



# METODOLOGÍA COLCX PARA MANEJO DE PASTURAS Y SUELO

Versión 1.0

# METODOLOGÍA COLCX PARA MANEJO DE PASTURAS Y SUELO

Versión 1.0

© Canal Clima COLCX – FMS – Caja de Herramientas

**Metodología COLCX para Manejo de pasturas y suelo**

No es permitida la reproducción parcial o total de este documento o su uso en cualquier forma o por cualquier medio, electrónico o mecánico, incluyendo escaneo, fotocopiado y microfilmación, sin el permiso de Canal Clima - COLCX. Derechos reservados.

## CONTENIDO

<b>1</b>	<b>DEFINICIONES</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>MARCO DE REFERENCIAS TÉCNICAS Y NORMATIVAS.</b> .....	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>ALCANCE DE LA METODOLOGIA</b> .....	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>ACTIVIDADES APLICABLES</b> .....	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>CONDICIONES DE APLICABILIDAD</b> .....	<b>11</b>
<b>7</b>	<b>EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DEL SUELO</b> .....	<b>12</b>
<b>8</b>	<b>LIMITES TEMPORALES Y ESPACIALES</b> .....	<b>13</b>
8.1	Límites temporales .....	13
8.2	Limites espaciales.....	13
8.3	Proyectos agrupados .....	16
<b>9</b>	<b>RESERVORIOS DEL PMGEI</b> .....	<b>16</b>
<b>10</b>	<b>FUENTES DE EMISIÓN DEL PMGEI</b> .....	<b>17</b>
<b>11</b>	<b>ESCENARIO DE LINEA BASE</b> .....	<b>19</b>
<b>12</b>	<b>ADICIONALIDAD</b> .....	<b>20</b>
<b>13</b>	<b>ESTRATIFICACIÓN</b> .....	<b>20</b>
13.1	Variables .....	20
<b>14</b>	<b>CUANTIFICACIÓN DE REMOCIONES Y REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GEI EN EL ESCENARIO DE LÍNEA BASE</b> .....	<b>21</b>
14.1	Existencias de carbono en la línea base.....	23
14.2	Emisiones de GEI.....	29
14.3	Emisiones totales .....	41
<b>15</b>	<b>ESCENARIO CON PROYECTO</b> .....	<b>42</b>
<b>16</b>	<b>FUGAS</b> .....	<b>42</b>
16.1	Cuantificación de fugas producto de la aplicación de enmiendas o estiércol fuera del área del proyecto .....	42
16.2	Cuantificación de fugas producto de traslado del ganado fuera del área del proyecto	42
16.3	Cuantificación de fugas por pérdida de productividad.....	43

## METODOLOGÍA COLCX PARA MANEJO DE PASTURAS Y SUELO

<b>17</b>	<b>ANÁLISIS DE RIESGOS DE NO PERMANENCIA .....</b>	<b>45</b>
<b>18</b>	<b>DETERMINACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE .....</b>	<b>45</b>
<b>19</b>	<b>ESTIMACION DE COLCERS DEL ESCENARIO DE FORMULACIÓN .....</b>	<b>46</b>
<b>20</b>	<b>NO DAÑO DE NETO .....</b>	<b>47</b>
<b>21</b>	<b>PLAN DE MONITOREO .....</b>	<b>47</b>
21.1	Descripción de acciones para el monitoreo en el área de proyecto .....	47
21.2	Descripción de acciones para el monitoreo de los riesgos de no permanencia.....	48
21.3	Variables de monitoreo relacionadas con cambios en las existencias de carbono y las fuentes de emisión.....	48
<b>22</b>	<b>SALVAGUARDAS SOCIOAMBIENTALES Y BIENESTAR ANIMAL .....</b>	<b>48</b>
22.1	Evaluación de las salvaguardas socioambientales aplicables al proyecto.....	48
22.2	Evaluación de dominios de bienestar animal .....	49
<b>23</b>	<b>CONTRIBUCION A LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)..</b>	<b>50</b>
<b>24</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>51</b>
24.1	Anexo 1 Buenas prácticas ganaderas.....	51
<b>25</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>58</b>
<b>26</b>	<b>HISTORIA DEL DOCUMENTO .....</b>	<b>61</b>

### Índice de ecuaciones

<b>Ecuación 1.</b> Estimación de las reservas de carbono en la línea base. ....	23
<b>Ecuación 2.</b> Cambio en las reservas de carbono orgánico en el suelo. ....	25
<b>Ecuación 3.</b> Cambios en las reservas de carbono en la biomasa herbácea. ....	27
<b>Ecuación 4.</b> Cambio en las reservas de carbono de la biomasa leñosa aérea en el proyecto. ....	29
<b>Ecuación 5.</b> Emisiones por combustión fósil. ....	29
<b>Ecuación 6.</b> Cálculo del factor de emisión para ganado bovino. ....	30
<b>Ecuación 7.</b> Energía neta consumida. ....	30
<b>Ecuación 8.</b> Energía neta para el mantenimiento. ....	31
<b>Ecuación 9.</b> Energía neta para la actividad. ....	31
<b>Ecuación 10.</b> Energía neta requerida para el crecimiento. ....	32
<b>Ecuación 11.</b> Energía neta requerida para la lactancia. ....	32
<b>Ecuación 12.</b> Energía para animales de trabajo. ....	32
<b>Ecuación 13.</b> Energía neta para la preñez. ....	33
<b>Ecuación 14.</b> Energía neta convertida en energía metabolizable. ....	33
<b>Ecuación 15.</b> Ratio entre energía neta disponible y la energía digerible consumida. ....	33
<b>Ecuación 16.</b> Emisiones de Metano por fermentación entérica. ....	34
<b>Ecuación 17.</b> Número de cabezas de ganado al año. ....	34
<b>Ecuación 18.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> e por fermentación entérica. ....	35
<b>Ecuación 19.</b> Factor de emisión para las emisiones de CH <sub>4</sub> por gestión del estiércol. ....	35
<b>Ecuación 20.</b> Sólidos volátiles excretados. ....	36
<b>Ecuación 21.</b> Emisiones de CH <sub>4</sub> por gestión del estiércol. ....	36
<b>Ecuación 22.</b> tCO <sub>2</sub> e emitidas por la gestión del estiércol. ....	36
<b>Ecuación 23.</b> Emisiones directas de N <sub>2</sub> O por gestión del estiércol. ....	37
<b>Ecuación 24.</b> Tasa anual de excreción de Nitrógeno. ....	37
<b>Ecuación 25.</b> Tasa de consumo de Nitrógeno. ....	38
<b>Ecuación 26.</b> Retención de N en los animales. ....	38
<b>Ecuación 27.</b> Pérdidas de N debidas a la volatilización del estiércol. ....	38
<b>Ecuación 28.</b> Pérdidas de N debidas a la lixiviación de sistemas de gestión del estiércol. ...	39
<b>Ecuación 29.</b> Emisiones directas de N <sub>2</sub> O en suelos gestionados. ....	40
<b>Ecuación 30.</b> Cantidad de N en especies fijadoras de Nitrógeno. ....	40
<b>Ecuación 31.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> -C por aplicación de CAL Dolomita y Piedra Caliza Cálctica. ....	41
<b>Ecuación 32.</b> Emisiones totales en el escenario de línea base. ....	41
<b>Ecuación 33.</b> Cuantificación de productividad en el periodo histórico de referencia. ....	43
<b>Ecuación 34.</b> Cuantificación de productividad en el periodo crediticio. ....	44
<b>Ecuación 35.</b> Comparación de productividad. ....	44
<b>Ecuación 36.</b> Cálculo de la diferencia de promedio de productividad por año por unidad productiva. ....	44
<b>Ecuación 37.</b> Cálculo de emisiones por fuga de productividad. ....	45
<b>Ecuación 38.</b> Cálculo de emisiones por fuga de productividad. ....	45
<b>Ecuación 39.</b> Estimación de COLCERS. ....	46

## METODOLOGÍA COLCX PARA MANEJO DE PASTURAS Y SUELO

<b>Ecuación 40.</b> Cuantificación del delta de reducción de emisiones. ....	46
<b>Ecuación 41.</b> Cuantificación de las existencias de carbono en los reservorios. ....	46

### Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Reservorios elegibles en los escenarios de línea base y con proyecto .....	17
<b>Tabla 2.</b> Fuentes de emisión incluidas o excluidas de los escenarios de línea base y con proyecto. ....	18
<b>Tabla 3.</b> Especificaciones mínimas de las actividades que definen el escenario de línea base. ....	19
<b>Tabla 4.</b> Ejemplo de la estratificación. ....	21
<b>Tabla 5.</b> Modelos de cuantificación aplicables por fuente de emisión o reservorio de carbono. ....	22
<b>Tabla 6.</b> Tipos de inventarios para el cálculo de biomasa leñosa aérea. ....	28
<b>Tabla 7.</b> Coeficientes de cálculo para la energía neta requerida para el mantenimiento.....	31
<b>Tabla 8.</b> Coeficiente de actividad correspondiente a las condiciones de alimentación del animal.....	32
<b>Tabla 9.</b> Porcentaje de digestibilidad del alimento y factores de corrección del Metano.....	34

## AGRADECIMIENTOS

COLCX agradece la participación de las personas naturales y entidades que contribuyeron a la creación, diseño e implementación de la Metodología para Manejo de Pasturas y Suelo en su primera versión.

### Consultores:

Juan Daniel Melendez Chapetta  
Nicolas Andrés Canaria Cotacio  
Andrés Abondano Pineda

### Organizaciones:

Caja de Herramienta  
CO2CERO SAS  
Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible FCDS

### SIGLAS

<b>GSMI</b>	Guía Sanitaria de Movilización Interna
<b>ICA</b>	Instituto Colombiano Agropecuario
<b>IDEAM</b>	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
<b>MRV</b>	Monitoreo, Reporte y Verificación
<b>PMGEI</b>	Proyecto de Mitigación de Gases de Efecto Invernadero
<b>RSPP</b>	Registro Sanitario de Predio Pecuario
<b>RUV</b>	Registro Único de Vacunación
<b>SIPRA</b>	Sistema de Información para la Planificación Rural Agropecuaria
<b>UPRA</b>	Unidad de Planificación Rural Agropecuaria
<b>ZAP</b>	Zona de Análisis del Proyecto

### 1 DEFINICIONES

**Animal de Reemplazo:** animal criado para reemplazar otros productivos que se espera se retiren del hatu o manada.

**Energía Bruta:** Energía calórica total contenida en el alimento, medida en unidades como MJ/kg.

**Energía neta requerida para el mantenimiento:** Representa la cantidad de energía neta requerida para mantener al animal en equilibrio, sin ganancia ni pérdida de peso.

**Especies Fijadoras de Nitrógeno:** Plantas que se asocian con microbios fijadores de nitrógeno en las raíces, como soja y alfalfa.

**Fermentación Entérica:** Proceso digestivo en rumiantes donde los microbios descomponen el alimento en el rumen, produciendo metano como subproducto.

**Metanogénesis:** Formación anaeróbica de metano en el rumen por microorganismos conocidos como metanógenos.

**Metano Entérico:** Emisiones de metano de rumiantes debido a la fermentación entérica del alimento.

**Práctica Mejorada de Gestión de Tierras Agrícolas:** Práctica agrícola que aumenta el almacenamiento de carbono del suelo o proporciona otro beneficio climático, como mejoras en la fertilización, manejo del agua y prácticas de cultivo.

**Pastoreo Rotacional:** Alternancia de potreros con períodos de descanso para permitir la regeneración de la vegetación, aumentando la biomasa radicular y aérea y favoreciendo la retención de carbono en el suelo.

**Pastoreo Regenerativo:** Uso de cargas instantáneas elevadas con tiempos de ocupación cortos, imitando patrones naturales de herbívora. Esto estimula el crecimiento radicular profundo, mejora la infiltración de agua y la acumulación de materia orgánica, reduciendo la erosión y favoreciendo la biodiversidad.

**Pastoreo Diferido:** Exclusión de ciertas áreas del pastoreo por períodos prolongados para permitir la regeneración de especies forrajeras perennes, mejorando la cobertura vegetal y la estabilidad del suelo.

**Rebaño:** Animales en una granja agrupados según características homogéneas, como tipo de animal, peso, fase de producción o régimen de alimentación.

**Rumiante:** Mamífero con un sistema digestivo adaptado para generar rumen, incluye especies como vacas, cabras, y ovejas.

**Sobrepastoreo:** Pastoreo que resulta en cambios permanentes en especies vegetales y en la reducción de la cobertura del suelo.

Adicional a las definiciones mencionadas anteriormente, el PMGEI debe considerar la *Guía de términos y definiciones del Programa COLCX* en su versión más actualizada.

## 2 OBJETIVOS

Otorgar una metodología para titulares y proponentes de proyecto involucrados en actividades de manejo de pasturas y suelos en predios ganaderos, que incrementen el contenido de carbono orgánico en el suelo, y promuevan la remoción y/o reducción de GEI<sup>1</sup>.

- Establecer los criterios para la elegibilidad del proyecto y los parámetros de cuantificación en el escenario de línea base.
- Cuantificar los GEI asociadas al manejo de pasturas y suelos, y actividades ganaderas.
- Proporcionar lineamientos sobre medios de seguimiento y monitoreo de las fuentes y reservorios de carbono dentro de los límites del proyecto.

## 3 MARCO DE REFERENCIAS TÉCNICAS Y NORMATIVAS.

La metodología contempla el siguiente marco documental:

- Las directrices de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) para la reducción de emisiones de GEI.
- Las orientaciones de la Norma ISO 14064-2: 2019 para el desarrollo de proyectos de mitigación y remoción de GEI.
- Los lineamientos del programa COLCX.
- La Metodología Grass for Carbon desarrollada por Farm & Forestry Management Services SRL.

Esta metodología proporciona a los diferentes actores involucrados en PMGEI relacionados con el manejo de pasturas y suelos enfocados en producción ganadera los siguientes elementos:

- Requisitos para la identificación y selección de fuentes y reservorios de GEI.
- Criterios para evaluar y definir las prácticas ganaderas, el estado del carbono orgánico en el suelo y la biomasa vegetal preliminar a la implementación del PMGEI.
- Describe procedimientos para evaluar y cuantificar las reducciones y remociones de GEI derivadas de la implementación del PMGEI.
- Define los procedimientos y herramientas necesarios para el monitoreo y seguimiento del PMGEI.
- Establece mecanismos para evaluar y cuantificar posibles fugas de carbono que puedan ocurrir como resultado de la implementación del proyecto.

El PMGEI debe evaluar y aplicar la normativa sectorial del país anfitrión donde se desarrolle la iniciativa, evidenciando que no se impide la aplicación de una de estas al desarrollar el PMGEI

---

<sup>1</sup> Esta metodología no es aplicable a proyectos REDD+ o ARR. Su alcance se limita a actividades de manejo de pasturas y suelos en predios ganaderos, evitando así cualquier confusión sobre su uso en otros enfoques de mitigación.

### 4 ALCANCE DE LA METODOLOGIA

La metodología orienta al proponente/titular del PMGEI en la cuantificación de las reducciones/remociones de emisiones de GEI en predios ganaderos a través de la gestión sostenible de pasturas y suelos. La presente metodología aborda las siguientes áreas clave:

- **Actividades Aplicables:** Se establecen lineamientos para el desarrollo de los PMGEI enfocados únicamente en la implementación de prácticas de manejo sostenible de pasturas, como la rotación de pastoreo y/o el establecimiento de especies forrajeras mejoradas.
- **Fortalecimiento de procesos de MRV:** Incorpora procedimientos para la medición, verificación y monitoreo de las emisiones de GEI para la cuantificación de los COLCERS del proyecto.
- **Fomentar el bienestar animal:** Brinda lineamientos para garantizar la protección y bienestar animal durante la implementación del proyecto.

### 5 ACTIVIDADES APLICABLES

Los PMGEI que pueden aplicar la presente metodología pertenecen exclusivamente al sector Agricultura y ganadería, los cuales incluyen como mínimo una de las siguientes actividades:

#### I. Mejoras en las Prácticas de Pastoreo y manejo del ganado enfocadas en el mejoramiento de la fertilidad del suelo y degradación del suelo, y la optimización el ciclo de nutrientes.

El PMGEI implementa alguna de las siguientes actividades:

- a. Gestión optimizada del forraje y planificación del pastoreo.
- b. Manejo eficiente del agua, la provisión de sombra, el control de carga animal y/o la mejora en la infraestructura de los potreros (Ver Anexo 1 Buenas prácticas ganaderas).
- c. Prácticas de pastoreo sostenibles (por ejemplo, pastoreo rotacional, regenerativo, diferido, entre otros), que optimizan la regeneración de praderas degradadas, mejoran la retención de carbono en el suelo y reducen la compactación del terreno.

#### II. Actividades silvopastoriles

El PMGEI genera la integración de árboles y pastoreo para mejorar el bienestar animal y la captura de carbono.

#### III. Rotaciones de cultivos y agroforestería

El PMGEI implementa alguna de las siguientes actividades:

- a. Se incluyen especies perennes nativas o naturalizadas sin potencial invasor, adaptadas a las condiciones locales del PMGEI;

- b. Se mejora la planificación y rotación de los cultivos y/o se implementan sistemas agroforestales, que optimizan la producción de biomasa y la regeneración del suelo;
- c. Se prioriza la inclusión de especies forrajeras perennes, cultivos de cobertura y/o leguminosas que aportan materia orgánica al suelo, mejoran la disponibilidad de nutrientes y contribuyen a la alimentación del ganado.

#### IV. Disminución de emisiones por quema de combustible fósil

El PMGEI disminuye la labranza y el uso de maquinaria agrícola que requiere combustible de origen fósil.

#### V. Mejoras en la Gestión del Agua/Riego

El PMGEI implementa alguna de las siguientes actividades:

- a. Sistemas de riego eficientes, (por ejemplo, riego por goteo, sensores de humedad, entre otros), los cuales mejoran la eficiencia hídrica en el PMGEI;
- b. Sistemas de captación y uso de agua lluvia que permiten minimizar el consumo de agua potable, reduciendo la dependencia de fuentes convencionales.

### 6 CONDICIONES DE APLICABILIDAD

Esta metodología es aplicable a los proyectos que se desarrollen bajo las siguientes condiciones:

- El PMGEI implementa como mínimo una de las actividades mencionadas en la sección 6. ACTIVIDADES APLICABLES .
- El(los) titular(es) de(los) predio(s) donde se implementa el PMGEI poseen la extensión y el derecho de uso de la tierra. Los predios no deben presentar disputas u otros conflictos legales. Si uno o varios predios presentan prácticas legales de cesión de la tierra, como arrendamientos u otros acuerdos, serán válidos siempre que cubran el periodo de acreditación de la iniciativa y la normativa legal del país anfitrión.
- Las actividades del PMGEI son desarrolladas conforme al marco normativo vigente del país anfitrión donde se desarrolla la iniciativa, lo cual permite no incurrir en violaciones a la ley. Adicionalmente, el PMGEI sigue las orientaciones y lineamientos establecidos por las autoridades agropecuarias competentes, los cuales se soportan respectivamente (por ejemplo, registro sanitario, registro de vacunación, guías sanitarias para la movilización interna de animales, entre otros).  
Los PMGEI que apliquen biochar como enmienda del suelo son aplicables, siempre y cuando se descuenta el contenido total de carbono orgánico del biochar al cambio del COS en el escenario del proyecto.
- En situaciones donde las causas sean externas o de fuerza mayor, se debe demostrar, mediante un análisis situacional, que la problemática es generalizada en más del 30% del área de proyecto, y que las causas que generan que la generan son comunes. Toda

## METODOLOGÍA COLCX PARA MANEJO DE PASTURAS Y SUELO

la información que respalde dicha problemática generalizada, junto con los mecanismos de solución será aceptada por el OVV.

- El PMGEI no presenta pérdida de productividad, en más del 8% en comparación con el periodo histórico de referencia, como resultado de la implementación de las actividades del proyecto. La evaluación de la productividad se debe demostrar según los lineamientos de la Ecuación 35. En caso de que la pérdida de productividad sea ocasionada por agentes externos como fenómenos climatológicos extremos se debe presentar evidencia oficial que justifique la ocurrencia del evento.

Esta metodología NO es aplicable a los proyectos que se desarrollen bajo las siguientes condiciones:

- El área del PMGEI ha sido transformada, generando la pérdida de ecosistemas nativos como bosques naturales en diferentes estados sucesiones, sabanas naturales, humedales, paramos, praderas naturales, matorrales y/o coberturas naturales que proporcionan servicios ecosistémicos clave, como la regulación hídrica, la captura de carbono y la biodiversidad durante los 10 años previos al inicio de la iniciativa<sup>2</sup>.
- El PMGEI se implementa en humedales o sitios RAMSAR. Esta condición no excluye los cultivos sometidos a inundaciones artificiales, si se demuestra que el cultivo no afecta la hidrología de humedales cercanos o zonas que tengan suelos orgánicos, como páramos y manglares, que contienen suelos con alto contenido de materia orgánica.

Cada uno de los ítems descritos anteriormente debe ser soportado mediante información trazable y verificable.

## 7 EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DEL SUELO

Los PMGEI que sean implementados en suelos degradados deben demostrar esta característica a partir de la disminución de los niveles de COS teniendo en cuenta:

1. **Análisis históricos del suelo:** Uso de datos de estudios científicos, inventarios de suelos, registros institucionales, entre otros que evidencien la disminución del COS en el área del PMGEI.
2. **Registros de manejo del predio:** Historial de uso del suelo y las prácticas de manejo previas al proyecto, como sobrepastoreo, labranza intensiva y eliminación de cobertura vegetal, que contribuyen a la pérdida de COS. Esta información podrá obtenerse de registros de propietarios, entrevistas locales, documentos técnicos, entre otros.

Este análisis debe ser coherente con lo descrito en la sección 0.

---

<sup>2</sup> El análisis multitemporal de coberturas se debe realizar teniendo en cuenta la clasificación oficial de coberturas del país anfitrión donde se desarrolle el PMGEI.

## 8 LÍMITES TEMPORALES Y ESPACIALES

Este capítulo establece lineamientos relacionados con el periodo crediticio del PMGEI, así como los límites espaciales que definen el área efectiva de evaluación de los COLCERS durante su ejecución.

### 8.1 Límites temporales

Los límites temporales del proyecto deben estar definidos desde la estructuración del PMGEI, y ser reportados en la documentación elaborada por la iniciativa (DDP, RM, entre otros), considerando los siguientes aspectos:

- **Fecha de Inicio:** Fecha exacta (dd/mm/aaaa), en la que se establecieron las actividades del proyecto. Esta debe estar soportada objetivamente con documentación trazable y verificable. Algunos ejemplos de documentos que soportan el inicio del PMGEI son contratos para la preparación del terreno, evidencias del establecimiento de las actividades, compra de insumos, entre otros. El periodo de retroactividad del proyecto debe contemplar los lineamientos del Estándar ColCX para la certificación de iniciativas de mitigación en su versión más actualizada.
- **Periodo de acreditación:** 10 años de acuerdo con los lineamientos del Estándar ColCX para la certificación de iniciativas de mitigación en su versión más actualizada.
- **Periodo histórico de referencia:** Corresponde a los tres años previos a la fecha de inicio del proyecto, definidos como  $t = -3$ . Sobre este se identifica el escenario de línea base, las prácticas de uso y manejo del suelo preexistente.

### 8.2 Límites espaciales

Los límites espaciales corresponden a cada una de las áreas involucradas en la implementación y cuantificación de los COLCERS del PMGEI. Estos límites incluyen:

- **Área del PMGEI.**
- **Zona de Análisis del Proyecto.**

Cada uno de es deben estar disponibles en formato vectorial (shape, KML o similares), incluyendo atributos como área, perímetro, tipo de producción, capacidad de carga y un identificador único para cada área del proyecto.

#### 8.2.1 Área del PMGEI

Se refiere a la extensión de tierra en las cuales el proponente posee el derecho legal de tenencia y uso, permitiéndole realizar actividades relacionadas con el manejo de pasturas y suelos y la producción ganadera sostenible. Los derechos deben estar vigentes desde el inicio del proyecto y durante la implementación del PMGEI. Los siguientes criterios deben considerarse para identificar y establecer este límite espacial:

## METODOLOGÍA COLCX PARA MANEJO DE PASTURAS Y SUELO

- **Identificación de predios:** Identificador único, nombre del predio y/o área involucrada en el PMGEI.
- **Estado actual de tenencia de la tierra:** Descripción del estado actual de tenencia de la tierra y la propiedad legal del territorio, de acuerdo con los documentos formales de titularidad del país anfitrión. Esta información debe ser actualizada y documentada adecuadamente.
- **Participantes y responsabilidades:** Lista completa de todos los participantes y roles en el proyecto. Esto incluye nombres, razón social de cada participante, número de identificación, número de contacto y correo electrónico.
- **Superficie:** Área expresada en hectáreas disponible en formatos vectoriales compatibles con un SIG (.shp, Geopackage, kml, entre otros).

### 8.2.2 Zona de Análisis del Proyecto

Con el fin de documentar el impacto real del proyecto se necesita contar con una zona de análisis del proyecto (ZAP), este límite permite recopilar datos para la delimitación de la línea base. Para delimitar la ZAP existen dos alternativas las cuales se deben reevaluar cada que se renueve el periodo crediticio del proyecto.

#### 8.2.2.1 Alternativa 1

En esta alternativa se debe delimitar la ZAP en área diferentes a los predios participantes del proyecto, esta no debe coincidir ni traslaparse con el área del proyecto, con sus actividades implementadas ni con otros PMGEI registrados. El PMGEI debe considerar como mínimo los siguientes criterios de similitud:

- Características del suelo (composición, capacidad de carga y tipo).
- Tipo de ecosistemas y criterios ecológicos estructurales y funcionales del ecosistema.
- Tipos de paisaje, relieve y unidades geográficas
- Límites administrativos considerando como escala máxima municipio o su equivalente en el país anfitrión donde se desarrolle el PMGEI.
- Elevación y pendiente
- Uso actual del suelo
- Prácticas de manejo del suelo
- Uso histórico del suelo durante el periodo histórico de referencia (t = -3)
- Tenencia de la tierra (público, privado y/o comunitario)
- Productividad expresada como rendimiento en la producción de commodities<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Los commodities son productos básicos estandarizados que se comercializan en grandes volúmenes en mercados nacionales e internacionales. En el contexto agrícola, pecuario y forestal, incluyen bienes como granos (maíz, trigo, arroz), productos pecuarios (leche, carne) y maderas u otros productos forestales. Su principal característica es que son intercambiables, con poca diferenciación entre los productos de distintos productores, y su precio se determina generalmente por la oferta y demanda en los mercados globales.

Cada uno de los criterios mencionados anteriormente debe estar debidamente soportado a partir de información cartográfica. Las áreas correspondientes a la ZAP resultantes de este paso deben poseer una variación máxima en cada criterio de máximo  $\pm 15\%$  con respecto al área del proyecto. Finalmente, es importante mencionar que la ZAP debe excluir áreas con eventos recientes como deforestación o cambios drásticos en el uso del suelo durante el periodo histórico de referencia. El área resultante de este análisis corresponde a la ZAP.

### 8.2.2.2 Alternativa 2

Esta alternativa será válida únicamente en el caso de no poder acceder a la colecta de datos directa en la ZAP identificada en la sección 8.2.2.1, por ser predios privados. En esta alternativa la ZAP corresponde a áreas dentro de(los) predio(s) involucrados en el PMGEI donde no se implementarán actividades, es decir áreas no incluidas dentro del área del proyecto. Su extensión debe corresponder a un porcentaje entre el 1 y el 5 % del área elegible del PMGEI. Esta zona reservada no estará sujeta a actividades del proyecto y se destinará exclusivamente para la recopilación de datos de referencia. Su tamaño debe garantizar un muestreo estadísticamente significativo respecto al total del área del proyecto.

El proponente del proyecto debe justificar la selección y validez de la ZAP a partir de la similitud con las condiciones preexistentes del área del proyecto, siguiendo el Paso 1 de la sección 8.2.2.1.

### 8.2.3 Significancia de las muestras en la ZAP

Para determinar la cantidad de unidades muestrales necesarias para cuantificar el carbono existente en los reservorios del proyecto, así como las emisiones atribuibles al PMGEI de acuerdo con la sección 9, es fundamental realizar un análisis estadístico. Por esto, el PMGEI debe cumplir con un error de muestreo no mayor a 10% del valor promedio de carbono, con un nivel de confianza del 95%.

### 8.2.4 Cálculo del carbono promedio en el periodo histórico de referencia

Una vez se delimite la ZAP el PMGEI debe calcular el carbono promedio en el periodo histórico de referencia en los reservorios contemplados por la iniciativa de acuerdo con la sección 9 de la presente metodología. Para ello el PMGEI podrá emplear los siguientes modelos:

1. **Promedio Lineal.** Puede ser empleado únicamente si los datos colectados de los reservorios durante el periodo histórico de referencia evidencian una tendencia estable.
2. **Modelos Simulación No Lineal.** Si se observan variaciones significativas<sup>4</sup> de los datos de los reservorios en el periodo histórico de referencia, se debe construir un modelo no lineal que permita capturar estas fluctuaciones. El PMGEI debe demostrar

---

<sup>4</sup> Diferencia de 5% o más entre los datos.

mediante los estadígrafos necesarios que posee un buen nivel de predicción a partir de los estadígrafos respectivos (AIC,  $R^2$ , F1-Score, RMSE, entre otros).

Como resultado del cálculo del carbono promedio en el periodo histórico de referencia el PMGEI debe obtener un valor anual de carbono en los reservorios en ausencia del proyecto, facilitando así una comparación entre el escenario sin intervención y el escenario proyectado tras la implementación del proyecto.

### 8.3 Proyectos agrupados

Para que un PMGEI pueda considerarse como un proyecto agrupado, es necesario establecer un área de expansión que cumpla como mínimo con los criterios de homogeneidad definidos en el Paso 1 de la sección 8.2.2.1. Estos criterios garantizan que el área de expansión sea similar y permitan la implementación uniforme de prácticas ganaderas sostenibles. Al igual que en el proceso para determinar la ZAP, el área de expansión puede tener una variación máxima del  $\pm 15\%$  con respecto a cada criterio, asegurando así la uniformidad en su implementación y los resultados. Si el PMGEI implementa otros criterios para la delimitación del área de expansión debe establecerlos durante la validación en el PDD correspondiente.

Cada una de las áreas incluidas en las subsiguientes certificaciones del proyecto, debe poseer una descripción donde se evidencie como estas áreas cumplen con los criterios de agrupamiento validados y cumplen con la retroactividad máxima permitida por el programa COLCX. Para garantizar que la evidencia proporcionada sea objetiva y sólida, debe incluir los datos espaciales<sup>5</sup> que provienen de fuentes confiables, tales como estudios SIG o imágenes satelitales, estudios técnicos y/o científicos, reportes de actividades de manejo preexistentes.

## 9 RESERVORIOS DEL PMGEI

El PMGEI debe considerar el cambio de los reservorios de carbono tras la adopción de las actividades de mejoramiento de suelos y pasturas. Los reservorios deberán ser los mismos tanto en el escenario de línea base como en el escenario con proyecto, con el fin de generar un proceso de cuantificación, monitoreo y verificación comparable.

Se podrá considerar que un reservorio es significativo cuando contribuye con más de 5% las remociones totales del PMGEI comparadas con la línea base.

---

<sup>5</sup> Es importante aclarar que el área de expansión y, en consecuencia, el área del proyecto no deberá estar dentro del área de influencia definida para establecer el escenario de línea base de la iniciativa.

## METODOLOGÍA COLCX PARA MANEJO DE PASTURAS Y SUELO

**Tabla 1.** Reservorios elegibles en los escenarios de línea base y con proyecto

Reservorio	Incluido/excluido	Justificación
Biomasa herbácea aérea (BH,a)	Opcional	Puede incluirse si las modificaciones de la cobertura son significativas en comparación con la línea de base.
Biomasa herbácea subterránea (BH,s)	Excluido	No se considera un reservorio de carbono que posea cambios significativos tras la implementación de las actividades del proyecto.
Biomasa leñosa aérea (Bl,a)	Opcional	Debe incluirse si las modificaciones de la cobertura generan incrementos significativos en comparación con la línea de base.
Biomasa leñosa subterránea (Bl,s)	Opcional	Debe incluirse si las modificaciones de la cobertura generan incrementos significativos en comparación con la línea de base.
Carbono orgánico del suelo (COS)	Incluido	Reservorio de carbono principal de las actividades del proyecto, se espera que aumente en el escenario con proyecto
Madera muerta (MM)	Excluido	No se considera que el reservorio de carbono tenga cambios significativos tras la implementación de las actividades del proyecto.
Hojasca (HJC)	Excluido	No se considera que el reservorio de carbono tenga cambios significativos tras la implementación de las actividades del proyecto.

### 10 FUENTES DE EMISIÓN DEL PMGEI

El proponente de proyecto debe cuantificar el incremento o la disminución de las emisiones de GEI que se consideren significativas producto de las actividades del proyecto. De acuerdo con lo anterior y, teniendo en cuenta los lineamientos del IPCC, la producción ganadera puede traer como resultado, emisiones de GEI asociadas al proceso de fermentación entérica (CH<sub>4</sub>), manejo del estiércol (N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub>), fertilización (N<sub>2</sub>O) y encalado (CO<sub>2</sub>) por manejo de suelos y pasturas, y combustión fósil (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O), debido a las actividades de transporte de los bienes que se requieren para desarrollar este tipo de prácticas, así como para su posterior comercialización (IPCC, 2019)

Se podrá considerar una fuente de emisión de GEI no significativa, cuando representa menos del 5% de las emisiones totales del PMGEI comparadas con el escenario de línea base.

## METODOLOGÍA COLCX PARA MANEJO DE PASTURAS Y SUELO

**Tabla 2.** Fuentes de emisión incluidas o excluidas de los escenarios de línea base y con proyecto.

Fuente de emisión	Gas	Incluido /excluido	Justificación
Combustión fósil	CO <sub>2</sub>	Incluido	Principal gas resultante del proceso de combustión fósil
	CH <sub>4</sub>	Excluido	Las emisiones son insignificantes
	N <sub>2</sub> O	Excluido	Las emisiones son insignificantes
Quema de biomasa	CO <sub>2</sub>	Excluido	Se debe considerar como un cambio en las existencias de carbono.
	CH <sub>4</sub>	Opcional	La quema de biomasa genera emisiones de Metano y Óxido Nitroso, la cuantificación se debe incluir si la actividad del proyecto reduce o incrementa las emisiones con respecto al escenario de línea base en ± 5%
Aplicación de fertilizantes por manejo de suelos	N <sub>2</sub> O	Opcional	Se debe incluir si en los límites del proyecto se realizan actividades de fertilización con insumos con contenido de Nitrógeno (N).
	CO <sub>2</sub>	Opcional	Se debe incluir cuando se presentan procesos de encalado en el escenario de línea base o cuando la actividad se intensifica en el escenario con proyecto.
Uso de especies fijadoras de nitrógeno	N <sub>2</sub> O	Opcional	Se deben incluir si en los límites del proyecto existe presencia de especies fijadoras de nitrógeno
Fermentación entérica	CH <sub>4</sub>	Incluido	Principal gas resultante del proceso de metanogénesis en el rumen del ganado bovino
Gestión del estiércol	CH <sub>4</sub>	Incluido	Emisión significativa generada por los sólidos volátiles contenidos en el estiércol del ganado bovino
	N <sub>2</sub> O	Incluido	Emisión significativa generada por los sólidos volátiles contenidos en el estiércol del ganado bovino

## 11 ESCENARIO DE LINEA BASE

El escenario de línea base es la descripción de las actividades de producción y manejo de pasturas y suelos en el área de la iniciativa en ausencia de su implementación. El escenario de línea base debe considerar la estimación de las existencias de carbono acumulado en los reservorios seleccionados y la estimación de las fuentes de emisión de GEI representadas en tCO<sub>2</sub>e.

En caso de que el uso de suelo ganadero tenga una representatividad de más del 65% en la zona de análisis del proyecto, el escenario de línea de base tendrá que ser descrito según las actividades ganaderas tradicionales realizadas durante el periodo histórico de referencia del proyecto, que representan el escenario más probable en caso de que no se realizara el proyecto. Se deben enlistar las actividades consideradas en la Tabla 5. Para reportar el historial de manejo por potrero, si es necesario, utilice tablas para cada uno, cuando las practicas se realizan en la totalidad del área se utiliza una tabla.

**Tabla 3.** Especificaciones mínimas de las actividades que definen el escenario de línea base.

Actividad	Año 1	Año 2	Año 3
Tipo de producción (ganadería intensiva, extensiva, estabulada, no intensiva)			
Especie de cultivo/pastura			
Fecha de siembra			
Rendimiento del cultivo (kg/ha)			
Área afectada con la actividad agrícola y pecuaria (ha)			
Labranza (si/no) Cuando aplica indique fecha			
Tipo de fertilizante (Ejemplo: Triple 15, NPK, orgánico, estiércol, etc.)			
Dosis aplicada (t/ha)			
Re-fertilización (si/no) Cuando aplica indique fecha			
Quema (si/no) Cuando aplica indique fecha			
Cantidad de potreros			

## METODOLOGÍA COLCX PARA MANEJO DE PASTURAS Y SUELO

Actividad	Año 1	Año 2	Año 3
Área por potrero			
Carga animal (cabezas/ha)			
Frecuencia de pastoreo (días)			
Disponibilidad de sombra (ha)			
Disponibilidad de agua (l/cabeza)			

La reevaluación del escenario de línea base se debe realizar cada 10 años, considerando los procedimientos de las secciones 8.2.2, 8.2.3 y 8.2.4, para cada uno de reservorios y las fuentes de emisión aplicables al PMGEI. Esta reevaluación debe estar acompañada del ajuste de la cuantificación de los cálculos ex-ante del PMGEI.

### 12 ADICIONALIDAD

El Análisis de Adicionalidad se debe efectuar siguiendo los lineamientos de la *Guía para demostrar la adicionalidad COLCX* en su versión más actualizada. Su objetivo es evaluar la adicionalidad por criterios, políticos, sociales, culturales, entre otros.

### 13 ESTRATIFICACIÓN

El PMGEI debe estratificar las cabezas de ganado identificando que tipo de sistema productivo maneja, esta estratificación se da en función de su etapa productiva y teniendo en cuenta los lotes existentes en el área del proyecto.

#### 13.1 Variables

Para organizar y clasificar los animales se deben considerar las siguientes variables:

- **Especie y Tipo de Animal:** Inicialmente, se focaliza en el bovino como el principal tipo de ganado involucrado.
- **Producto Final:** Se clasifica entre ganado destinado a la producción de leche y a la producción de carne.
- **Tipo de Producción:** Se subdivide en tres niveles: baja, media y alta. Esta variable se emplea siguiendo las Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de GEI: Volumen 4 - Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra: Capítulo 10 - Emisiones de ganado, tabla 10.1.
- **Edad del Ganado:** Es un factor que influye en las tasas de crecimiento, la producción de metano y la eficiencia de conversión de alimento.

**Tabla 4.** Ejemplo de la estratificación.

Estrato	Producto final	Tipo de producción	Lote
1	Leche	Baja Productividad	Terneras
2	Leche	Media Productividad	Novillas
3	Leche	Alta Productividad	Vacas
4	Carne	Baja Productividad	Machos Reproductores
5	Carne	Media Productividad	Vacas
6	Carne	Alta Productividad	Machos de Engorde

#### **14 CUANTIFICACIÓN DE REMOCIONES Y REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GEI EN EL ESCENARIO DE LÍNEA BASE**

Para estimar las emisiones de GEI en el escenario de línea base, esta metodología sugiere tres métodos de cuantificación, considerando la disponibilidad de información, estos se proponen en función de las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O expresadas en tCO<sub>2</sub>e para cada uno de los reservorios de carbono y las fuentes de emisión de GEI consideradas por el PMGEI.

##### **Método 1: Medición.**

Corresponde al escenario donde el PMGEI debe utilizar métodos de medición directa en el área del PMGEI y en la ZAP.

##### **Método 2: Modelo y calibración**

En este método de cuantificación, exclusivo para el Carbono Orgánico del Suelo, el PMGEI debe generar o emplear un modelo validado para estimar los cambios en las existencias de carbono de estos reservorios. El modelo debe estar basado en las características del suelo, como textura, densidad aparente, las condiciones climáticas y en las prácticas implementadas en el PMGEI. La construcción y uso de modelos para la cuantificación del COS debe estar sustentada en mediciones dentro del PMGEI de las existencias de COS y tener procesos de recalibración constante mediante toma de datos en el PMGEI en una temporalidad entre tres (3) y cinco (5) años.

### Método 3: Aplicación de modelos de cuantificación nivel 2 o superior.

En este método el PMGEI debe utilizar información proveniente de datos/modelos o factores de emisión del refinamiento del año 2019 del IPCC<sup>6</sup> o aquella que la actualice, el PMGEI también puede emplear los valores de la metodología GLEAM<sup>7</sup> de la FAO para cuantificar las emisiones de GEI. El PMGEI debe garantizar que los valores empleados son conservadores y aplicables a la iniciativa, contemplando datos de Tier 2 o 3 únicamente.

Los métodos de cuantificación 1 y 2 deben contemplar áreas de muestreo con estratos que agrupen zonas homogéneas respecto a tipo de suelos, geomorfología, prácticas de manejo, entre otras que sean contempladas por el PMGEI.

En caso de que el uso del suelo determinado en el escenario de línea base, no corresponda a actividades ganaderas, el proponente del proyecto debe cuantificar las emisiones teniendo en cuenta la orientación proporcionada por el IPCC Tier 2 o bibliografía soportada y acorde al contexto en donde se desarrolla la iniciativa.

En la Tabla 5, se muestran los métodos de cuantificación de remociones o emisiones de GEI permitidos por cada reservorio o fuente de emisión.

**Tabla 5.** Modelos de cuantificación aplicables por fuente de emisión o reservorio de carbono.

GEI	Fuente de emisión/Reservorio	Método 1	Método 2	Método 3
CO <sub>2</sub>	COS	x	x	
	Biomasa herbácea	x		
	Biomasa leñosa	x		
	Combustión fósil			x
	Aplicación de CAL			x
CH <sub>4</sub>	Fermentación entérica			x
	Gestión del estiércol			x
N <sub>2</sub> O	Gestión del estiércol			x
	Aplicación de fertilizantes por manejo de suelos			x
	Uso de especies fijadoras de nitrógeno			x

<sup>6</sup> <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>

<sup>7</sup> <https://www.fao.org/gleam/resources/es/>

### 14.1 Existencias de carbono en la línea base

Las reservas de carbono en el escenario de línea base se determinan utilizando la herramienta AR TOOL -14 del MDL, el Módulo para el cálculo de remociones por biomasa leñosa/herbácea V1.0 de COLCX, el Módulo para la cuantificación de carbono orgánico en el suelo (COS) V1.0 de COLCX.

La biomasa leñosa y herbácea existente previa al inicio de actividades del proyecto debe ser evaluada en el periodo histórico de referencia y proyectarse para el periodo crediticio de la iniciativa, esta proyección debe tener en cuenta el incremento anual de dichos reservorios como también las practicas aplicadas durante el periodo histórico de referencia.

Si se elimina biomasa preexistente por actividades relacionadas con el proyecto, se deberá estimar su sustracción en el evento de monitoreo más cercano.

La estimación de las reservas de carbono en la línea base se calcula de la siguiente forma:

**Ecuación 1.** Estimación de las reservas de carbono en la línea base.

$$C_{lb,t} = C_{BL,t} + C_{BHA,t} + C_{COS,t}$$

Donde:

$C_{lb,t}$	Carbono total en el proyecto para los reservorios seleccionados en el escenario de la línea base en el tiempo $t$ (tCO <sub>2</sub> e).
$C_{BL,t}$	Carbono total en el proyecto presente en la biomasa leñosa en el área del proyecto en el tiempo $t$ (tCO <sub>2</sub> e).
$C_{BHA,t}$	Carbono total en el área del proyecto presente en la biomasa herbácea en el tiempo $t$ (tCO <sub>2</sub> e).
$C_{COS,t}$	Carbono total en el área del proyecto presente en el carbono orgánico del suelo en el tiempo $t$ (tCO <sub>2</sub> e).
$t$	Años transcurridos desde la fecha del inicio del proyecto.

#### 14.1.1 Carbono orgánico del suelo

Para estimar el contenido de carbono orgánico presente en el suelo, se siguen los métodos de Yepes et al. (2011). La estimación del cálculo del carbono orgánico para las proyecciones ex-ante y la cuantificación para las proyecciones ex-post se desarrollan mediante el uso del método 1 o 2, según corresponda. Para este proceso, se emplea el Módulo para la cuantificación de carbono orgánico en el suelo (COS) V1.0 de COLCX.

#### Método de cuantificación 1- Unidad de muestreo de control

Para determinar el cambio en las reservas de carbono, se deben considerar unidades de muestreo de referencia que se instalarán en la ZAP. Estas unidades de muestreo deben permitir representar la dinámica de las existencias de carbono en el escenario sin proyecto.

## METODOLOGÍA COLCX PARA MANEJO DE PASTURAS Y SUELO

El monitoreo de las unidades de muestreo de referencia debe permitir establecer y actualizar los valores de referencia del carbono orgánico del suelo en el escenario de línea base durante los diferentes eventos de monitoreo que realice el PMGEI.

El PMGEI que implemente este método de cuantificación debe cumplir el siguiente procedimiento:

### Paso 1. Definición del área de estudio y diseño del muestreo

- **Delimitación del área de muestreo dentro de la ZAP:** Se seleccionan y delimitan las áreas donde se llevará a cabo el muestreo de suelo. La delimitación debe basarse en las características específicas del proyecto, para asegurar que el muestreo sea representativo de las condiciones del área.
- **Diseño del muestreo:** Se debe establecer un plan de muestreo (estratificado aleatorio, estratificado sistemático, entre otros), que contemple los diferentes estratos del PMGEI. El muestreo empleado debe garantizar un error no mayor a 10% del valor promedio de carbono, con un nivel de confianza del 95%<sup>8</sup>.

### Paso 2. Muestreo de suelo

- **Extracción de muestras:** El PMGEI debe definir el número de muestras de suelo a coleccionar, contemplando diferentes profundidades, comúnmente en intervalos de 0-10, 10-20, 20 -50 cm, u otras que contemple el PMGEI. El PMGEI debe contemplar como mínimo colecta de muestras mínimo hasta los 30 cm de profundidad.
- **Conservación y transporte:** Las muestras de suelo deben conservarse de manera adecuada para evitar la pérdida de humedad y otros cambios que puedan alterar los parámetros físicos y químicos a evaluar.

### Paso 3. Análisis en laboratorio

Este paso tiene como fin determinar de la materia orgánica del suelo y realizar la posterior conversión a carbono equivalente. El PMGEI debe garantizar y soportar que los análisis de las muestras de suelo se realizan en un laboratorio que cumpla con las siguientes características:

- Estar acreditado por entidades reconocidas nacional o internacionalmente, que certifiquen la calidad de los procesos y técnicas analíticas empleadas, bajo la norma ISO 17025.
- Contar con equipos específicos para el análisis de carbono orgánico en suelo, tales como analizadores de carbono orgánico total (TOC) o equipos para la combustión seca.

---

<sup>8</sup> Para determinar la cantidad de unidades muestrales se recomienda utilizar la herramienta “Winrock International’s CDM A/R sample plot calculator spreadsheet tool”. <https://globalclimateactionpartnership.org/resource/winrock-internationals-cdm-ar-sample-plot-calculator-spreadsheet-tool/>

- Protocolos rigurosos de control de calidad, incluyendo el uso de muestras de referencia, duplicados y controles en blanco.

### Paso 4. Cuantificación de COS

Se debe cuantificar los cambios en los contenidos de carbono orgánico en el suelo. Este modelo puede ser lineal o incremental, dependiendo de la calidad y disponibilidad de los datos históricos recopilados. En los periodos retroactivos, la tendencia del modelo dependerá de la cantidad y precisión de las existencias de carbono de este reservorio que estén disponibles. A partir de los periodos de verificación, se debe ajustar los cambios en las existencias de carbono de este reservorio, de acuerdo con las existencias de carbono medidas durante cada periodo.

El cálculo del carbono equivalente presente en este reservorio durante el periodo histórico de referencia se expresa de la siguiente manera:

$C_{COS,ti}$  Carbono total en el área del proyecto existente en el suelo en el tiempo  $t=0$  (tCO<sub>2</sub>e).

El cambio en las reservas de carbono orgánico en el suelo del proyecto entre dos momentos se calcula de la siguiente manera:

**Ecuación 2.** Cambio en las reservas de carbono orgánico en el suelo.

$$\Delta C_{COS,ti} = \frac{C_{COS,ti} - C_{COS,tj}}{T}$$

Donde:

$\Delta C_{COS,ti}$  Cambio en el carbono total en el área del proyecto existente en el suelo en el tiempo  $i$  (tCO<sub>2</sub>e/año)  
 $C_{COS,ti}$  Carbono total en el área del proyecto existente en el suelo en el tiempo  $i$  (tCO<sub>2</sub>e)  
 $C_{COS,tj}$  Carbono total en el área del proyecto existente en el suelo en el tiempo  $j$  (tCO<sub>2</sub>e)  
 $T$  Tiempo transcurrido entre dos mediciones sucesivas (años)  
 $j$  Año de la actual certificación del proyecto (años)  
 $i$  Año de la certificación preliminar del proyecto (años)

### Método de cuantificación 2- Modelos de predicción

En este método se deben desarrollar y/o emplear modelos de cuantificación de las existencias de carbono en el suelo, contemplando información de los límites espaciales considerados por el PMGEI. Es esencial que estos modelos consideren factores como condiciones geográficas, unidades de suelo, tipo de suelo y su composición, así como otros aspectos edáficos y climáticos que puedan influir en la acumulación de carbono.

Los datos que se utilicen para desarrollar estos modelos deben provenir directamente de los límites espaciales considerados por el PMGEI. Asegurando que las predicciones del modelo sean precisas y coherentes.

Una vez desarrollado el modelo, se deberá presentar y justificar detalladamente los datos empleados en su construcción. Esto incluirá la explicación del origen de los datos, los métodos de recolección, y la representatividad de estos. j.

El proponente tiene la opción de utilizar modelos ya establecidos o desarrollar su propio modelo, siempre que cumpla con los criterios de rigurosidad y representatividad.

Para que un modelo sea considerado válido y confiable en el contexto del PMGEI, deberá cumplir con los siguientes requisitos de precisión y consistencia:

1. El modelo debe demostrar, como mínimo, las siguientes métricas estadísticas para evaluar su precisión y consistencia:
  - Coeficiente de determinación ( $R^2$ ): El modelo debe alcanzar un valor de  $R^2$  superior al 0.85, indicando que el modelo explica al menos el 85% de la variabilidad en los datos.
  - Error cuadrático medio (ECM): El ECM debe ser lo suficientemente bajo como para garantizar una mínima desviación entre los valores predichos y los observados.
2. Se debe realizar un proceso de validación cruzada, utilizando al menos el 10% de los datos para la prueba y garantizando que el modelo no esté sobre ajustado.
3. El modelo debe mostrar estabilidad en sus resultados cuando se aplique a datos de diferentes periodos o a distintos conjuntos de datos de manera continua.
4. Los residuos del modelo (diferencias entre los valores predichos y los reales) deben mostrar una distribución aleatoria sin patrones sistemáticos, evidenciando que el modelo no está sesgado.
5. El modelo debe ser probado bajo diferentes condiciones de entrada para evaluar su robustez y capacidad de respuesta ante variaciones en los datos.

### 14.1.2 Biomasa herbácea

Para estimar la biomasa herbácea utilizando el método 1 de cuantificación, se deben emplear muestreos destructivos que permitan recolectar toda la biomasa dentro de unidades de muestreo. La selección de la cantidad, tipo y tamaño de las unidades muestrales se podrá delimitar siguiendo las directrices de Yepes et al. (2011)<sup>9</sup>, The Nature Conservancy & Amazon Conservation Team (2019)<sup>10</sup>, entre otros lineamientos que sean adecuados para el PMGEI. Las unidades de muestreo podrán ser temporales de 2 m<sup>2</sup> a 4 m<sup>2</sup>. Los métodos de colecta y toma

<sup>9</sup>[https://www.researchgate.net/publication/273307419\\_Protocolo\\_para\\_la\\_estimacion\\_nacional\\_y\\_subnacional\\_de\\_biomasa\\_-\\_carbono\\_en\\_Colombia](https://www.researchgate.net/publication/273307419_Protocolo_para_la_estimacion_nacional_y_subnacional_de_biomasa_-_carbono_en_Colombia)

<sup>10</sup>[https://www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/AFC\\_Protocolo\\_Carbono\\_Pagina\\_Baja.pdf](https://www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/AFC_Protocolo_Carbono_Pagina_Baja.pdf)

## METODOLOGÍA COLCX PARA MANEJO DE PASTURAS Y SUELO

de datos in-situ se deben complementar con análisis de laboratorio que permitan determinar el contenido de carbono.

La proyección de las existencias de carbono en la línea base, se debe realizar lineal o no lineal, de acuerdo con la sección 8.2.4. La cuantificación de las existencias de carbono en este reservorio requiere un registro detallado del tiempo de descanso de cada potrero. El tiempo efectivo de captura se refiere específicamente al periodo durante el cual el potrero está en reposo, permitiendo el crecimiento de la biomasa herbácea antes de ser aprovechada por el ganado. Así, al finalizar cada año se podrá determinar la cantidad de hectáreas de potrero que estuvieron en estado de captura de carbono y por cuánto tiempo efectivo, representado en meses o semanas, mientras que los meses restantes fueron utilizados para suministrar forraje al ganado.

Cuando los proyectos cuenten con más de un tipo de estrato herbáceo debido al uso de diferentes especies o características particulares del suelo, el monitoreo debe incluir todos los estratos, y la cuantificación debe considerar las diferencias en el crecimiento y capacidad de captura de carbono entre ellos.

Si los proyectos cuentan con otros métodos de cuantificación del carbono para actividades como el ensilaje o la henificación, en las cuales la biomasa es procesada y almacenada, el carbono capturado debe ser medido y ajustado de acuerdo con el procesamiento y la conservación de la biomasa. Esto implica un seguimiento específico de la masa inicial y la masa final tras el secado o conservación. El PMGEI debe definir claramente los tiempos de rotación de las pasturas y los modelos de crecimiento aplicables.

Los procedimientos para calcular las existencias de carbono se detallan en el Módulo para el cálculo de remociones por biomasa leñosa y herbácea V1.0 de COLCX.

Las existencias de carbono en el reservorio de biomasa herbácea en el escenario de línea base se expresa de la siguiente manera:

$C_{BHA,t0}$  Carbono total en el área del proyecto presente en la biomasa herbácea en el tiempo  $t=0$  (tCO<sub>2</sub>e)

El delta de crecimiento de las existencias de carbono en la biomasa herbácea aérea del PMGEI entre dos momentos se calcula de la siguiente manera:

**Ecuación 3.** Cambios en las reservas de carbono en la biomasa herbácea.

$$\Delta C_{BHA,ti} = \frac{C_{BHA,ti} - C_{BHA,tj}}{T}$$

Donde:

$\Delta C_{BHA,ti}$  Cambio en el carbono total en el área del proyecto existente en la biomasa herbácea en el tiempo  $i$  (tCO<sub>2</sub>e/año)

## METODOLOGÍA COLCX PARA MANEJO DE PASTURAS Y SUELO

$C_{BHA,ti}$	Carbono total en el área del proyecto existente en la biomasa herbácea en el tiempo $i$ (tCO <sub>2</sub> e)
$C_{BHA,tj}$	Carbono total en el área del proyecto existente en la biomasa aérea en el tiempo $j$ (tCO <sub>2</sub> e)
$T$	Tiempo transcurrido entre dos mediciones sucesivas (años)
$i$	Año de la actual certificación del proyecto (años)
$j$	Año de la certificación preliminar del proyecto (años)

### 14.1.3 Biomasa leñosa total

La estimación de la biomasa leñosa aérea utilizando el método 1 de cuantificación, se podrá realizar empleando dos formas de medición, muestreo o censo, las cuales deben ser contempladas de acuerdo con las características del reservorio en el área del PMGEI.

**Tabla 6.** Tipos de inventarios para el cálculo de biomasa leñosa aérea.

Tipo	Descripción
Muestreo	Este tipo de muestreo se debe seleccionar cuando los individuos plantados resultado de las actividades del proyecto hacen parte de sistemas como cercas vivas, sistemas agroforestales que cubran una extensión igual o superior a una (1) hectárea. Se debe desarrollar una intensidad de muestreo de forma tal que la incertidumbre no sea superior al 10% con una probabilidad de 95%.
Censo	Este tipo de muestreo se debe seleccionar cuando de las actividades de plantación desarrolladas por el proyecto generen hacen parte de sistemas como cercas vivas, sistemas agroforestales, arboles aislados o de descanso para los animales y cualquier otra forma que no genere una extensión continua superior a 1 hectárea.

En cuanto a la medición y estimación de biomasa leñosa aérea se deben seguir las indicaciones del Módulo para el cálculo de remociones por biomasa leñosa y herbácea V1.0 de COLCX.

Independientemente del diseño del muestreo, el PMGEI debe realizar un análisis de incertidumbre para asegurar la precisión de las cuantificaciones, considerando factores como la variabilidad en las ecuaciones alométricas empleadas, y tipos de error que se pueden presentar durante la colecta y procesamiento de los datos.

El procesamiento y transformación de la información colectada debe ser documentada y justificada por el PMGEI en los diferentes documentos del proyecto. Los procedimientos para calcular el carbono en este reservorio se detallan en el Módulo para el cálculo de remociones por biomasa leñosa y herbácea V1.0 de COLCX.

El carbono total en el área del proyecto existente en la biomasa leñosa aérea en la línea base se denota de la siguiente forma:

$C_{BL,t0}$	Carbono total en el área del proyecto existente en la biomasa leñosa aérea en el tiempo $t=0$ (tCO <sub>2</sub> e).
-------------	---

El cambio en las existencias de carbono en la biomasa leñosa en el área del proyecto entre dos momentos se calcula de la siguiente manera:

**Ecuación 4.** Cambio en las reservas de carbono de la biomasa leñosa aérea en el proyecto.

$$\Delta C_{BL,ti} = \frac{C_{BL,ti} - C_{BL,tj}}{T}$$

Donde:

$\Delta C_{BL,ti}$	Cambio en el carbono total en el área del proyecto existente en la biomasa leñosa aérea en el tiempo $i$ (tCO <sub>2</sub> e/año)
$C_{BL,ti}$	Carbono total en el área del proyecto existente en la biomasa leñosa aérea en el tiempo $i$ (tCO <sub>2</sub> e)
$C_{BL,tj}$	Carbono total en el área del proyecto existente en la biomasa leñosa aérea en el tiempo $j$ (tCO <sub>2</sub> e)
$T$	Tiempo transcurrido entre dos mediciones sucesivas (años)
$j$	Año de la actual certificación del proyecto (años)
$i$	Año de la certificación preliminar del proyecto (años)

### 14.2 Emisiones de GEI<sup>11</sup>

Para cuantificar las emisiones totales anuales en el escenario de línea base y en el escenario de proyecto, el PMGEI debe seguir los lineamientos de las siguientes secciones.

#### 14.2.1 Combustión fósil

Las emisiones por quema de combustibles fósiles se deben cuantificar teniendo en cuenta el método 3 descrito en la Tabla 5 de cuantificación utilizando la siguiente ecuación<sup>12</sup>.

**Ecuación 5.** Emisiones por combustión fósil.

$$E_{cf,lb} = \frac{(A_i \times FE_{CO_2,i} \times PCG)}{1000}$$

Donde:

$E_{cf,lb}$	Emisiones por combustión fósil (tCO <sub>2</sub> e)
$A_i$	Cantidad de combustible quemado (gal)
$FE_{CO_2,i}$	Factor de emisión de CO <sub>2</sub> para cada tipo de combustible utilizado (kg CO <sub>2</sub> /gal)
$PCG$	Potencial de Calentamiento Global del gas
$i$	Tipo de combustible fósil (Gasolina, Diésel, GNV, entre otros)

<sup>11</sup> Con el fin de facilitar el proceso de desarrollo de los cálculos descritos en esta sección, el proponente de proyecto puede utilizar la herramienta de cuantificación de emisiones desarrollada por COLCX.

<sup>12</sup> Es importante tener en cuenta que las emisiones de CH<sub>4</sub> fósil, no fósil y Óxido nítrico se excluyen de la cuantificación de emisiones debido a que su contribución es sustancialmente baja en comparación con el CO<sub>2</sub>.

### 14.2.2 Fermentación entérica

De acuerdo con las directrices del refinamiento 2019 del IPCC<sup>13</sup>, el metano producido por la fermentación entérica es generado como parte del proceso biológico de los animales rumiantes. La cantidad de CH<sub>4</sub> generado depende del tipo de animal, su edad, el peso y la calidad y cantidad del alimento consumido.

Esta metodología no permite la aplicación del nivel 1 de cálculo del IPCC, debido a que estos no tienen en cuenta las características de los sistemas de alimentación y de manejo del ganado. En este caso, el nivel 2 requiere datos detallados y específicos de los sistemas productivos como la ingesta de energía bruta, las ganancias diarias de peso de los animales y los factores de emisión específico para cada lote de ganado.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, para usar el nivel 2 del refinamiento 2019 del IPCC, el factor de emisión del Metano debe ser construido teniendo en cuenta el contenido energético neto consumido por los animales y factores de conversión de Metano específicos para cada categoría animal. Para ello, el PMGEI debe tener en cuenta la siguiente ecuación.

**Ecuación 6.** Cálculo del factor de emisión para ganado bovino.

$$FE = \frac{EN \times \left(\frac{Ym}{100}\right) \times 365}{55,65}$$

Donde:

<i>FE</i>	Factor de emisión (kg CH <sub>4</sub> /cabeza/año)
<i>EN</i>	Energía neta consumida (MJ/cabeza/día)
<i>Ym</i>	Factor de conversión del Metano, porcentaje de energía neta convertida en Metano (ver Tabla 9).
55,65	Contenido energético del Metano (MJ/kg CH <sub>4</sub> )

Para estimar la energía neta consumida, se debe utilizar la Ecuación 7, la cual se deriva de la cantidad de energía neta requerida y las características de disponibilidad de energía de los alimentos.

**Ecuación 7.** Energía neta consumida.

$$EN = \frac{\left(\frac{ENRm + ENRa + ENRi + ENRt + ENRp}{REM}\right) + \left(\frac{ENRg}{REG}\right)}{DA\%}$$

Donde:

<i>EN</i>	Energía neta consumida (MJ/día)
<i>ENRm</i>	Energía neta requerida por el animal para su mantenimiento (MJ/día)
<i>ENRa</i>	Energía neta requerida por el animal para su actividad (MJ/día)

<sup>13</sup> [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4\\_Volume4/19R\\_V4\\_Ch10\\_Livestock.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch10_Livestock.pdf)

## METODOLOGÍA COLCX PARA MANEJO DE PASTURAS Y SUELO

<i>ENR<sub>i</sub></i>	Energía neta requerida para la lactancia (MJ/día)
<i>ENR<sub>t</sub></i>	Energía neta requerida para animales de trabajo (MJ/día)
<i>ENR<sub>p</sub></i>	Energía neta requerida para animales preñados (MJ/día)
<i>REM</i>	Ratio de energía neta disponible en la dieta para su mantenimiento que se convierte en energía digestible.
<i>ENR<sub>g</sub></i>	Energía neta requerida para el crecimiento (MJ/día)
<i>REG</i>	Ratio de energía neta disponible para el crecimiento que se convierte en energía digestible consumida.
<i>DA%</i>	Digestibilidad del alimento expresada como una fracción de energía neta (DA%/100)

Para calcular los requerimientos energéticos, el PMGEI debe seguir las ecuaciones descritas a continuación, de acuerdo con la disponibilidad de información y los lotes de animales presentes en las áreas del proyecto.

**Energía neta requerida para el mantenimiento:** Representa la cantidad de energía neta requerida para mantener al animal en equilibrio, sin ganancia ni pérdida de peso.

**Ecuación 8.** Energía neta para el mantenimiento.

$$ENR_m = Cfi \times (PVA)^{0,75}$$

Donde:

<i>ENR<sub>m</sub></i>	Energía neta requerida para el mantenimiento.
<i>Cfi</i>	Coefficiente de cálculo ver Tabla 7 (MJ/día/cabeza).
<i>PVA</i>	Peso vivo del animal (kg).

**Tabla 7.** Coeficientes de cálculo para la energía neta requerida para el mantenimiento.

Lote animal	CF <sub>i</sub> (MJ/día/cabeza)
Ganado no lactante	0,322
Ganado (vacas lactantes)	0,386
Ganado (toros)	0,370

**Energía neta requerida para la actividad:** Cantidad de energía neta requerida para alimentarse y acceder al agua.

**Ecuación 9.** Energía neta para la actividad.

$$ENR_a = Ca \times ENR_m$$

Donde:

<i>ENR<sub>a</sub></i>	Energía neta requerida por el animal para su actividad (MJ/día)
<i>Ca</i>	Coefficiente correspondiente a las condiciones de alimentación del animal (ver Tabla 8)

## METODOLOGÍA COLCX PARA MANEJO DE PASTURAS Y SUELO

$ENRm$  Energía neta requerida por el animal para su mantenimiento (ver Ecuación 8) (MJ/día)

**Tabla 8.** Coeficiente de actividad correspondiente a las condiciones de alimentación del animal.

Condición de alimentación	Descripción	Ca
Pastoreo intensivo	Los animales se encuentran encerrados en áreas con forraje suficiente, requiriendo cantidades moderadas de energía para su alimentación	0,17
Zonas de pastoreo extensiva	Los animales se encuentran en grandes extensiones de tierra en donde requieren grandes cantidades de energía para su alimentación	0,36

**Energía requerida para el crecimiento:** Se refiere a la energía requerida para el engorde.

**Ecuación 10.** Energía neta requerida para el crecimiento.

$$ENRg = 22,02 \times \left( \frac{PVp}{C \times PAm} \right)^{0,75} \times GPd^{1,097}$$

Donde:

$ENRg$  Energía neta requerida para el crecimiento (MJ/día)  
 $PVp$  Peso vivo promedio de los animales (kg)  
 $C$  Coeficiente en donde se usa 0,8 para hembras, 1 para castrados y 1,2 para machos reproductores  
 $PAm$  Peso de los animales maduros representado individualmente para hembras y machos (kg)  
 $GPd$  Ganancia de peso diaria (kg/día)

**Energía neta requerida para la lactancia:** Energía neta para la lactancia expresada en la cantidad de leche producida y su cantidad de calorías.

**Ecuación 11.** Energía neta requerida para la lactancia.

$$ENRi = Leche \times (1,47 + 0,40 \times Grasa)$$

Donde:

$ENRi$  Energía neta requerida para la lactancia (MJ/día)  
 $Leche$  Cantidad de leche producida (kg)  
 $Grasa$  Grasa contenida en la leche (% por peso)

**Energía neta requerida para animales de trabajo:** Energía neta requerida para los animales de trabajo

**Ecuación 12.** Energía para animales de trabajo.

$$ENRt = 0,10 \times ENRm \times Horas$$

## METODOLOGÍA COLCX PARA MANEJO DE PASTURAS Y SUELO

Donde:

<i>ENRt</i>	Energía neta requerida para animales de trabajo (MJ/día)
<i>ENRm</i>	Energía neta requerida por el animal para su mantenimiento ver Ecuación 8 (MJ/día)
<i>Horas</i>	Numero de hojas de trabajo por día

***Energía neta requerida para la preñez:*** Es la energía neta requerida para los 281 días de preñez promedio teniendo en cuenta el 10% del *ENRm*.

**Ecuación 13.** Energía neta para la preñez.

$$ENRp = Cp \times ENRm$$

Donde:

<i>ENRp</i>	Energía neta requerida para animales preñados (MJ/día)
<i>Cp</i>	Coefficiente de preñez (0,10)
<i>ENRm</i>	Energía neta requerida por el animal para su mantenimiento (MJ/día) ver Ecuación 8

**Ecuación 14.** Energía neta convertida en energía metabolizable.

$$REM = 1.123 - 4,092 \times 10^{-3} \times DE\% + 1,126 \times 10^{-5} \times DE\%^2 - \frac{25,4}{DE\%}$$

Donde:

<i>REM</i>	Ratio de energía neta disponible en la dieta para su mantenimiento que se convierte en energía digestible.
<i>DE%</i>	Energía digerible expresada como porcentaje de energía bruta (Energía digerible/Energía neta x 100) (ver Tabla 9)

**Ecuación 15.** Ratio entre energía neta disponible y la energía digerible consumida.

$$REG = 1,164 - 5,16 \times 10^{-3} \times DE\% + 1,308 \times 10^{-5} \times DE\%^2 - \frac{37,4}{DE\%}$$

Donde:

<i>REG</i>	Ratio de energía neta disponible para el crecimiento que se convierte en energía digestible consumida.
<i>DE%</i>	Energía digerible expresada como porcentaje de energía bruta (Energía digerible/Energía neta x100) ver Tabla 9.

Para caracterizar los lotes de ganado el PMGEI debe seguir los lineamientos del capítulo 10 “Emisiones por Ganado y Manejo del Estiércol”, volumen 4 AFOLU del IPCC, en donde se indica cómo debe ser el proceso de caracterización de los animales dentro de las áreas del proyecto.

**Tabla 9.** Porcentaje de digestibilidad del alimento y factores de corrección del Metano.

Lote de ganado	Descripción <sup>14</sup>	DE (%)	Ym (%)
Vacas lecheras	Vacas de alta producción	≥70	5,7-6,0
	Vacas de productividad media	63-70	6,3
	Vacas de baja productividad	≤62	6,5
Vacas multipropósito	<75% forraje	≤62	7,0
	Raciones de >75% de forraje de alta calidad o raciones mixtas entre el 15%-75% de forraje con grano o ensilaje	62-71	6,3
	Estabulado (entre 0-15% de forraje)	≥72	4,0
	Estabulado (entre 0-10%)	≥75	3,0

Finalmente, para estimar la cantidad total de emisiones de Metano por la fermentación entérica de los lotes de ganado presentes en el área del proyecto, se debe emplear la Ecuación 16.

**Ecuación 16.** Emisiones de Metano por fermentación entérica.

$$E_{CH_4,FE} = FE \times \frac{N}{10^6}$$

Donde:

- $E_{CH_4,FE}$  Emisiones de Metano por Fermentación Entérica (GgCH<sub>4</sub>/año)
- $FE$  Factor de emisión (kg CH<sub>4</sub>/cabeza/año)
- $N$  Cantidad de cabezas de ganado (ver Ecuación 17)

La cantidad de cabezas de ganado del sistema se deberá cuantificar teniendo en cuenta la Ecuación 17.

**Ecuación 17.** Número de cabezas de ganado al año.

$$N = \text{Días vivo} \times \frac{NAPA}{365}$$

Donde:

- $N$  Número promedio de cabezas de ganado
- $\text{Días vivo}$  Días de permanencia en la finca
- $NAPA$  Cantidad total de cabezas de ganado producidas anualmente.

<sup>14</sup> [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4\\_Volume4/19R\\_V4\\_Ch10\\_Livestock.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch10_Livestock.pdf)

Finalmente, para expresar las emisiones en términos de CO<sub>2</sub>e, las emisiones de Metano por Fermentación Entérica deberán ser multiplicadas por el Potencial de Calentamiento Global (PCG) de acuerdo con el informe vigente del IPCC.

**Ecuación 18.** Emisiones de CO<sub>2</sub>e por fermentación entérica.

$$E_{FE,lb} = E_{CH_4} \times PCG \times 1000$$

Donde:

$E_{FE,lb}$	Emisiones de Carbono por Fermentación Entérica (tCO <sub>2</sub> e)
$E_{CH_4}$	Emisiones de Metano por Fermentación Entérica (GgCH <sub>4</sub> /año)
$PCG$	Potencial de Calentamiento Global del Metano

### 14.2.3 Gestión del estiércol

#### 14.2.3.1. Emisiones de CH<sub>4</sub> por gestión de estiércol

Las variables principales que influyen en la liberación de CH<sub>4</sub> a la atmósfera son la cantidad de estiércol que se produce y la porción que se descompone anaeróbicamente, estos criterios dependen de la tasa de producción de desechos por animal, de la cantidad de animales y del mecanismo de gestión del estiércol. En este caso, cuando el estiércol se gestiona en mecanismos anaeróbicos se produce más metano que cuando se maneja bajo condiciones aeróbicas (deposición en pasturas).

Para estimar las emisiones de metano por manejo del estiércol, la metodología propone utilizar el método de cálculo 3, el cual se basa en la utilización de datos de nivel 2 del refinamiento 2019 del IPCC, ya que este permite caracterizar adecuadamente los sistemas del proyecto, al requerir información detallada de los animales y las prácticas de gestión del estiércol para estimar el factor de emisión.

**Ecuación 19.** Factor de emisión para las emisiones de CH<sub>4</sub> por gestión del estiércol.

$$FE_{CH_4,ge} = SV \times 365 \times Bo \times 0,67 \times \frac{MCF}{100} \times SMEA_{CH_4}$$

Donde:

$FE_{CH_4,ge}$	Factor de emisión de Metano para gestión del estiércol (kg CH <sub>4</sub> /animal/año)
$SV$	Sólidos volátiles excretados por el animal (kg MS/día)
$Bo$	Capacidad máxima de estiércol producida por el animal (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg SV) (ver IPCC)
$MCF$	Factor de conversión de Metano por sistema de gestión del estiércol (%) (ver IPCC <sup>15</sup> ).
$SMEA_{CH_4}$	Fracción de estiércol de los animales manejados por un sistema de gestión

Estimación de los sólidos volátiles excretados: Para estimar la cantidad de kg de sólidos volátiles excretados al día, es necesario conocer la cantidad de alimento consumido, que no

<sup>15</sup> Ver anexo 10A.2 del capítulo 10 del volumen 4 del IPCC, 2006.

## METODOLOGÍA COLCX PARA MANEJO DE PASTURAS Y SUELO

se digiere y, por ende, se convierte en estiércol, para esto es necesario conocer la ingesta bruta de alimento y la fracción de digestibilidad de estos y emplear la Ecuación 20.

**Ecuación 20.** Sólidos volátiles excretados.

$$SV = EN \times \left(1 - \frac{DE\%}{100}\right) + UE \times EN \times \frac{(1 - CEN)}{18,45}$$

Donde:

<i>SV</i>	Cantidad de sólidos volátiles excretados (kg SV/día)
<i>EN</i>	Energía neta consumida (MJ/día)
<i>DE%</i>	Energía digerible expresada como porcentaje de energía bruta (Energía digestible/Energía neta x 100) (%) (ver Tabla 9)
<i>UE x EN</i>	Energía urinaria expresada como fracción de la GE. Habitualmente, se puede considerar una excreción de energía urinaria de 0,04 GE para la mayoría de los rumiantes (reducir a 0,02 para rumiantes alimentados con 85% o más de grano en la dieta o para porcinos). Utilizar valores específicos del país si se dispone de ellos.
<i>CEN</i>	Contenido de ceniza en el alimento calculado como una fracción de la materia seca consumida.
18,45	Factor de conversión para EN dietaría por kg de materia seca (MJ/kg MS). Este valor es relativamente constante en toda una gama de forrajes y de alimentos basados en granos que consume regularmente el ganado.

Una vez calculado el factor de emisión del CH<sub>4</sub>, el PMGEI debe estimar las emisiones por gestión del estiércol teniendo en cuenta la Ecuación 21.

**Ecuación 21.** Emisiones de CH<sub>4</sub> por gestión del estiércol.

$$E_{CH_4,ge,lb} = \frac{N \times FE_{CH_4,ge}}{1000}$$

Donde:

<i>E<sub>CH<sub>4</sub>,ge,lb</sub></i>	Emisiones de Metano por gestión del estiércol (tCO <sub>2</sub> e)
<i>N</i>	Cantidad de cabezas de ganado (ver Ecuación 17)
<i>FE<sub>CH<sub>4</sub>,ge</sub></i>	Factor de emisión de Metano para gestión del estiércol (kg CH <sub>4</sub> /animal/año)

Con el fin de expresar las emisiones de Metano en términos de tCO<sub>2</sub>e, se debe emplear el Potencial de Calentamiento Global del CH<sub>4</sub> más actualizado de acuerdo con las directrices del IPCC.

**Ecuación 22.** tCO<sub>2</sub>e emitidas por la gestión del estiércol.

$$E_{GE,CH_4,lb} = E_{CH_4,ge} \times PCG$$

Donde:

<i>E<sub>GE,CH<sub>4</sub>,lb</sub></i>	Emisiones de Carbono por Gestión de estiércol (tCO <sub>2</sub> e)
<i>E<sub>CH<sub>4</sub>,ge</sub></i>	Emisiones de Metano por gestión del estiércol (tCH <sub>4</sub> )

*PCG* Potencial de Calentamiento Global del Metano

**14.2.3.2. Emisiones de N<sub>2</sub>O por gestión del estiércol**

Las emisiones directas de Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O) se producen a través de la nitrificación y desnitrificación del contenido del Nitrógeno en el estiércol. En este caso, el PMGEI debe seguir los lineamientos del método 3 de cuantificación y utilizar las fórmulas nivel 2 propuestas en el refinamiento del IPCC<sup>16</sup> del año 2019 en donde se usan datos específicos de los sistemas productivos como las tasas de excreción de Nitrógeno.

**Ecuación 23.** Emisiones directas de N<sub>2</sub>O por gestión del estiércol.

$$E_{GE,N_2O,lb} = \frac{(N \times Nav \times SMEA_{N_2O} + Ncdg) \times FE \times \frac{44}{28} \times PCG}{1000}$$

Donde:

<i>E<sub>GE,N<sub>2</sub>O,lb</sub></i>	Emisiones directas de N <sub>2</sub> O de la gestión del estiércol (tCO <sub>2</sub> e/año) en el escenario de línea base.
<i>N</i>	Cantidad de cabezas de ganado (ver Ecuación 17)
<i>Nav</i>	Promedio anual de excreción de Nitrógeno por sistema productivo (kg N/cabeza/año)
<i>SMEA<sub>N<sub>2</sub>O</sub></i>	Fracción de N <sub>2</sub> O excretado por animal y sistema de gestión
<i>Ncdg</i>	Cantidad de Nitrógeno ingresado a sistemas de digestión anaeróbica (kg N/año)
<i>FE</i>	Factor de emisión de N <sub>2</sub> O para gestión del estiércol (kg N <sub>2</sub> O-N/kg de N en el sistema de gestión)
$\frac{44}{28}$	Conversión de N <sub>2</sub> O-N a N <sub>2</sub> O
<i>PCG</i>	Potencial de Calentamiento Global

Para estimar la tasa de excreción de Nitrógeno se debe estimar la cantidad total de Nitrógeno consumido y la tasa de retención del animal de acuerdo con lo dispuesto en la Ecuación 24.

**Ecuación 24.** Tasa anual de excreción de Nitrógeno.

$$Nav = Nconsumo \times (1 - Nretención) \times 365$$

Donde:

<i>Nav</i>	Promedio anual de excreción de Nitrógeno por sistema productivo (kg N/cabeza/año)
<i>Nconsumo</i>	Cantidad de Nitrógeno consumido (Kg N/animal/día)
<i>Nretención</i>	Cantidad de Nitrógeno retenido (kg N/animal/día)

La cantidad de N consumido por los animales se calcula siguiendo la

Ecuación 25.

<sup>16</sup> [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4\\_Volume4/19R\\_V4\\_Ch10\\_Livestock.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch10_Livestock.pdf)

**Ecuación 25.** Tasa de consumo de Nitrógeno.

$$N_{consumo} = \frac{EN}{18,45} \times \left( \frac{PC\%}{6,25} \right)$$

Donde:

<i>Nconsumo</i>	Cantidad de Nitrógeno consumido (Kg N/Animal/día)
<i>EN</i>	Energía neta consumida (MJ/día) (ver Ecuación 7)
<i>PC%</i>	Porcentaje de proteína cruda en la materia seca
18,45	Factor de conversión para energía neta consumida por kg de materia seca (MJ/kg)
6,25	Factor de conversión de kg de proteína en la dieta a kg de N (kg alimento/kg N)

La cantidad de N retenido por los animales se calcula siguiendo la Ecuación 26.

**Ecuación 26.** Retención de N en los animales.

$$N_{retención} = \frac{Leche \times \frac{Proteína\ en\ leche\ \%}{100}}{6,38} + \frac{GPd \times \frac{268 - \left( \frac{7,03 \times ENRg}{GPd} \right)}{1000}}{6,25}$$

Donde:

<i>Nretención</i>	Cantidad de Nitrógeno retenido (kg N/animal/día)
<i>Leche</i>	Producción de leche (kg animal/día)
<i>Proteína en leche %</i>	Porcentaje de proteína en la leche, calculada como $(1,9 + 0,4 \times \% \text{grasa})$ donde el % de grasa suele asumirse como 4% únicamente para vacas de propósito lechero de acuerdo con las directrices del IPCC
<i>GPd</i>	Ganancia de peso diaria (kg/día)
<i>ENRg</i>	Energía neta requerida para el crecimiento (MJ/día) (ver Ecuación 10)

#### 14.2.3.3. Emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O por volatilización del estiércol

El cálculo del N volatilizado en forma de NH<sub>3</sub> y NO<sub>x</sub> del estiércol se estima teniendo en cuenta las tasas de excreción del estiércol y la fracción volatilizada como se muestra en la Ecuación 27.

**Ecuación 27.** Pérdidas de N debidas a la volatilización del estiércol.

$$E_{VOL,lb} = N \times Nav \times SMEA_{N2O} + Ncdg \times FRACvol \times FE4 \times \frac{44}{28} \times \frac{PCG}{1000}$$

Donde:

$E_{VOL,lb}$	Emisiones indirectas por volatilización del estiércol (tCO <sub>2</sub> e) en el escenario de línea base.
$N$	Cantidad de cabezas de ganado (ver Ecuación 17)
$Nav$	Promedio anual de excreción de Nitrógeno por sistema productivo (kg N/cabeza/año) (ver Ecuación 24. Tasa anual de excreción de Nitrógeno.)
$SMEA_{N2O}$	Fracción de N <sub>2</sub> O excretado por animal y sistema de gestión
$Ncdg$	Cantidad de Nitrógeno ingresado a sistemas de digestión anaeróbica (kg N/año)
$FRACvol$	Fracción de estiércol gestionada que se volatiliza en sistemas de gestión <sup>17</sup>
$FE4$	Factor de emisión por volatilización (kg NH <sub>3</sub> -N + NO <sub>x</sub> -N)
$PCG$	Potencial de Calentamiento Global

#### 14.2.3.4. Emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O por lixiviación del estiércol

El Nitrógeno que lixivia al suelo y se escurre durante el almacenamiento de sólidos a la intemperie o en sistemas estabulados, se estima de acuerdo con la Ecuación 28.

**Ecuación 28.** Pérdidas de N debidas a la lixiviación de sistemas de gestión del estiércol.

$$E_{LIX,lb} = N \times Nav \times SMEA_{N2O} + Ncdg \times FRAClix \times FE5 \times \frac{44}{28} \times \frac{PCG}{1000}$$

Donde:

$E_{LIX,lb}$	Emisiones indirectas por lixiviación del estiércol (tCO <sub>2</sub> e) en el escenario de línea base
$N$	Cantidad de cabezas de ganado (ver Ecuación 17)
$Nav$	Promedio anual de excreción de Nitrógeno por sistema productivo (kg N/cabeza/año) (ver Ecuación 24. Tasa anual de excreción de Nitrógeno.)
$SMEA_{N2O}$	Fracción de N <sub>2</sub> O excretado por animal y sistema de gestión
$Ncdg$	Cantidad de Nitrógeno ingresado a sistemas de digestión anaeróbica (kg N/año)
$FRAClix$	Fracción de estiércol gestionada que se lixivia en sistemas de gestión <sup>18</sup>
$FE5$	Factor de emisión por lixiviación (kg N <sub>2</sub> O-N)
$PCG$	Potencial de Calentamiento Global

<sup>17</sup> Para conocer los valores de la variable, diríjase a la tabla 10.22 del capítulo 10 del volumen 4 del refinamiento 2019 del IPCC.

<sup>18</sup> Para conocer los valores de la variable, diríjase a la tabla 10.22 del capítulo 10 del volumen 4 del refinamiento 2019 del IPCC.

#### 14.2.4 Aplicación de fertilizantes por manejo de suelos

Los aumentos de N disponible en el suelo se deben a los incrementos de Nitrógeno disponible, lo cual aumenta las tasas de nitrificación y desnitrificación, estos incrementos pueden producirse por fuentes agregadas o cambios en el uso del suelo, en este caso se tienen en cuenta adiciones asociadas a:

- Fertilización sintética.
- Nitrógeno orgánico aplicado como fertilizante (estiércol, compost, lodos o desechos)
- Nitrógeno en la orina y el estiércol depositado directamente en las pasturas
- Nitrógeno en residuos agrícolas

En este caso, el proponente del proyecto deberá seguir el método de cálculo 3 y los lineamientos del nivel 2 del refinamiento del IPCC como se muestra en la **Ecuación 29**.

**Ecuación 29.** Emisiones directas de N<sub>2</sub>O en suelos gestionados.

$$E_{AF,lb} = (Fsn + Fon) \times FEi + Fcr \times FEii \times \frac{44}{28} \times \frac{PCG}{A}$$

Donde:

$E_{AF,lb}$	Emisiones de Óxido Nitroso por aplicación de N (tCO <sub>2</sub> e)
$Fsn$	Cantidad anual de N aplicado a los suelos en forma de fertilizante sintético (t N/año)
$Fon$	Cantidad anual de N en estiércol animal, compost, lodos y otros aportes (t N/año)
$FEi$	Factor de emisión de las adiciones de N por fertilización sintética (t N <sub>2</sub> O-N/t N aplicada)
$Fcr$	Cantidad anual de N en los residuos agrícolas, incluyendo cultivos fijadores de N y la renovación de forrajes o pasturas (t N/año)
$FEii$	Factor de emisión de las adiciones de N en especies fijadoras de N (t N <sub>2</sub> O-N/t N aplicada)
$PCG$	Potencial de Calentamiento Global
$A$	Hectáreas (ha)

#### 14.2.5 Uso de especies fijadoras de Nitrógeno

Para estimar la cantidad de N contenido en las especies fijadoras de Nitrógeno, el proponente del proyecto debe usar los lineamientos de la Ecuación 30.

**Ecuación 30.** Cantidad de N en especies fijadoras de Nitrógeno.

$$Fcr = Nmsab \times Ncontenido$$

Donde:

$Fcr$	Cantidad anual de N en los residuos agrícolas, incluyendo cultivos fijadores de N y la renovación de forrajes o pasturas (kg N/año)
$Nmsab$	Cantidad de materia seca aérea y subterránea de especies fijadoras de Nitrógeno (t MS)

*N*contenido Fracción de N en la materia seca (t N/t MS)<sup>19</sup>

### 14.2.6 Aplicación de CAL por manejo de suelos

De acuerdo con las directrices del refinamiento del 2019 del IPCC, el agregado de carbonatos a los suelos en forma de piedra caliza cálcica (CaCO<sub>3</sub>) o dolomita (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) conduce a emisiones de CO<sub>2</sub>. Teniendo en cuenta lo anterior, el proponente debe utilizar la siguiente ecuación para estimar las emisiones resultantes de las enmiendas aplicadas en el suelo.

**Ecuación 31.** Emisiones de CO<sub>2</sub>-C por aplicación de CAL Dolomita y Piedra Caliza Cálcica.

$$E_{cal,lb} = C_{caliza} \times FE_{caliza} + C_{dolomita} \times FE_{dolomita} \times \frac{44}{12}$$

Donde:

<i>E<sub>cal,lb</sub></i>	Emisiones de C por la aplicación de CAL (tCO <sub>2</sub> e/año)
<i>C<sub>caliza</sub></i>	Cantidad anual de CaCO <sub>3</sub> (t/año)
<i>FE<sub>caliza</sub></i>	Factor de emisión (tC/t de CaCO <sub>3</sub> )
<i>C<sub>dolomita</sub></i>	Cantidad anual de CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (t/año)
<i>FE<sub>dolomita</sub></i>	Factor de emisión (tC/t de CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> )

### 14.3 Emisiones totales

Las emisiones totales en el escenario de línea base y el escenario de proyecto corresponde a la suma de cada una de las tCO<sub>2</sub>e obtenidas tras la identificación y la aplicación de los métodos de cálculo descritos en la sección Emisiones de GEI de acuerdo con la Ecuación 32.

**Ecuación 32.** Emisiones totales en el escenario de línea base.

$$E_{mt,lb,t} = E_{cf,lb,t} + E_{FE,lb,t} + E_{GE,CH4,lb,t} + E_{GE,N2O,lb,t} + E_{VOL,lb,t} + E_{LIX,lb,t} + E_{AF,lb,t} + E_{Cal,lb,t}$$

Donde:

<i>E<sub>mt,lb,t</sub></i>	Emisiones totales de GEI en el escenario de línea base (tCO <sub>2</sub> e/año)
<i>E<sub>cf,lb,t</sub></i>	Emisiones de GEI por combustión fósil en el escenario de línea base (tCO <sub>2</sub> e/año)
<i>E<sub>FE,lb,t</sub></i>	Emisiones totales de GEI por fermentación entérica en el escenario de línea base (tCO <sub>2</sub> e/año)
<i>E<sub>GE,CH4,lb,t</sub></i>	Emisiones totales de GEI por gestión del estiércol (metano) en el escenario de línea base (tCO <sub>2</sub> e/año)
<i>E<sub>GE,N2O,lb,t</sub></i>	Emisiones totales de GEI por gestión del estiércol (óxido nitroso) en el escenario de línea base (tCO <sub>2</sub> e/año)
<i>E<sub>VOL,lb,t</sub></i>	Emisiones totales de GEI por volatilización del estiércol en el escenario de línea base (tCO <sub>2</sub> e/año)
<i>E<sub>LIX,lb,t</sub></i>	Emisiones totales de GEI por lixiviación del estiércol en el escenario de línea base (tCO <sub>2</sub> e/año)
<i>E<sub>AF,lb,t</sub></i>	Emisiones totales de GEI por aplicación de nitrógeno en el suelo en el escenario de línea base (tCO <sub>2</sub> e/año)

<sup>19</sup> EL valor puede ser consultado en fuentes oficiales o mediante el resultado de análisis de laboratorio.

$E_{Cal,lb,t}$  Emisiones totales de GEI por encalado en el escenario de línea base (tCO<sub>2</sub>e/año)

### 15 ESCENARIO CON PROYECTO

Las emisiones y el cálculo de las existencias de carbono en los reservorios del PMGEI en el escenario con proyecto deben cuantificarse de acuerdo con los lineamientos de la sección 14, reemplazando el criterio “*lb*” de cada una de las ecuaciones por “*p*”. Los métodos son aplicables para el escenario ex-ante y ex-post, limitándose a la fuente de información que determina su resultado.

### 16 FUGAS

En el contexto de la presente metodología, las fugas atribuibles al PMGEI pueden generarse producto de la aplicación de enmiendas o estiércol, el desplazamiento de ganado fuera del área del proyecto y la pérdida de productividad.

A continuación, se presentan los procedimientos que el PMGEI debe llevar a cabo para identificar y cuantificar las potenciales fugas atribuibles a las actividades del proyecto.

#### 16.1 Cuantificación de fugas producto de la aplicación de enmiendas o estiércol fuera del área del proyecto

La cuantificación de fugas producto de la aplicación de enmiendas y estiércol fuera del área del proyecto se deben considerar si se identifican incrementos en las aplicaciones/deposiciones desde la implementación de la iniciativa de acuerdo con lo siguiente:

- Las enmiendas o el estiércol aplicadas deben ser producidas y almacenadas dentro del área del proyecto.
- Se identifica que el estiércol no ha sido tratado en mecanismos que permiten la recuperación de metano para aprovechamiento energético.

Las emisiones deben ser cuantificadas siguiendo los lineamientos de las secciones 14.2.3 y 0 de la presente metodología

#### 16.2 Cuantificación de fugas producto de traslado del ganado fuera del área del proyecto

En el caso en el que se identifique desplazamiento del ganado fuera de los límites del proyecto, las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O deben ser cuantificadas siguiendo los lineamientos de las secciones 14.2.2 y 14.2.3 de la presente metodología, brindando cuantificaciones anualizadas. Es importante aclarar que, para evitar el reclamo de reducción de emisiones por intensidad de individuos dentro del área del proyecto por desplazamiento del ganado (reducción de emisiones de GEI dentro del área del proyecto en relación con el período histórico de referencia al disminuir la cantidad de individuos dentro del área del proyecto), la

cantidad de cabezas de ganado no debe ser inferior en el escenario con proyecto con respecto al período histórico de referencia.

### 16.3 Cuantificación de fugas por pérdida de productividad

Entendiendo que el área del proyecto debe mantenerse productiva durante el período de acreditación del PMGEI, es poco probable que se generen fugas relacionadas a la pérdida de productividad. Adicionalmente, de acuerdo con la sección 6 de la presente metodología, el proponente del proyecto debe demostrar que no se ha generado pérdida de productividad tras la implementación del proyecto<sup>20</sup>, por lo que no se permiten reducciones en el rendimiento, de acuerdo con los bienes producidos dentro de los límites de este.

Con el fin de proporcionar evidencia de lo anteriormente descrito, el proponente debe seguir los pasos a continuación y demostrar la NO pérdida de productividad durante cada período de verificación.

#### Paso 1. Selección de los indicadores productivos

El PMGEI debe seleccionar el indicador que refleje su productividad de acuerdo con la caracterización del ganado o el proceso de estratificación de las coberturas identificadas dentro del área del proyecto (l de leche/ha, kg de ganado en pie/ha, kg de cultivo/ha, entre otros).

#### Paso 2. Estimación de productividad promedio

El PMGEI debe calcular el promedio de productividad durante entre el período histórico y durante los tres años preliminares a cada año de certificación en la ZAP en comparativa con las áreas del proyecto, para cada uno de los indicadores productivos, de acuerdo con lo estipulado en las siguientes ecuaciones.

**Ecuación 33.** Cuantificación de productividad en el periodo histórico de referencia.

$$PROMPr, lb, i = \frac{Pr_{lb,t1,i} + Pr_{lb,t2,i} + Pr_{lb,t3,i}}{3}$$

Donde:

$PROMPr, lb, i$	Promedio de productividad durante el período histórico de referencia por unidad productiva
$Pr_{lb,t}$	Productividad anual por hectárea en el tiempo t
t	Tiempo en años
i	Unidad productiva
1, 2, 3...	Años del período histórico de referencia

<sup>20</sup> Si se evidencia una pérdida de productividad de más del 8%, la actividad productiva no será elegible.

**Ecuación 34.** Cuantificación de productividad en el periodo crediticio.

$$PROMPr, p, i = \frac{Pr_{p,t1,i} + Pr_{p,t2,i} + \dots + Pr_{p,t5,i}}{n}$$

Donde:

$PROMPr, p, i$	Promedio de productividad durante el periodo de certificación por unidad productiva
$Pr_{p,t}$	Productividad anual por hectárea en el tiempo t
t	Años del periodo de certificación actual del proyecto
n	Periodo de tiempo que abarca la actual certificación del proyecto (años)
i	Unidad productiva

**Paso 3.** Comparación de productividad de referencia vs productividad del área del proyecto

El PMGEI debe comparar la productividad del área del proyecto con el promedio de productividad de la ZAP por unidad productiva seleccionada (litros de leche/ha, kg de ganado en pie/ha, entre otros) como se muestra en la Ecuación 35. En de que el área del PMGEI y la ZAP experimenten fenómenos externos naturales o de mercado que impliquen un cambio en la productividad se podrá excluir del promedio productivo, siempre y cuando se documente y soporte adecuadamente estos fenómenos.

**Ecuación 35.** Comparación de productividad.

$$\Delta Pr, i = \frac{PROMPr, p, i - PROMPr, lb, i}{PROMPr, lb, i} \times 100$$

Donde:

$\Delta Pr, i$	Diferencia de productividad (%).
----------------	----------------------------------

Si el  $\Delta Pr, i$  obtenido para cada unidad productiva corresponde a un valor negativo se identifica que el proyecto presenta pérdida de productividad con respecto al escenario de línea base, por el contrario, si el valor es positivo las fugas atribuibles al proyecto son cero.

**Paso 4.** Cuantificación de la fuga

Posterior a la obtención del delta de cambio de productividad, el PMGEI debe calcular un indicador de intensidad expresado en tCO<sub>2</sub>e por unidad productiva (tCO<sub>2</sub>e/l de leche, tCO<sub>2</sub>e/kg de carne, entre otros) y multiplicarlo por diferencia de productividad anual obtenido en función de las hectáreas. Este proceso solo deberá ser realizado cuando el delta de productividad sea inferior al 8%.

**Ecuación 36.** Cálculo de la diferencia de promedio de productividad por año por unidad productiva.

$$Pr, i = PROMPr, lb, i - PROMPr, p, i$$

Donde:

$Pr, i$  Diferencia de promedio de productividad

**Ecuación 37.** Cálculo de emisiones por fuga de productividad

$$FG_{t,i} = \frac{Pr, i}{PROMPr, lb, i} \times 1 \text{ ha} \times FE_{bosque}$$

Donde:

$FG_{t,i}$  Fuga por pérdida de productividad (tCO<sub>2</sub>e/año)

$FE_{bosque}$  Factor de emisión de 1 ha de bosque estable en las áreas limítrofes al área del proyecto

El  $FE_{bosque}$  debe estar soportado a partir de fuentes de información secundaria acordes para el área del proyecto. Finalmente, las fugas totales del proyecto para cada periodo de certificación se calculan de acuerdo con la Ecuación 38.

**Ecuación 38.** Cálculo de emisiones por fuga de productividad

$$Fugas_t = \sum_{i=1}^j \frac{FG_{t,i}}{n}$$

Donde:

$Fugas_t$  Emisiones de carbono por fugas en el tiempo t (tCO<sub>2</sub>e)

Es importante mencionar que el valor obtenido se debe mantener estable para los años considerados dentro del periodo de certificación del PMGEI y calculado a lo largo de cada periodo de certificación.

## 17 ANÁLISIS DE RIESGOS DE NO PERMANENCIA

El análisis de riesgos de no permanencia y reversión consiste en el monitoreo de indicadores estratégicos que permitan identificar la integridad de los stocks de carbono en el largo plazo. El análisis de Riesgos de No Permanencia se debe desarrollar de acuerdo con la *Guía ColCX para identificación de riesgos de no permanencia* en su versión más actualizada.

## 18 DETERMINACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

El cálculo de la incertidumbre en la estimación de carbono en la biomasa herbácea, biomasa leñosa y del carbono orgánico, así como en las diferentes fuentes de emisión consideradas en el PMGEI debe ser desarrollado conforme a las directrices establecidas en la *“Guía ColCX para la gestión de riesgos de reversión, riesgos de no permanencia e incertidumbre”* en su versión más actualizada.

## 19 ESTIMACION DE COLCERS DEL ESCENARIO DE FORMULACIÓN

La cuantificación de COLCERS producto de la implementación de las actividades del proyecto, debe tener en cuenta la siguiente ecuación:

**Ecuación 39.** Estimación de COLCERS.

$$COLCERS_t = [ (\Delta Em_{red,t} + \Delta Em_{rem,t}) - [(\Delta Em_{red,t} + \Delta Em_{rem,t}) \times Buffer\ %] - Fugas_t ] \times (1 - Incertidumbre)$$

Donde:

<i>COLCERS</i>	Cantidad de COLCERS en el tiempo t (tCO <sub>2</sub> e/año)
$\Delta Em_{red,t}$	Emisiones de GEI reducidas en el tiempo t (tCO <sub>2</sub> e/año)
$\Delta Em_{rem,t}$	Remociones de carbono en el tiempo t (tCO <sub>2</sub> e/año)
$Fugas_t$	Emisiones de carbono por fugas en el tiempo t (tCO <sub>2</sub> e/año)
<i>Buffer %</i>	Descuento por riesgo de no permanencia basado en la herramienta de riesgos de no permanencia

El delta de emisiones de GEI reducidas al año se estima de acuerdo con la siguiente ecuación

**Ecuación 40.** Cuantificación del delta de reducción de emisiones<sup>21</sup>.

$$\Delta Em_{red,t} = Em_{lb,t} - Em_{p,t}$$

Donde:

$\Delta Em_{red,t}$	Emisiones de GEI reducidas en el tiempo t (tCO <sub>2</sub> e/año)
$Em_{lb,t}$	Emisiones totales de GEI en el escenario de línea base en el tiempo t (tCO <sub>2</sub> e/año)
$Em_{p,t}$	Emisiones totales de GEI en el escenario de proyecto en el tiempo t (tCO <sub>2</sub> e/año)

Por otro lado, el delta de las remociones de GEI deben ser calculadas teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

**Ecuación 41.** Cuantificación de las existencias de carbono en los reservorios.

$$\Delta Em_{rem,t} = \Delta C_{COS,t} + \Delta C_{BHA,t} + \Delta C_{BL,t}$$

Donde:

$\Delta Em_{rem}$	Remociones de carbono totales en el tiempo t (tCO <sub>2</sub> e/año)
-------------------	---

<sup>21</sup> Es importante tener en cuenta que el delta de cada fuente de emisión corresponde a la diferencia entre las emisiones del escenario de línea base y el escenario con proyecto.

$\Delta C_{BL,t}$	Cambio en las existencias de carbono en el proyecto presente en la biomasa leñosa en el tiempo $t$ (tCO <sub>2</sub> e/año)
$\Delta C_{BHA,t}$	Cambio en las existencias de carbono en el proyecto presente en la biomasa herbácea en el tiempo $t$ (tCO <sub>2</sub> e/año)
$\Delta C_{COS,t}$	Cambio en las existencias de carbono en el proyecto presente en el carbono orgánico del suelo en el tiempo $t$ (tCO <sub>2</sub> e/año)

## 20 NO DAÑO DE NETO

La evaluación de No Daño Neto se debe efectuar siguiendo los lineamientos de la *Guía de No Daño Neto y Salvaguardas Socioambientales* en su versión más actualizada. Su objetivo es evaluar de los riesgos e impactos ambientales que pueden generarse por las actividades del proyecto, destacando la importancia de identificar, predecir y valorar los posibles efectos sobre el ambiente y la sociedad.

## 21 PLAN DE MONITOREO

El proponente del proyecto debe monitorear de forma anual las actividades que se implementan en la iniciativa realizando un seguimiento adecuado a las remociones y remociones de GEI contempladas, el cumplimiento a las salvaguardas sociales y ambientales, las salvaguardas de bienestar animal y los riesgos e impactos ambientales derivados de la implementación de las actividades.

El plan de monitoreo debe contener variables, métodos de monitoreo, frecuencia, procesos de control de calidad respecto a los siguientes ítems:

- Actividades del proyecto
- cambios en los stocks de carbono y las fuentes de emisión seleccionadas.
- Riesgos de no permanencia
- Potenciales impactos tras la implementación de las actividades de proyecto.
- Salvaguardas sociales, ambientales y de bienestar animal.
- Contribución a los ODS.

Es importante destacar que el proponente del proyecto debe documentar el procedimiento de recolección y procesamiento de la información y esta debe estar debidamente conservada de forma física o digital durante por lo menos tres años después del último período de verificación.

### 21.1 Descripción de acciones para el monitoreo en el área de proyecto

El PMGEI debe monitorear las condiciones de aplicabilidad y los límites geográficos del proyecto mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para cada uno de los predios que conforman el área del proyecto.

Se debe desarrollar un esquema que permita verificar la cronología de la implementación de las actividades de la iniciativa dentro de los límites, previamente definidos y documentar

aspectos relevantes como la frecuencia, la unidad de medida, el alcance y los planes de manejo de las áreas del proyecto.

### 21.2 Descripción de acciones para el monitoreo de los riesgos de no permanencia

De acuerdo con los riesgos e impactos identificados según el procedimiento de la *Guía de No Daño Neto y Salvaguardas Socioambientales*, el PMGEI debe crear un plan de gestión para los riesgos que puedan representar una amenaza para la permanencia de la iniciativa y así mitigar los posibles riesgos de reversión.

### 21.3 Variables de monitoreo relacionadas con cambios en las existencias de carbono y las fuentes de emisión

La cuantificación de los COLCERS derivados de la remoción y reducción de emisiones de GEI requiere de variables específicas que deben ser monitoreadas por el PMGEI a lo largo del período crediticio, dentro de los distintos límites espaciales establecidos en la presente metodología. En este sentido, el PMGEI debe reportar, en cada uno de los documentos correspondientes a la etapa en la que se encuentre, las variables y demás aspectos definidos en los diferentes formatos establecidos por el programa COLCX.

## 22 SALVAGUARDAS SOCIOAMBIENTALES Y BIENESTAR ANIMAL

A continuación, se presentan los lineamientos específicos que el proponente del proyecto debe seguir con el fin de identificar una clara contribución al cumplimiento de las salvaguardas sociales, ambientales y de bienestar animal.

### 22.1 Evaluación de las salvaguardas socioambientales aplicables al proyecto

La evaluación de salvaguardas sociales y ambientales se aplica bajo los lineamientos de la *Guía De No Daño Neto y Salvaguardas Socioambientales*. El proponente del proyecto debe aplicar las Salvaguardas de Cancún de la CMNUCC de acuerdo con la interpretación del país anfitrión donde se desarrolla la iniciativa, en caso de existir. Para el cumplimiento de las Salvaguardas sociales y ambientales el PMGEI debe contemplar los siguientes principios:

- Garantía al enfoque étnico y diferencial
- Garantía del consentimiento libre, previo e informado de los actores involucrados en la toma de decisiones
- Participación plena y efectiva de las comunidades o los actores involucrados
- Respeto y reconocimiento de las autoridades, las formas de gobierno y los mecanismos de toma de decisiones (ancestrales y legales) de las comunidades o los actores involucrados
- Gestión y mantenimiento de la información documentada del proyecto.

En el marco de lo mencionado anteriormente, el proyecto debe promover y garantizar el cumplimiento de las salvaguardas. A continuación, se enuncian los aspectos específicos y

adicionales a la *Guía De No Daño Neto y Salvaguardas Socioambientales* que debe evaluar el proponente de proyecto.

- La Salvaguarda (a) se aplica según la guía, teniendo en cuenta el marco normativo relacionado con el sector agropecuario y la mitigación del cambio climático.
- La salvaguarda (b) debe demostrar que las figuras de gobernanza creadas o existentes en el área de proyecto y la ZAP, así como el tratamiento de la información, cumplen con los criterios legales del país anfitrión. Adicionalmente, el proyecto debe demostrar que el predio es libre de deforestación, que respeta las coberturas preexistentes y la propiedad de comunidades étnicas en tierras colectivas aledañas. Posteriormente, aplique los lineamientos de la guía en contexto.
- Las demás salvaguardas (c – g) se aplican según la guía.

### 22.2 Evaluación de dominios de bienestar animal

El proponente del proyecto debe evaluar el cumplimiento de las cinco libertades<sup>22</sup> de bienestar animal en los sistemas de pastizales identificados dentro de los límites del proyecto, mediante la identificación y monitoreo de indicadores de por lo menos tres, de los cinco lineamientos, el análisis busca asegurar la existencia de condiciones óptimas para el desarrollo de los animales, promoviendo tanto su bienestar, como la sostenibilidad del proyecto.

La incorporación de consideraciones sobre bienestar animal es un imperativo ético, que contribuye a la sostenibilidad de la iniciativa. El bienestar animal, tal como se define a través de las cinco libertades, asegura que los animales bajo manejo humano vivan en condiciones que promuevan su salud, comportamiento natural y bienestar general. Estas libertades que incluyen la ausencia de hambre y sed, incomodidad, dolor, lesiones y enfermedades, la capacidad de expresar comportamientos naturales, y la libertad de miedo y angustia son reconocidas globalmente como la base para prácticas de manejo responsables.

De acuerdo con la Organización Mundial para el Bienestar Animal “World Organisation for Animal Health” (WOAH, por sus siglas en inglés), define al bienestar animal como el estado físico y mental del animal en relación con las condiciones en las que vive. El proponente del proyecto debe presentar evidencia de cumplimiento de los siguientes indicadores, como mínimo, en caso de que pueda demostrar contribuciones adicionales, éstas serán tenidas en cuenta por el proceso de evaluación.

- **Disponibilidad de forraje y agua:** Demostrar calidad, disponibilidad de forraje y acceso a agua limpia para que los animales tengan suficiente alimento para que suplan sus requerimientos de mantenimiento, crecimiento y/o reproducción. Aplicar monitoreo periódico de la calidad del forraje mediante análisis nutricional e inspección regular de acceso a fuentes de agua a voluntad.

---

<sup>22</sup> Ver: <https://www.woah.org/en/home/>

- **Calidad del alimento:** La calidad del forraje consumido afecta el tiempo de pastoreo y la intensidad de bocado de este. Según Pinheiro (2020), bajo tenor de fibra y mayor digestibilidad del pasto favorece el tiempo de pastoreo, aumenta la tasa de bocados y por lo tanto se produce mayor consumo.

A su vez, cuanto más densa y próxima este la pastura a los 20 – 30 cm, mayor será el tamaño y la tasa de bocado, lo que define la ingesta de pasto por parte de los animales. Por lo que, la situación ideal de pastoreo es cuando el animal es capaz de ingerir la máxima cantidad de alimentos de mayor calidad. Hay que habilitar el pastoreo cuando el pasto presenta hojas jóvenes, con mayor cantidad de nutrientes y es más apetecible. Se debe evitar el consumo de pastos lignificados, envejecidos ya que tienen un valor nutritivo bajo y son ingeridos en menor cantidad por mayor tiempo de rumia.

Esto es posible cuando los animales ingresan al potrero en el punto óptimo de reposo de la pastura. Otro de los beneficios de aportar alimento de calidad es la reducción en las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) por parte del rodeo. Un estudio del INIA (2022)<sup>23</sup> en novillos identificó que, con una dieta con menor contenido de fibra, además de aumentar las ganancias diarias y el peso vivo de los animales, disminuyeron las emisiones de CH<sub>4</sub> por kilogramo de MS y por unidad de energía bruta (Ym) consumida.

- **Comportamiento de pastoreo:** Presencia constante de refugio y sombra. Aplicar inspecciones visuales y evidencias de la disponibilidad de sombra por hectárea.
- **Bienestar animal:** Evitar la presencia de perros en el manejo de los animales disminuye un importante factor de estrés para el ganado, ya que este ven a los perros como sus predadores. Además, luego de que los animales se acostumbran al pasaje entre potreros por los caminos, se pueden llevar de a pie, sin necesidad de perros. En caso de que sean distancias muy grandes se puede usar caballo.

La salida del potrero debe ser tranquila, se debe entrar caminando hacer recuento de animales, se recomienda esperar de 10 a 15 minutos para que los animales dejen más depósitos de bosta y orina<sup>24</sup>. Del mismo modo, el manejo y traslado de los animales en los trabajos en las mangas y demás actividades.

- **Sanidad:** Se debe tener un calendario sanitario realizado por un veterinario donde se indiquen las fechas de vacunación, además deben estar incluidas todas las vacunas existentes en la región. El mismo debe tener un seguimiento adecuado. En caso de que se trabaje con reproductores los mismos deben tener la evaluación correspondiente previo a cada servicio. Si bien se ha argumentado los beneficios de trabajar con altas cargas animales, esta concentración puede beneficiar enfermedades infecciosas, para prevenirlo se debe mantener una evaluación constante de todo el rodeo

### 23 CONTRIBUCION A LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)

<sup>23</sup> Santander, M. et al (2022). Emisiones de metano de novillos en fase de terminación alimentados con dietas contrastantes en los niveles de fibra. Revista INIA. N°68. 84 – 87 pp.

<sup>24</sup> INIA Tacuarembó, 2002. Cruzamientos en bovinos para carnes. Seminario de actualización técnica.

El proponente del proyecto deberá indicar la forma en la que las actividades del proyecto contribuyen al cumplimiento de las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) propuestos por la Agenda 2030. En caso de que el país en donde se desarrolle la iniciativa cuente con una adaptación de las metas de los ODS, el proponente podrá demostrar su alineación a los objetivos específicos del territorio.

El proyecto debe considerar los criterios y directrices definidas por la *Guía COLCX para reportar aportes a los Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS* en su versión más actualizada.

## 24 ANEXOS

### 24.1 Anexo 1 Buenas prácticas ganaderas

Para que un sistema ganadero funcione de manera óptima, es fundamental satisfacer las necesidades nutricionales de los animales en todas sus etapas de desarrollo, ofrecerles agua limpia y suficiente, proporcionarles sombra y seguir un calendario de actividades sanitarias, entre otras prácticas incluidas en este protocolo. Estas acciones no solo mejoran el bienestar de los animales, sino que también incrementan la producción, ya que, según Smith (1998), el estrés ambiental puede reducir su rendimiento entre un 20 y 30%.

Además, implementar estas mejoras en el manejo del ganado aporta beneficios al entorno del predio, como una mayor fertilidad del suelo y un aumento en la producción de materia seca en las pasturas, lo que reduce los costos de producción. Al aplicar estas pautas, el predio tiene el potencial de almacenar carbono orgánico en el suelo (COS), lo que puede representar una mejora en la eficiencia del sistema. Esto también contribuye a mejorar la biodiversidad y a optimizar los ciclos de agua y nutrientes en el ecosistema.

#### 24.1.1 Manejo del suelo

El suelo desempeña un papel clave en los ciclos de nutrientes y agua, siendo esencial para mantener la producción actual de alimentos. Sin embargo, la agricultura intensiva, con años de labranza y uso de fertilizantes nitrogenados, ha provocado un deterioro fisicoquímico y acidificación en los suelos, lo que ha llevado a la pérdida de materia orgánica y de fertilidad.

Conscientes de la importancia de mantener suelos sanos para producir alimentos de calidad y de forma eficiente, en este capítulo se abordarán prácticas que ayudan a reducir o prevenir la erosión y a mejorar los ciclos de nutrientes.

- **Manejos para evitar y/o reducir la erosión:** La erosión reduce la productividad del suelo al disminuir la capa superficial, donde se encuentra la mayor parte de la materia orgánica. Según la FAO, perder centímetros de esta capa puede reducir el rendimiento de pasturas y cultivos hasta en un 50%. Además, la erosión deteriora las funciones de los ecosistemas al afectar el drenaje, la capacidad del suelo para retener agua, la

disponibilidad de nutrientes y la actividad biológica. En casos graves de degradación, puede conducir a la desertificación y provocar el desplazamiento de comunidades.

- **Reducir la labranza:** La labranza del suelo causa degradación en su estructura, pérdida de materia orgánica, compactación y liberación de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Este proceso altera la porosidad y capilaridad del suelo, afectando tanto la vida aerobia como anaerobia, y cambia el hábitat de los organismos que contribuyen al ciclo de nutrientes y a la salud y fertilidad del suelo. Esto genera un círculo vicioso, donde cada vez se necesitan más insumos externos para mantener buenos rendimientos.
- Por ello, reducir las actividades de labranza es fundamental para conservar el suelo. La siembra directa es una técnica que minimiza el impacto en el suelo, al no remover la tierra y mantener la cobertura, evitando su exposición prolongada. Además, a diferencia de la siembra convencional, la siembra directa conserva a los microorganismos aeróbicos en contacto con la zona de análisis del proyecto y a los anaeróbicos en áreas sin oxígeno, manteniendo el equilibrio en el ecosistema del suelo.
- **Manejo de pendientes:** La inclinación del terreno es un factor que contribuye a la erosión hídrica, aunque esta también depende de las propiedades del suelo y la cobertura vegetal. La escorrentía se ve afectada por el volumen y la velocidad del agua; por lo tanto, el riesgo de pérdida de sedimentos es mayor en pendientes pronunciadas. Mantener la vegetación en estas zonas ayuda a prevenir la erosión por escurrimiento, ya que la cobertura vegetal reduce el desprendimiento de partículas al interceptar las gotas de lluvia y disipar su energía, además de disminuir la velocidad del agua sobre el suelo.
- En áreas donde es necesario realizar actividades de labranza en laderas, estas deben orientarse de forma perpendicular a la pendiente o siguiendo las curvas de nivel, optimizando el drenaje y reduciendo la capacidad erosiva de la lluvia. El uso de curvas de nivel y otras prácticas para canalizar el flujo del agua en el campo es esencial para evitar la erosión y proteger el suelo.
- **Pastoreo:** La presencia excesiva de animales en el terreno puede compactar el suelo debido al pisoteo, lo cual limita la infiltración de agua, dificulta el crecimiento de nuevas especies y reduce la circulación de aire y agua en el suelo. Según Pinheiro (2020), el efecto de la compactación es especialmente fuerte en sistemas de pastoreo extensivo, donde los animales deambulan constantemente en busca de alimento y agua. Mantener una alta carga instantánea mediante un diseño de pastoreo rotativo puede reducir el impacto del pisoteo, al limitar el tiempo de ocupación en cada área del potrero. Además, todas las prácticas que aumenten el contenido de materia orgánica y mantengan una cobertura vegetal en el suelo, como se presentará más adelante en el protocolo, contribuyen a mejorar su estabilidad estructural, haciéndolo más resistente a la erosión.
- **Reducir actividades de quema:** El uso de fuego no es una práctica recomendada, ya que puede incrementar significativamente el riesgo de erosión. Al quemar los restos

vegetales, el suelo queda expuesto, lo que aumenta su rugosidad y el escurrimiento superficial, además de intensificar el impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie. Esto, a su vez, favorece la compactación del suelo al reducir su contenido de materia orgánica y dañar su estructura. La falta de cobertura vegetal también afecta la capacidad del suelo para almacenar agua, promoviendo la evaporación y el escurrimiento, y disminuyendo la infiltración. Por lo tanto, reducir o evitar las actividades de quema resulta beneficioso para el ecosistema, ya que ayuda a minimizar el riesgo de erosión y a conservar los niveles de materia orgánica en el suelo.

- **Mejora del ciclo de nutrientes:** El ciclo biogeoquímico de nutrientes es un servicio esencial que ofrece la naturaleza. Su función principal es regular, almacenar y reciclar los nutrientes, lo que contribuye directamente a mantener la calidad del suelo y la productividad de los agroecosistemas. Un ciclo de nutrientes efectivo asegura que el suelo tenga suficiente materia orgánica, sea fértil, esté bien aireado y tenga la energía necesaria para sustentar a los microorganismos que interactúan con los elementos de la atmósfera. Sin embargo, este proceso no puede funcionar adecuadamente en un suelo degradado, lo que resalta la importancia de proteger y cuidar la salud del suelo.
- **Producción de raíces:** Mantener una pastura diversa, con especies que posean diferentes tipos de sistemas radiculares, ayuda a airear el suelo y fomenta la simbiosis entre la rizosfera y los microorganismos. Esto contribuye a un ciclo de nutrientes más eficiente, aumentando la disponibilidad de nutrientes en el suelo.
- Para lograr este equilibrio, se recomienda incluir en la pastura especies con raíces profundas, como *Festuca arundinacea*, *Phalaris aquatica*, *Trifolium pratense*, *Medicago sativa* y *Chichorium intybus*, que son capaces de captar nutrientes a mayor profundidad. También se sugiere incorporar especies de raíces superficiales, como *Lolium multiflorum* y *Trifolium subterraneum*, que ayudan a revertir la compactación del suelo en las capas superiores, como complemento, se pueden plantar filas de arbustos y árboles en los límites de los potreros.
- **Inclusión de leguminosas:** Las leguminosas destacan por su capacidad de fijar nitrógeno (N) atmosférico en el suelo gracias a su relación simbiótica con los Rizobios. Incorporar leguminosas en las pasturas incrementa los niveles de nitrógeno en el suelo, lo que mejora el ciclo de este nutriente y beneficia a otras plantas, como las gramíneas, que pueden producir más materia seca. Este aporte adicional de nitrógeno no solo aumenta la cantidad de forraje disponible, sino también su calidad al incluir más proteína en la dieta del ganado. Esto, a su vez, contribuye a reducir las emisiones de metano por kilogramo de carne producida, favoreciendo tanto la sostenibilidad como la eficiencia del sistema ganadero.
- **Producción de biomasa vegetal:** La parte aérea y las raíces de las plantas juegan un papel crucial en los ciclos del carbono (C) y el nitrógeno (N) en el suelo. A través de las hojas, las plantas capturan carbono atmosférico, alimentando la vida en el subsuelo, mientras que sus raíces absorben nitrógeno y otros nutrientes esenciales del suelo, promoviendo el crecimiento vegetal. Tener pasturas con una buena producción de

biomasa incrementa la cantidad de carbono que regresa al suelo mediante la descomposición de restos vegetales, tanto aéreos como subterráneos. Además, las raíces y los exudados radiculares proveen carbono a los microorganismos de la rizosfera, fortaleciendo la biomasa microbiana. Este carbono se transforma en materia orgánica (MO), el principal reservorio de carbono en el suelo.

- El manejo adecuado de las pasturas puede generar un impacto ambiental positivo. Permitir que las plantas alcancen su máxima tasa de crecimiento y acumulen nutrientes en sus raíces para el rebrote incrementa la producción primaria neta. Una buena práctica es observar las hojas senescentes del cultivo: el momento ideal para pastorear es cuando las hojas basales adquieren un tono amarillento, siempre que no sea por factores de estrés.
- Otra estrategia para potenciar la producción de biomasa es enriquecer la pastura con especies más productivas. Esto incluye la incorporación de leguminosas o la implementación de siembras en cobertura, lo que mejora tanto la cantidad como la calidad de la biomasa disponible.

### 24.1.2 Manejo de vegetación

Las pasturas y pastizales nativos han sido el alimento del ganado desde milenios. A modo de ejemplo, los campos nativos de Uruguay ocupan aproximadamente el 90% del área pastoril (Berreta, 1990). Además del aporte económico que brindan a la sociedad a través de la producción de biomasa necesaria para abastecer el mercado de carne, los pastizales cumplen servicios ecosistémicos. Contribuyen a la regulación del clima, la polinización, la purificación y recarga de acuíferos, el control de especies invasoras y a la captura de carbono.

Sin embargo, producciones ganaderas con sistemas extensivos de pastoreo demuestran una disminución en la diversidad de especies. Relevamientos de 50 años en campos con sistemas de ganadería tradicionales en Uruguay muestran una reducción de la presencia de gramíneas y un aumento en el número de especies invasoras. Por lo que, la conservación de los pastos debe ser un tema primordial al momento de tomar decisiones de manejo en el predio. Considerando al ecosistema en totalidad, la relación entre las plantas – suelo – animales debe estar en equilibrio.

Mediante la observación del ganado y el crecimiento del pasto, se puede determinar un plan de pastoreo rotativo eficiente, que mejore las condiciones y estructuras del suelo. Una pastura con altas tasas de crecimiento aumenta la producción animal, aumenta la biodiversidad en el campo, mejora la estructura del suelo aumentando la fertilidad, generando un ciclo eficiente de nutrientes y un sistema que funciona cada vez mejor a través de la relación de los animales con la pastura y el ambiente. Estos objetivos se pueden lograr a través del pastoreo en rotación con altas cargas animales, incorporación de especies productivas en el campo y un buen manejo de implantación y mantenimiento de pasturas. Este tipo de producción se basa en las 4 leyes de pastoreo de Voisin: ley de reposo, ley de la ocupación, ley del rendimiento máximo y del rendimiento regular.

**Alta carga animal:** El pastoreo racional se basa en mantener una alta carga animal en potreros de tamaño reducido, lo que genera diversos beneficios al ecosistema. A diferencia del pastoreo extensivo, donde el pisoteo continuo de los animales en áreas grandes provoca compactación permanente (especialmente cerca de fuentes de agua) y dificulta la recuperación del suelo y la vegetación, el pastoreo racional limita el tiempo de este disturbio. Aunque el pisoteo temporal genera un impacto inicial, permite un rebrote significativo que mejora la calidad de las pasturas en la parcela.

Otro beneficio clave de este tipo de manejo es la devolución de materia orgánica al suelo a través de los desechos de los animales. Las altas cargas instantáneas resultan en una mayor acumulación de estiércol y orina, lo que incrementa la materia orgánica y la fertilidad del suelo, fortaleciendo su capacidad para sostener el crecimiento vegetal a largo plazo.

**Mejoramiento de pasturas:** Incorporar especies más productivas a la pastura trae beneficios evidentes, pero es crucial hacerlo de manera que no se dañe el suelo. La siembra debe realizarse sobre la vegetación existente, preferiblemente "al voleo", sin recurrir a prácticas invasivas. Para asegurar una buena implantación, lo ideal es realizar esta tarea tras un pastoreo previo, seguido de una lluvia, y aprovechar el pisoteo del ganado para que las semillas se adhieran al suelo.

Una vez establecida la pastura, es importante esperar a que el sistema radicular de las nuevas especies se haya desarrollado antes de iniciar el primer pastoreo. Este momento puede coincidir con unos días después del punto óptimo de reposo.

En cuanto a la elección de especies, una mayor diversidad en la composición de la pastura siempre será mejor. Algunas gramíneas recomendadas son *Lolium multiflorum*, *Avena sativa*, *Festuca arundinacea*, *Dactylis glomerata*, *Phalaris arundinacea*, *Pennisetum americanum*, *Paspalum notatum*, *Paspalum dilatatum* y *Pennisetum clandestinum*. Por su parte, las leguminosas juegan un rol fundamental debido a su capacidad de fijar nitrógeno en el suelo mediante su simbiosis con Rizobios y a sus elevados niveles de proteína, que superan a los de las gramíneas. Entre las leguminosas sugeridas están *Trifolium repens*, *Trifolium pratense*, *Medicago sativa*, *Lotus corniculatus* y *Vicia sativa*.

Es esencial considerar la estacionalidad de la pastura al seleccionar las especies a implantar. P.E., si predominan especies estivales, habrá un déficit de forraje en invierno. En estos casos, incluir especies que crezcan durante esta estación será clave para mantener la estabilidad de la pastura y garantizar la productividad del ganado durante todo el año.

### 24.1.3 Manejo del agua

La importancia del agua para los animales radica de sus requerimientos, se estima que un bovino debe consumir entre un 10 y 15 % de su peso en agua, es decir, aproximadamente 60 litros de agua al día. La producción ganadera enfrenta crisis ligadas a sequías, por lo que tener un plan de abastecimiento en cantidad y calidad de agua asegura una producción estable. Es decir, el predio debe mantener un ciclo de agua efectivo con precipitaciones que puedan ser

captadas eficientemente y pérdidas mínimas de agua por escorrentía o evaporación del suelo, donde la mayor parte del agua penetra en la tierra y sea utilizada por las plantas y fluya a los ríos, arroyos y al agua subterránea.

Otro punto importante es la calidad del agua, en zonas rurales se produce contaminación orgánica y química de los cursos fluviales (Masciadri, 2018) mediante la escorrentía superficial de fertilizantes y plaguicidas utilizados en la agricultura y la deriva de actividades productivas e industriales. Debido a esto se mencionarán a continuación algunos manejos de los cursos de agua para mejorar su aprovechamiento y/o disminuir las pérdidas. Además de garantizar que el ganado tenga acceso a agua en cantidades suficientes, es crucial que esta sea de buena calidad. Si se dispone de fuentes naturales como cañadas, arroyos, tajamares o lagunas, es recomendable rodearlas con arbustos o árboles. Esta vegetación actúa como filtro natural, ayudando a proteger el agua y reduciendo la erosión causada por el constante tránsito de los animales en estas áreas.

Para evitar la contaminación química de las fuentes de agua, es fundamental aplicar productos químicos, como los fitosanitarios, a una distancia prudente de estas fuentes. En este sentido, se deben seguir las normativas gubernamentales sobre la aplicación de estos productos, si están disponibles, para asegurar un manejo responsable y sostenible.

**Creación y manejo de reservorios:** Existen diversas formas y fuentes para almacenar agua destinada al ganado. Las aguas superficiales pueden ser aprovechadas mediante obras como tomas directas, represas, tajamares, reservorios y bebederos. Por su parte, las aguas subterráneas se utilizan a través de pozos. Aunque estas prácticas son comunes en muchas regiones, según Pinheiro (2020), pueden resultar ineficientes. Esto se debe a que los animales deben recorrer largas distancias en busca de agua, lo que implica un gasto energético significativo. Además, la jerarquía en la manada provoca desigualdades en el acceso al agua, donde algunos animales consumen suficiente mientras que otros pueden llegar a tomar agua solo cada dos días.

Por ello, Pinheiro enfatiza que “el agua debe ir al animal, y no el animal al agua”. Una solución más eficiente es instalar bebederos estratégicamente distribuidos en los potreros. Esto no solo asegura un acceso equitativo al agua de calidad, sino que también evita el desgaste físico y mejora el bienestar y rendimiento del ganado.

### 24.1.4 Infraestructura

El diseño adecuado de un sistema de pastoreo es clave para facilitar el manejo del ganado y garantizar la implementación exitosa del pastoreo racional. Este diseño debe incluir infraestructura esencial como caminos, potreros, bebederos y otras instalaciones necesarias para el manejo eficiente.

- **Caminos y potreros:** Las parcelas deben estar conectadas por corredores o caminos bien definidos. Según Pinheiro (2020), el diseño comienza con un camino perimetral que rodee toda el área del proyecto, seguido de caminos principales dentro del área. El

objetivo es que todas las parcelas tengan acceso directo a un camino, evitando el paso del ganado por otros potreros.

- **Sombra y cortinas de viento:** Los árboles juegan un rol importante en el bienestar animal al proporcionar sombra en climas cálidos y actuar como barreras para reducir el impacto de vientos fríos en invierno. Estas condiciones mejoran el confort térmico, reducen el gasto energético de los animales y optimizan su rendimiento. En caso de no contar con suficientes árboles, se pueden incorporar zonas techadas para sombra y cortinas de viento.
- **Tamaño de los potreros:** En proyectos de pastoreo rotativo, el tamaño y número de potreros pueden ajustarse con el tiempo según la experiencia y las necesidades específicas. Pinheiro (2020) recomienda que los potreros no excedan las 5 hectáreas, aunque esta cifra puede variar dependiendo de la cantidad de animales y la disponibilidad de materia seca en el predio.
- **Inversión y mantenimiento:** La implementación de un sistema de pastoreo rotativo implica una inversión inicial, especialmente en sistemas hidráulicos de bebederos y divisiones de área. Para reducir costos, el uso de cercas eléctricas es una alternativa eficiente, siempre que se mantengan en buen estado y conectadas con el voltaje adecuado para garantizar su funcionalidad.

### 24.1.5 Personal

Para implementar de manera efectiva las pautas descritas en este protocolo, es fundamental contar con personal capacitado. Este equipo debe tener los conocimientos necesarios para identificar el momento adecuado de pastoreo, trasladar a los animales de manera correcta y asignarlos al potrero correspondiente. Además, deben estar atentos a la detección temprana de posibles infecciones en el ganado.

Dado que el diseño de la infraestructura requiere una inversión significativa, es igualmente importante que el personal se encargue de mantenerla en buen estado. Esto incluye realizar inspecciones periódicas de los bebederos y de las cercas, especialmente las eléctricas, para garantizar su funcionalidad y prolongar su vida útil. Un mantenimiento adecuado no solo protege la inversión, sino que también asegura el correcto funcionamiento del sistema de pastoreo.

### 24.1.6 Biodiversidad

Un aspecto clave para garantizar la estabilidad del ecosistema es la conservación de las especies nativas. Es fundamental evitar la tala de vegetación nativa y conocer las normativas locales relacionadas con la protección de sistemas naturales. Asimismo, se debe prohibir estrictamente la caza dentro del predio, fomentando un entorno seguro para la fauna local.

La presencia de especies nativas, como plantas, arbustos y árboles, junto con la reducción en el uso de fitosanitarios, contribuye a la protección de insectos locales, muchos de los cuales actúan como enemigos naturales de plagas. Este enfoque no solo promueve el equilibrio ecológico, sino que también refuerza la sostenibilidad del sistema productivo.

### 25 REFERENCIAS

**Berreta, E. (1990).** Estudio de la dinámica en la vegetación mejorada con fertilización e introducción de leguminosas. Seminario nacional de campo natural. 197p.

**Boileau, P., Domínguez, C., Durocher, S., Gauthier, M., & Reid, W. (2019).** *Guidelines for conducting integrated environmental assessment*. Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente (PNUMA).

**Chi, Y., Zheng, Y., Yang, Y., Ren, W., & Ma, L. (2021).** Optimizing water use to enhance soil carbon retention and biomass growth.

**Dawson, J., & Smith, P. (2007).** Carbon losses from soil and its consequences for land-use management. *The Science of the Total Environment*, 382(2-3), 165-190.

**Enriquez, A. S., & Cremona, M. V. (2018).** Particulate organic carbon is a sensitive indicator of soil degradation related to overgrazing in Patagonian wet and mesic meadows. *Wetlands Ecology and Management*, 26(3), 345-357.

**FAO. (2017).** *Apreciar el suelo sobre el que caminamos*.

**Fisher, M. J., Rao, I. M., Ayarza, M. A., Lascano, C. E., Sanz, J. I., Thomas, R. J., & Vera, R. R. (1994).** *Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas*. *Nature*, 371(6494), 236–238. <https://doi.org/10.1038/371236a0>

**Garsia, A., Moinet, A., Vazquez, C., Creamer, R., & Moinet, G. (2023).** The challenge of selecting an appropriate soil organic carbon simulation model: A comprehensive global review and validation assessment. *Global Change Biology*, 29, 5760-5774.

**Ghimire, R., Clay, D. E., Thapa, V. R., & Hurd, B. (2022).** Water use efficiency and carbon sequestration in arid and semi-arid agricultural systems.

**Hashimoto, S., Nanko, K., Ťupek, B., & Lehtonen, A. (2016).** Data-mining analysis of factors affecting the global distribution of soil carbon in observational databases and Earth system models. *Geoscientific Model Development Discussions*, 1-22.

**Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2018).** *Manual de campo: Inventario forestal nacional de Colombia*. IDEAM.

**Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007).** *Grazing land management and pasture improvement*. En IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. Recuperado de <https://www.ipcc.ch>

**Intergovernmental Panel on Climate Change. (2019).** *IPCC Special Report on Climate Change and Land*. Recuperado de <https://www.ipcc.ch/srcl>

**IPBES. (2019).** Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services. IPBES Secretariat.

**Kim, S., Kirschbaum, M. U. F., & Beedy, T. L. (2016).** Agroforestry and soil carbon storage: A review of global perspectives.

**López, D. C., Baptiste, M. P., & Arboleda, N. C. (Eds.). (2017).** Plantas exóticas con alto potencial de invasión en Colombia. Instituto Humboldt Colombia.

**Masciadri, S. (2018).** Ambiente, recursos naturales y cambio climático. Reporte Uruguay 2017-2018. Montevideo: Oficina de Planeamiento y Presupuesto. 187-212 pp.

**Millennium Ecosystem Assessment. (2005).** Ecosystems and human well-being: Synthesis. Island Press.

**McCauley, S. & Barlow, C. (2023).** Perennial native species and their role in soil stability and carbon sequestration.

**Meena, R. S., Kumar, S., & Yadav, G. S. (2019).** Role of crop rotations and agroforestry in sustainable agriculture and soil carbon storage.

**Moreno, R., Studdert, G., Monterubbianesi, M., & Irigoyen, A. (2016).** Soil organic carbon simulated with the AMG model in a high-organic-matter Mollisol. *Spanish Journal of Soil Science*

**Olsson, L., Lind, J., & Yan, J. (2014).** Rainwater harvesting for reducing potable water dependency in agriculture.

**Pinheiro, L. (2020).** Pastoreo Racional Voisin. Tecnología agroecológica para el tercer milenio. Editorial Hemisferio Sur. p 87.

**Prokopyeva, V., Ivanova, L., Sergeev, A., & Smirnov, D. (2020).** Soil organic carbon restoration through optimized crop rotation.

**Smith, B. (1998).** A guide to low stress animal handling. Moving ´Em. The Graziers Hui. 352p.

**Sabahy, S. E., Hendawy, M. A., Wasfy, M., Moursy, A., & Mohamed, H. A. (2024).** Efficient irrigation systems and their impact on water conservation and soil carbon retention.

**Skinulienė, L., Marcinkevičienė, A., Dorelis, E., & Bogužas, V. (2024).** Crop rotation frequency and its impact on soil fertility and carbon dynamics.

**Smith, P. (2008).** Soil Organic Carbon Dynamics and Land-Use Change. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 81, 169-178.

**Stepanchenko, O., Shostak, L., Kozhushko, O., Moshynskyi, V., & Martyniuk, P. (2021).** Modelling soil organic carbon turnover with assimilation of satellite soil moisture data. *Modeling Control and Information Technologies*.

**TEEB. (2010).** The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations. Earthscan.

**The Nature Conservancy, Amazon Conservation Team.** Protocolo para la estimación y el monitoreo del carbono en coberturas forestales y no forestales de Colombia. 2019. Colombia

**Wang, Y., Liu, L., Andersen, M. N., & Jensen, C. R. (2010).** Effects of irrigation efficiency on crop productivity and greenhouse gas emissions.

**Yepes Quintero, A. P., Navarrete Encinales, D. A., Duque Montoya, Á. J., & Phillips Bernal, J. F. (2011).** *Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

**Zanne, A. E., Lopez-Gonzalez, G., Coomes, D. A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S. L., Miller, R. B., Swenson, N. G., Wiemann, M. C., & Chave, J. (2009).** *Global wood density database*. Dryad. <https://doi.org/10.5061/dryad.234>

**Zhang, Y., Li, X., Wang, Z., & Chen, B. (2022).** Climate adaptation in crop selection: Maximizing productivity and resource use efficiency.

**HISTORIA DEL DOCUMENTO**

<b>Historial del documento</b>		
<b><i>Versión</i></b>	<b><i>Fecha</i></b>	<b><i>Descripción</i></b>
1.0	16/04/2025	Versión pública inicial del documento