cubiertas de agua, sean estas de caracteres naturales o artificiales, permanentes o temporales, estancados o corrientes, dulces, salobres o salados. Se incluyen las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de 6 metros. Además, se incluyen en esta categoría las vegas y bofedales debido a su hidromorfismo. También se incluyen los cuerpos de agua que son las zonas cubiertas por el mar, ríos, lagos, lagunas y embalses.

Asentamientos: se refiere a sectores ocupados por ciudades o instalaciones industriales.

Otras tierras: esta categoría en el Sistema de clasificación del Catastro se define como "Áreas desprovistas de vegetación", que corresponden a sectores donde, en condiciones húmedas, la cobertura de árboles, arbustos, hierbas y suculentas en su conjunto es inferior al 25%, 10%, 10% y 5% respectivamente, mientras que en condiciones áridas o semiáridas es inferior al 5% de cobertura. Esta categoría también incluye el uso "Nieves eternas y glaciares" que corresponde a zonas cubiertas por nieve, nieves eternas, glaciares y campos de hielo; y finalmente el uso "Áreas no reconocidas" que son sectores para los cuales no ha sido posible efectuar un reconocimiento vegetacional debido a que constituyen las zonas de acceso restringido o por falta de fotografías aéreas o imágenes.

Instituto de Investigaciones Agropecuarias

Boletín INIA / N° 476
www.inia.cl

