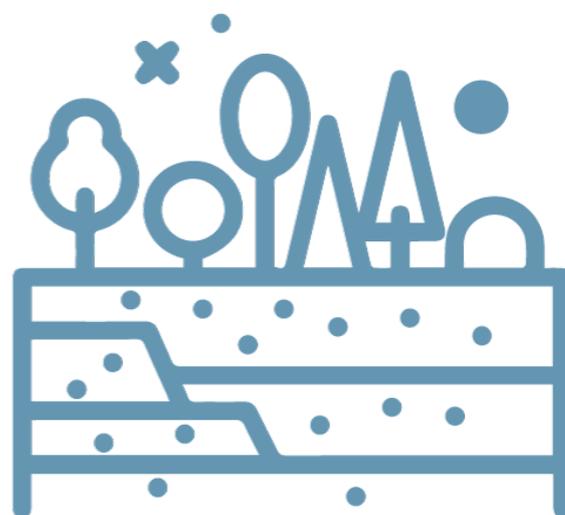


RAGEI 2019

REPORTE ANUAL DE GASES DE EFECTO
INVERNADERO DEL SECTOR USO DE LA
TIERRA, CAMBIO DE USO DE LA TIERRA
Y SILVICULTURA 2019



CATEGORÍAS:

| TIERRAS

Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero del sector Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura del año 2019.
Categoría: Tierras

Preparado por:

Ministerio del Ambiente
Dirección General de Cambio Climático y Desertificación
Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación al Cambio Climático

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego
Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre

Lima, 2023

CONTENIDO

| | |
|---|----|
| RESUMEN EJECUTIVO | 24 |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 25 |
| 2. SITUACIÓN ACTUAL DEL SECTOR | 26 |
| 3. PROCESO DE ELABORACION DEL RAGEI..... | 29 |
| 3.1. Organización para la elaboración del RAGEI..... | 29 |
| 3.2. Procedimientos y arreglos para la elaboración del RAGEI | 29 |
| 3.3. Control de la calidad y garantía de la calidad del RAGEI..... | 30 |
| 3.3.1. Control de la calidad..... | 30 |
| 3.3.2. Garantía de la calidad..... | 31 |
| 4. METODOLOGÍA APLICADA | 32 |
| 4.1. Definición de bosques..... | 32 |
| 4.2. Definiciones de las categorías de uso de la tierra..... | 32 |
| 4.3. Representación coherente de las tierras | 33 |
| 4.4. Metodología para el cálculo de emisiones de GEI | 41 |
| 4.5. Metodología para el análisis de incertidumbres..... | 42 |
| 4.6. Metodología para garantizar la coherencia de la serie temporal..... | 42 |
| 5. RESULTADO SECTORIAL | 43 |
| 5.1. Análisis de los resultados | 43 |
| 5.2. Resultados de la serie temporal..... | 46 |
| 5.2.1. Tendencia de las emisiones..... | 46 |
| 5.2.2. Actualización de emisiones de la serie temporal | 50 |
| 5.3. Resultados de incertidumbre..... | 52 |
| 6. RESULTADOS POR SUBCATEGORÍA | 53 |
| 6.1. Tierras forestales (3B1) | 53 |
| 6.1.1. Tierras forestales que permanecen como tierras forestales (3B1a) | 53 |
| 6.1.1.1. Método de cálculo | 53 |
| 6.1.1.2. Datos de actividad | 58 |
| 6.1.1.3. Factores de emisión y conversión..... | 65 |
| 6.1.1.4. Análisis de incertidumbres..... | 66 |
| 6.1.1.5. Análisis de resultados | 66 |
| 6.1.1.6. Actualización de serie temporal | 67 |
| 6.1.2. Tierras convertidas en tierras forestales (3B1b) | 68 |
| 6.1.2.1. Método de cálculo | 68 |
| 6.1.2.2. Datos de actividad | 76 |
| 6.1.2.3. Factores de emisión y conversión..... | 81 |
| 6.1.2.4. Análisis de incertidumbres..... | 83 |
| 6.1.2.5. Análisis de resultados | 83 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 6.1.2.6. | Actualización de serie temporal | 84 |
| 6.2. | Tierras de cultivo (3B2) | 85 |
| 6.2.1. | Tierras de cultivo que permanecen como tierras de cultivo (3B2a) | 85 |
| 6.2.1.1. | Método de cálculo | 85 |
| 6.2.1.2. | Datos de actividad | 90 |
| 6.2.1.3. | Factores de emisión y conversión..... | 94 |
| 6.2.1.4. | Análisis de incertidumbres..... | 95 |
| 6.2.1.5. | Análisis de resultados | 96 |
| 6.2.1.6. | Actualización de serie temporal | 97 |
| 6.2.2. | Tierras convertidas en tierras de cultivo (3B2b) | 97 |
| 6.2.2.1. | Método de cálculo | 97 |
| 6.2.2.2. | Datos de actividad | 104 |
| 6.2.2.3. | Factores de emisión y conversión..... | 109 |
| 6.2.2.4. | Análisis de incertidumbres..... | 111 |
| 6.2.2.5. | Análisis de resultados | 112 |
| 6.2.2.6. | Actualización de serie temporal | 112 |
| 6.3. | Pastizales (3B3) | 113 |
| 6.3.1. | Pastizales que permanecen como pastizales (3B3a)..... | 113 |
| 6.3.1.1. | Método de cálculo | 113 |
| 6.3.1.2. | Datos de actividad | 116 |
| 6.3.1.3. | Factores de emisión y conversión..... | 118 |
| 6.3.1.4. | Análisis de incertidumbres..... | 119 |
| 6.3.1.5. | Análisis de resultados | 119 |
| 6.3.2. | Tierras convertidas en pastizales (3B3b)..... | 119 |
| 6.3.2.1. | Método de cálculo | 119 |
| 6.3.2.2. | Datos de actividad | 125 |
| 6.3.2.3. | Factores de emisión y conversión..... | 130 |
| 6.3.2.4. | Análisis de incertidumbres..... | 132 |
| 6.3.2.5. | Análisis de resultados | 132 |
| 6.3.2.6. | Actualización de serie temporal | 133 |
| 6.4. | Humedales (3B4)..... | 134 |
| 6.5. | Asentamientos (3B5)..... | 134 |
| 6.5.1. | Asentamientos que permanecen como asentamientos (3B5a) | 134 |
| 6.5.1.1. | Método de cálculo | 134 |
| 6.5.2. | Tierras convertidas en asentamientos (3B5b)..... | 135 |
| 6.5.2.1. | Método de cálculo | 135 |
| 6.5.2.2. | Datos de actividad | 139 |
| 6.5.2.3. | Factores de emisión y conversión..... | 143 |
| 6.5.2.4. | Análisis de incertidumbres..... | 145 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 6.5.2.5. | Análisis de resultados | 145 |
| 6.5.2.6. | Actualización de serie temporal | 146 |
| 6.6. | Otras tierras (3B6)..... | 147 |
| 6.6.1. | Otras tierras que permanecen como otras tierras (3B6a) | 147 |
| 6.6.2. | Tierras convertidas en otras tierras (3B6b)..... | 147 |
| 6.6.2.1. | Método de cálculo | 147 |
| 6.6.2.2. | Datos de actividad | 150 |
| 6.6.2.3. | Factores de emisión y conversión..... | 154 |
| 6.6.2.4. | Análisis de incertidumbres..... | 154 |
| 6.6.2.5. | Análisis de resultados | 154 |
| 6.6.2.6. | Actualización de serie temporal | 155 |
| 6.7. | Quemado de biomasa (3C1) | 156 |
| 6.7.1. | Quema de biomasa en tierras forestales (3C1a) | 156 |
| 7. | CONTROL DE CALIDAD Y GARANTÍA DE LA CALIDAD | 157 |
| 7.1. | Control de la calidad (CC)..... | 157 |
| 7.2. | Garantía de la calidad (GC) | 158 |
| 8. | PLAN DE MEJORA..... | 159 |
| 9. | BIBLIOGRAFIA..... | 161 |
| 10. | ANEXOS | 163 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Definiciones de las categorías de uso de la tierra..... | 32 |
| Tabla 2. Superficie de ecozonas y su porcentaje a nivel nacional en el bioma Amazónico (ha) | 34 |
| Tabla 3. Matriz de uso y cambio de uso de la tierra para la ecozona selva alta accesible en el año 2019 (ha) | 37 |
| Tabla 4. Matriz de uso y cambio de uso de la tierra para la ecozona selva alta de difícil acceso en el año 2019 (ha) | 37 |
| Tabla 5. Matriz de uso y cambio de uso de la tierra para la ecozona selva baja en el año 2019 (ha) | 38 |
| Tabla 6. Matriz de uso y cambio de uso de la tierra para la ecozona zona hidromórfica en el año 2019 (ha) | 38 |
| Tabla 7. Matriz de uso y cambio de uso de la tierra para la ecozona costa en el periodo 2016 – 2019 (ha) | 39 |
| Tabla 8. Matriz de uso y cambio de uso de la tierra para la ecozona sierra en el periodo 2016 – 2019 (ha) | 39 |
| Tabla 9. Matriz de uso y cambio de uso de la tierra para la ecozona costa en el periodo 2000 – 2019 (ha) | 40 |
| Tabla 10. Matriz de uso y cambio de uso de la tierra para la ecozona sierra en el periodo 2000 – 2019 (ha) | 40 |
| Tabla 11. Categorías, reservorios y gases evaluados en el RAGEI 2019 | 41 |
| Tabla 12. Gases estimados en el RAGEI 2019 | 42 |
| Tabla 13. Emisiones de GEI del sector UTCUTS en el año 2019 (GgCO ₂ eq)..... | 44 |
| Tabla 14. Tendencia de las emisiones de GEI del sector UTCUTS para el periodo 2008- 2019 (GgCO ₂ eq) 48 | 48 |
| Tabla 15. Serie temporal de emisiones de GEI originales y actualizadas (GgCO ₂ eq) | 51 |
| Tabla 16. Niveles de incertidumbres | 52 |
| Tabla 17. Descripción de los datos de actividad para el cálculo de las emisiones en tierras forestales que permanecen como tierras forestales. | 59 |
| Tabla 18. Superficie de bosque nativo con certificación de manejo forestal sostenible en el periodo 2014 -2019 (GgCO ₂ eq)..... | 63 |
| Tabla 19. Factores de emisión empleados para estimar ganancias y pérdidas de carbono del reservorio de biomasa | 65 |
| Tabla 20. Incertidumbre de las emisiones de las tierras forestales que permanecen como tierras forestales. | 66 |
| Tabla 21. Descripción de los datos de actividad para el cálculo de las emisiones en tierras convertidas en tierras forestales..... | 77 |
| Tabla 22. Proporción de plantaciones forestales instaladas dentro de las tierras convertidas en tierras forestales | 80 |
| Tabla 23 Factores de emisión empleados para estimar emisiones de GEI en el reservorio biomasa | 81 |
| Tabla 24 Factores de emisión empleados para estimar emisiones de GEI en el reservorio materia orgánica muerta | 82 |
| Tabla 25 Factores de emisión empleados para estimar emisiones de GEI en el reservorio carbono orgánico del suelo. | 82 |
| Tabla 26. Incertidumbre de las emisiones de las tierras forestales que permanecen como tierras forestales. | 83 |
| Tabla 27. Descripción de los datos de actividad para el cálculo de las emisiones en tierras de cultivo que permanecen como tierras de cultivo..... | 91 |
| Tabla 28. Factores de emisión empleados para estimar ganancias y pérdidas de carbono del reservorio de biomasa | 94 |
| Tabla 29 Factores de emisión empleados para estimar emisiones de GEI en el reservorio carbono orgánico del suelo. | 95 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 30. Incertidumbre de las emisiones de las tierras de cultivo que permanecen como tierras de cultivo. | 95 |
| Tabla 31. Descripción de los datos de actividad para el cálculo de las emisiones en tierras convertidas en tierras de cultivo. | 105 |
| Tabla 32 Factores de emisión empleados para estimar emisiones de GEI en el reservorio biomasa | 109 |
| Tabla 33. Factores de emisión empleados para estimar emisiones de GEI en el reservorio materia orgánica muerta. | 110 |
| Tabla 34 Factores de emisión empleados para estimar emisiones de GEI en el reservorio carbono orgánico del suelo. | 111 |
| Tabla 35. Incertidumbre de las emisiones de CO ₂ en tierras que se convierten en tierras de cultivo | 111 |
| Tabla 36. Descripción de los datos de actividad para el cálculo de las emisiones en pastizales que permanecen como pastizales | 117 |
| Tabla 37 Factores de emisión empleados para estimar emisiones de GEI en el reservorio carbono orgánico del suelo. | 118 |
| Tabla 38. Descripción de los datos de actividad para el cálculo de las emisiones en tierras convertidas en pastizales. | 126 |
| Tabla 39 Factores de emisión empleados para estimar emisiones de GEI en el reservorio biomasa | 130 |
| Tabla 40. Factores de emisión empleados para estimar emisiones de GEI en el reservorio materia orgánica muerta | 131 |
| Tabla 41. Factores de emisión empleados para estimar emisiones de GEI en el reservorio carbono orgánico del suelo. | 131 |
| Tabla 42. Incertidumbre de las emisiones de CO ₂ en tierras que se convierten en pastizales. | 132 |
| Tabla 43. Descripción de los datos de actividad para el cálculo de las emisiones en tierras convertidas en asentamientos | 140 |
| Tabla 44 Factores de emisión empleados para estimar emisiones de GEI en el reservorio biomasa | 143 |
| Tabla 45. Factores de emisión empleados para estimar emisiones de GEI en el reservorio materia orgánica muerta | 144 |
| Tabla 46. Incertidumbre de las emisiones de CO ₂ en tierras que se convierten en asentamientos | 145 |
| Tabla 47. Descripción de los datos de actividad para el cálculo de las emisiones en tierras convertidas en otras tierras | 151 |
| Tabla 48. Factores de emisión empleados para estimar emisiones de GEI en el reservorio biomasa | 154 |
| Tabla 49. Incertidumbre de las emisiones de CO ₂ en tierras que se convierten en otras tierras | 154 |
| Tabla 50. Procedimientos de Control de la Calidad específicos aplicados | 157 |
| Tabla 51. Hallazgos urgentes resultantes de la Garantía de la Calidad y acciones realizadas | 158 |
| Tabla 52. Acciones de mejora planificadas para futuros RAGEI | 159 |
| Tabla 53. Procedimientos generales de control de calidad | 164 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Deforestación antrópica en el bioma Amazonía (2010 – 2019). | 26 |
| Figura 2. Estructura de arreglos institucionales para elaboración del RAGEI 2019 | 30 |
| Figura 3. Proceso metodológico para la obtención de la información de superficies de uso para Costa y Sierra | 36 |
| Figura 4. Emisiones y remociones de GEI por subcategorías en el año 2019 (GgCO ₂ eq) | 43 |
| Figura 5. Distribución de emisiones y remociones de GEI por reservorios de carbono en el año 2019 (GgCO ₂ eq) | 46 |
| Figura 6. Tendencia de las emisiones de GEI del sector UTCUTS para el periodo 2008- 2019 (GgCO ₂ eq).47 | |
| Figura 7. Serie temporal de emisiones de GEI (GgCO ₂ eq) originales y actualizadas | 50 |
| Figura 8. Árbol de decisiones genérico para la identificación del nivel apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en biomasa en las tierras forestales que permanecen como tierras forestales. | 55 |
| Figura 9. Superficie de tierras forestales que permanecen como tierras forestales en cuatro ecozonas amazónicas, para el periodo 2008 – 2019 (ha). | 62 |
| Figura 10. Superficie de tierras forestales que permanecen como tierras forestales en costa y sierra, para los periodos 2005–2010, 2010-2012, 2012-2014, 2014-2016, 2016-2019 (ha) | 63 |
| Figura 11. Producción de madera rolliza por especie (m ³ /año) del 2008 al 2019 | 64 |
| Figura 12. Consumo anual de leña a nivel nacional para el periodo 2008 – 2019 (m ³) | 65 |
| Figura 13. Distribución de las emisiones y remociones de GEI por reservorios de carbono de las tierras forestales que permanecen como tierras forestales en el año 2019 (GgCO ₂ eq) | 67 |
| Figura 14. Tendencia de emisiones de GEI para la subcategoría tierras forestales que permanecen como tierras forestales en el período 2008 – 2019 (GgCO ₂ eq)..... | 67 |
| Figura 15. Árbol de decisiones genérico para la identificación del nivel apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en biomasa en las tierras convertidas en tierras forestales. | 69 |
| Figura 16. Árbol de decisiones genérico para la identificación del nivel apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en materia orgánica muerta en las tierras convertidas en forestales. | 72 |
| Figura 17. Árbol de decisiones genérico para la identificación del nivel apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en suelos minerales para las tierras convertidas en tierras forestales..... | 74 |
| Figura 18. Superficie anual de tierras que se convierten en tierras forestales en cuatro ecozonas amazónicas, para el periodo 2008 – 2019 (ha). | 79 |
| Figura 19. Superficie acumulada en 20 años de tierras que se convierten en tierras forestales en las ecozonas costa y sierra (ha) | 80 |
| Figura 20. Distribución de las emisiones y remociones de CO ₂ por reservorios de carbono en las tierras convertidas en tierras forestales en el año 2019 (GgCO ₂ eq) | 84 |
| Figura 21. Tendencia de emisiones de GEI para la categoría tierras que se convierten en tierras forestales en el período 2008 – 2019 (GgCO ₂ eq)..... | 84 |
| Figura 22. Árbol de decisiones genérico para la identificación del nivel apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en biomasa en las tierras de cultivo que permanecen como tierras de cultivo. | 86 |
| Figura 23. Árbol de decisiones genérico para la identificación del nivel apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en suelos minerales en tierras de cultivo que permanecen como tierras de cultivo. | 88 |
| Figura 24. Superficie anual instalada de cultivos perennes, a nivel nacional (ha) | 93 |
| Figura 25. Superficie acumulada en 20 años de tierras de cultivo que permanecen como tierras de cultivo en las ecozonas costa y sierra | 94 |
| Figura 26. Remociones en tierras de cultivo que permanecen como tierras de cultivo por reservorio de carbono, 2019..... | 96 |

| | |
|--|-----|
| Figura 27. Tendencia de emisiones de GEI para la subcategoría tierras de cultivo que permanecen como tierras de cultivo para el período 2008 – 2019 (GgCO ₂ eq)..... | 97 |
| Figura 28. Árbol de decisiones genérico para la identificación del nivel apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en biomasa en tierras convertidas en tierras de cultivo. | 98 |
| Figura 29. Árbol de decisiones genérico para la identificación del nivel apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en materia orgánica muerta en tierras convertidas en tierras de cultivo. | 100 |
| Figura 30. Árbol de decisiones genérico para la identificación del nivel apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en suelos minerales en tierras convertidas en tierras de cultivo. | 102 |
| Figura 31. Superficie de anual de tierras convertidas en tierras de cultivo en cuatro ecozonas amazónicas, para el período 2008 – 2019 (ha) | 107 |
| Figura 32. Superficie de tierras que se convierten en tierras de cultivo en costa y sierra, para los periodos 2005–2010, 2010-2012, 2012-2014, 2014-2016, 2016-2019 | 108 |
| Figura 33. Superficie acumulada en 20 años de tierras que se convierten en tierras de cultivo en las ecozonas costa y sierra..... | 109 |
| Figura 34. Distribución de las emisiones y remociones de CO ₂ por reservorios de carbono, 2019 | 112 |
| Figura 35. Tendencia de emisiones de GEI para la subcategoría tierras convertidas en tierras de cultivo en el período 2008 – 2019 (GgCO ₂ eq)..... | 113 |
| Figura 36. Árbol de decisiones genérico para la identificación del nivel apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en suelos minerales por pastizales que permanecen como pastizales. ... | 115 |
| Figura 37. Superficie acumulada en 20 años de pastizales que permanecen como pastizales en las ecozonas costa y sierra..... | 118 |
| Figura 38. Árbol de decisiones genérico para la identificación del nivel apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en biomasa en tierras convertidas en pastizales..... | 120 |
| Figura 39. Árbol de decisiones genérico para la identificación del nivel apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en materia orgánica muerta en tierras que se convierten en pastizales. | 122 |
| Figura 40. Árbol de decisiones genérico para la identificación del nivel apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en suelos minerales en tierras convertidas en pastizales. | 124 |
| Figura 41. Superficie de anual de tierras convertidas en pastizales en cuatro ecozonas amazónicas, para el periodo 2008 – 2019 (ha). | 128 |
| Figura 42. Superficie de anual de tierras que se convierten en pastizales en costa y sierra, para los periodos 2005–2010, 2010-2012, 2012-2014, 2014-2016, 2016-2019 | 129 |
| Figura 43. Superficie acumulada en 20 años de tierras que se convierten en pastizales en las ecozonas costa y sierra..... | 129 |
| Figura 44. Distribución de las emisiones y remociones de CO ₂ por reservorios de carbono, 2019. | 133 |
| Figura 45. Tendencia de emisiones de GEI para la subcategoría tierras convertidas en pastizales para el período 2008 – 2019 (GgCO ₂ eq)..... | 133 |
| Figura 46. Árbol de decisiones genérico para la identificación del nivel apropiado para estimar los..... | 136 |
| Figura 47. Árbol de decisiones genérico para la identificación del nivel apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en materia orgánica muerta en tierras convertidas en tierras asentamientos. | 138 |
| Figura 48. Superficie de anual de tierras convertidas en asentamientos en cuatro ecozonas amazónicas, para el periodo 2008 – 2019 (ha). | 142 |
| Figura 49. Superficie de anual de tierras que se convierten en asentamientos en costa y sierra, para los periodos 2005–2010, 2010-2012, 2012-2014, 2014-2016, 2016-2019 (ha)..... | 143 |
| Figura 50 Emisiones en tierras convertidas en asentamientos por reservorio de carbono, 2019 | 146 |
| Figura 51. Tendencia de emisiones de GEI para la subcategoría tierras que se convierten en asentamientos para el período 2008 – 2019 (GgCO ₂ eq)..... | 146 |
| Figura 52. Árbol de decisiones genérico para la identificación del nivel apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en biomasa en tierras convertidas en otras tierras. | 148 |

| | |
|--|-----|
| Figura 53. Superficie de anual de tierras convertidas en otras tierras en cuatro ecozonas amazónicas, para el periodo 2008 – 2019 (ha). | 153 |
| Figura 54. Superficie de tierras que se convierten en otras tierras en costa y sierra, para los periodos 2005–2010, 2010-2012, 2012-2014, 2014-2016, 2016-2019 (ha)..... | 153 |
| Figura 55. Distribución de las emisiones y remociones de CO ₂ por reservorios de carbono, 2019. | 155 |
| Figura 56. Tendencia de emisiones de GEI para la subcategoría tierras que se convierten en otras tierras para el periodo 2008 – 2019 (GgCO ₂ eq)..... | 155 |

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

| | |
|----------------------|--|
| A | Asentamientos |
| AAA | Arcilla de alta actividad |
| ABA | Arcilla de baja actividad |
| AGB | Biomasa sobre el suelo (del inglés <i>Aboveground Biomass</i>) |
| AFOLU | Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (del inglés <i>Agriculture, Forestry and Other Land Uses</i>) |
| BCEF | Factor de expansión y conversión de biomasa (del inglés <i>Biomass Conversion and Expansion Factors</i>) |
| BGB | Biomasa bajo el suelo (<i>Bellow-ground Biomass</i>) |
| Bv | Biomasa viva |
| C | Carbono |
| CC | Control de la calidad |
| CEO | <i>Collect Earth Online</i> |
| CH ₄ | Metano |
| CMNUCC | Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático |
| CO ₂ | Dióxido de carbono |
| CO ₂ eq | Dióxido de carbono equivalente |
| COS | Carbono orgánico del suelo |
| COS _{ref} | Valor de referencia de las reservas de carbono orgánico del suelo |
| DB | Densidad básica |
| DGCCD | Dirección General de Cambio Climático y Desertificación |
| DMGEI | Dirección de Mitigación de Gases de Efecto Invernadero |
| DS | Decreto Supremo |
| ESA | Agencia Espacial Europea (del inglés <i>European Space Agency</i>) |
| FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (del inglés <i>Food and Agriculture Organization</i>) |
| FAOSTAT | Base de datos estadísticos corporativos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (<i>del inglés The Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database</i>) |
| FC | Fracción de carbono |
| FE | Factor de emisión |
| FEB | Factor de expansión de la biomasa |
| F _i | Factor por defecto de cambio de las existencias para entrada (del inglés <i>input</i>) |
| F _{LU} | Factor por defecto de cambio de las existencias para uso de la tierra (del inglés <i>land use</i>) |
| F _{MG} | Factor por defecto de cambio de las existencias para gestión (del inglés <i>management</i>) |
| FSC | Consejo de Administración Forestal (del inglés <i>Forest Stewardship Council</i>) |
| GC | Garantía de la calidad |
| GEI | Gases de efecto invernadero |
| Gg | Gigagramo |
| GgCH ₄ | Gigagramos de metano |
| GgCO ₂ eq | Gigagramos de dióxido de carbono equivalente |
| GgN ₂ O | Gigagramos de óxido nitroso |
| GTA | Grupo técnico de apoyo para la elaboración del RAGEI del sector UTCUTS |
| H | Humedales |
| ha | Hectárea |
| INDECI | Instituto Nacional de Defensa Civil |
| INEI | Instituto Nacional de Estadística e Informática |
| INFOCARBONO | Disposiciones para la elaboración del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero |
| IB | Información base |
| IP | Información procesada |
| INGEI | Inventario nacional de gases de efecto invernadero |

| | |
|----------------|---|
| IPCC | Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>) |
| kg | Kilogramo |
| LFFS | Ley Forestal y de Fauna Silvestre |
| m | Metros |
| m ² | Metros cuadrados |
| m ³ | Metros cúbicos |
| MIDAGRI | Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego |
| MINAM | Ministerio del Ambiente |
| MJ | Mega joules |
| MMCB | Módulo de Monitoreo de la Cobertura de Bosques |
| MOM | Materia orgánica muerta |
| m.s | Materia seca |
| m.s.n.m. | Metros sobre el nivel del mar |
| N | Nitrógeno |
| NA | No aplica |
| NE | No estimado |
| NO | No ocurre |
| NR | No realizado |
| NREF | Nivel de Referencia de Emisiones Forestales por Deforestación Bruta del Perú en el Bioma Amazónico |
| OBP2000 | Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero |
| OBP2003 | Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura |
| OEFA | Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental |
| OT | Otras tierras |
| P | Pastizales |
| GWP | Potencial de calentamiento atmosférico (GWP en inglés, <i>Global Warming Potential</i>) |
| PMACC | Planes de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático |
| PNCBMCC | Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático |
| RAGEI | Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero |
| s/f | Sin fecha |
| SAA | Selva alta accesible |
| SADA | Selva alta de difícil acceso |
| SB | Selva baja |
| SERFOR | Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre |
| SIG | Sistemas de Información Geográfica |
| SNIFFS | Sistema Nacional de Información Forestal y de Fauna Silvestre |
| TACCC | Transparencia, precisión, exhaustividad, consistencia, comparabilidad (del inglés <i>transparency, accuracy, completeness, consistency, comparability</i>) |
| TC | Tierras de cultivo |
| TF | Tierras forestales |
| TJ | Tera joules |
| T | Toneladas |
| UNALM | Universidad Nacional Agraria la Molina |
| UTCUTS | Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura |
| ZH | Zona hidromórfica |

RESUMEN EJECUTIVO

El Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero del sector Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura del año 2019 (RAGEI 2019), describe el proceso de estimación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de la serie de años desde el 2008 hasta el 2019 para las subcategorías tierras forestales, tierras de cultivo, pastizales, asentamientos y otras tierras, aplicando las Directrices del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) del 2006 para los inventarios nacionales de GEI (Directrices del IPCC de 2006).

Las emisiones del año 2019 se han estimado en 100,794.05 GgCO₂eq. La principal fuente de emisión fue la subcategoría tierras de cultivo con 62,542.20 GgCO₂eq que representa el 62.05% del total, seguida por la subcategoría pastizales con 24,463.12 GgCO₂eq, equivalente al 24.27%. Las demás subcategorías como tierras forestales (6.23%), asentamientos (7.02%) y otras tierras (0.42%) representaron un total de 13.68% de las emisiones de GEI del sector.

Asimismo, se han actualizado las estimaciones de GEI correspondientes a la serie de años desde el 2008 hasta el 2019; esto tomando en consideración las actualizaciones de los datos de actividad, factores de emisión y mejoras metodológicas aplicadas.

Es así que, respecto a la evolución de emisiones de GEI, se tiene que las emisiones del año 2019 se incrementaron en 33.89% respecto al año 2018 y se redujeron en 3.25% respecto al 2008. Asimismo, la tendencia de emisiones es variable, con picos de emisiones en los años 2008, 2013, 2016 y 2019. Este comportamiento está asociado principalmente con la deforestación ocurrida en la Amazonía, que está relacionada con los cambios de uso desde tierras forestales hacia tierras de cultivo, pastizales y asentamientos.

El RAGEI 2019 contiene mejoras respecto a las estimaciones realizadas anteriormente. Esto gracias al trabajo conjunto realizado por el Ministerio del Ambiente y el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, a través del Grupo Técnico de Apoyo (GTA) para la elaboración del RAGEI del sector UTCUTS. Este arreglo institucional ha permitido una revisión exhaustiva del documento por parte de los equipos miembros. Asimismo, entre las mejoras incluidas en el presente RAGEI, se resalta el cambio en el método de detección de cambios de uso de la tierra, a través de la aplicación del método del muestreo sistemático, así como el uso de factores de emisión que tienen como insumo principal a los resultados del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (INFFS) que han sido robustecidos con otros estudios científicos, y que además cuenta con un valor de incertidumbre asociado. Todas estas acciones han permitido generar un RAGEI más exhaustivo, preciso y de mejor calidad.

1. INTRODUCCIÓN

El Ministerio del Ambiente (MINAM), mediante el Decreto Supremo N°013-2014-MINAM aprobó las disposiciones para la elaboración del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INFOCARBONO), cuya finalidad es establecer un conjunto de acciones orientadas a la recopilación, evaluación y sistematización de información referida a la emisión y remoción de Gases de Efecto Invernadero (GEI), que contribuirá a la formulación de políticas, estrategias y planes de desarrollo que reduzcan las emisiones de GEI y al cumplimiento de los compromisos asumidos por el país con la suscripción de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC).

Como parte de las disposiciones del INFOCARBONO, se establece la elaboración de los Reportes Anuales de Gases de Efecto invernadero (RAGEI) de cada uno de los cinco sectores comprendidos en las Directrices del IPCC de 2006, siendo los mismos el sector Energía, el sector Procesos industriales y uso de productos (PIUP), el sector Agricultura, el sector Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS), y el sector Desechos. Estos reportes son responsabilidad de las entidades competentes, con acompañamiento técnico de MINAM.

El RAGEI 2019 del sector UTCUTS corresponde al año 2019 e incluye la cuantificación de las emisiones y remociones de GEI generadas en la serie de años que va desde el 2008 hasta el 2019.

Para la elaboración del RAGEI del sector UTCUTS, se conforma el Grupo Técnico de Apoyo (GTA) en el cual participan la Dirección General de Cambio Climático y Desertificación (DGCCD) y el Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación al Cambio Climático (PNCBMCC) del Ministerio del Ambiente (MINAM), y el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI). Este grupo constituye el arreglo institucional para la elaboración del RAGEI del sector UTCUTS, como un trabajo colaborativo entre el MINAM y el MIDAGRI.

Los resultados obtenidos son de gran relevancia para el sector, ya que permiten identificar cuáles son las actividades que generan mayores emisiones de GEI en la actualidad y además permite evaluar sus respectivas tendencias históricas. En ese sentido, el RAGEI se consolida como un instrumento de gestión importante para la toma de decisiones en lo que refiere a la mitigación del cambio climático para el Perú, en el marco de sus compromisos asumidos ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) y del Acuerdo de París, al estar comprometido a reducir los niveles de emisiones de GEI, como parte de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés).

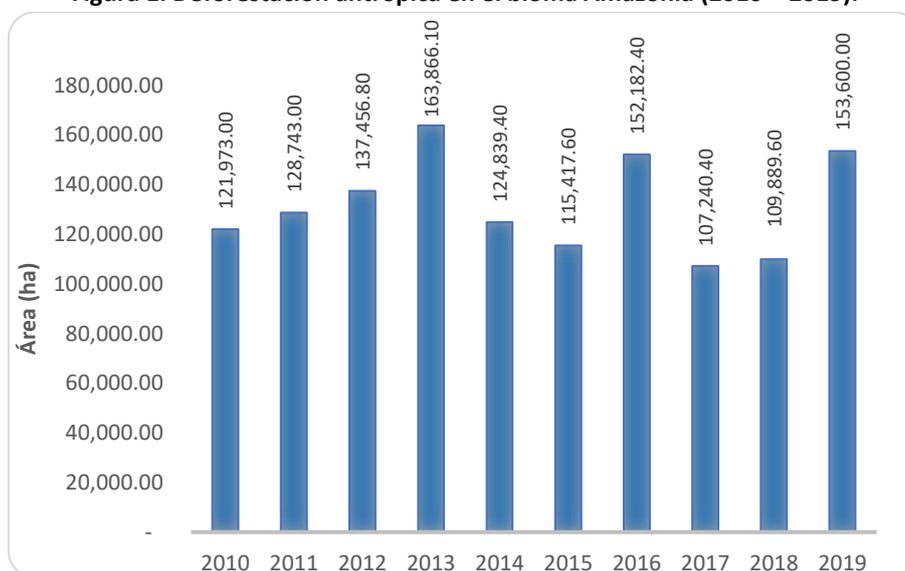
2. SITUACIÓN ACTUAL DEL SECTOR

2.1. Deforestación del bioma Amazónico

Los bosques húmedos amazónicos representan el ecosistema de mayor superficie en el país con una extensión de 68,324,569 hectáreas en el año 2019, lo que constituye más del 50% del territorio nacional. Asimismo, de acuerdo con el Nivel de Referencia de Emisiones Forestales por deforestación bruta del Perú en el bioma Amazónico, en adelante NREF (MINAM 2022), durante el periodo desde el 2010 al 2019 se estima un promedio histórico de 131,520.79 hectáreas de deforestación.

La Figura 1 presenta la deforestación antrópica en la Amazonía durante el periodo que va desde el 2010 hasta el 2019, siendo los años 2013, 2016 y 2019 los que presentan mayor cantidad de hectáreas deforestadas. Respecto al año 2019, la deforestación fue de 153,600.00 hectáreas, siguiendo la tendencia ascendente que empieza desde el 2017.

Figura 1. Deforestación antrópica en el bioma Amazonía (2010 – 2019).



Fuente: MINAM 2022

En la Amazonía se ha identificado como deforestación antrópica aquella que se genera por la conversión de tierras forestales a tierras de cultivo, pastizales y asentamientos. Es así que, para el período del 2010 al 2019, la conversión de tierras forestales a tierras de cultivo por la actividad agrícola ha causado el 73% de la deforestación, con una tendencia creciente año tras año; seguido de la conversión de tierras forestales a pastizales causada por la expansión agropecuaria, que representa el 22%, y la conversión de tierras forestales a asentamientos, a través de la expansión de infraestructura, centros poblacionales, y actividades extractivas ilegales e informales, que representa el 5% (MINAM 2022).

Por otro lado, se ha identificado la pérdida de bosque por causas naturales, la cual se da cuando las tierras forestales pasan a ser humedales, debido a la dinámica meándrica de los ríos que cubren parches de bosque y cuando se registran inundaciones de áreas cubiertas por bosque. Otro motivo de pérdida natural de bosque son los deslizamientos en zonas montañosas con pendientes fuertes que son ocasionados generalmente por lluvias intensas. Es así que, se han

identificado pérdidas de bosques por perturbaciones naturales, que en promedio equivalen al 8% anual de la pérdida total de bosques en la Amazonía. Estas pérdidas identificadas se encuentran excluidas de la contabilidad de emisiones por deforestación ya que puede llevar a grandes sobreestimaciones anuales (MINAM 2022).

2.2. División del territorio nacional

A fin de abarcar todo el territorio nacional, el RAGEI del sector UTCUTS ha tomado en cuenta la división del territorio nacional en seis regiones ecológicas o ecozonas. Estas son definidas a partir de criterios fisiográficos, fisonómicos y florísticos (ecosistemas y cobertura vegetal), de almacenamiento de carbono (productividad primaria), de localización de humedales y su accesibilidad, y son la base para la planificación y ejecución del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (MINAGRI 2016).

Las seis ecozonas son definidas a continuación:

- **Selva alta accesible:** Tiene una extensión de 10,972,886.67 ha que representa el 8.5 % del país. Se extiende de norte a sur del país en la parte oriental de la cordillera de los Andes, en el rango de los 500 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) hasta el límite de ecozona de Sierra a los 3,800 m.s.n.m. La cubre una superficie de bosque de 6,772,205.68 ha en 2019, con vegetación de montaña con alta cobertura y árboles grandes, de fustes rectos y copas amplias de hasta 35 m en las elevaciones más bajas, y árboles bajos, de fustes irregulares de hasta 10 m en las elevaciones más altas.
- **Selva alta de difícil acceso:** Tiene una extensión de 11,132,433.90 ha, que representa el 8.6% del país. Su rango altitudinal va desde los 500 m.s.n.m. hasta los 3,800 m.s.n.m. La cubre una superficie de bosques de 10,439,319 ha en 2019. Presenta condiciones fisonómicas y de distribución florística similar al de la selva alta accesible. Su particularidad es que posee una fisiografía accidentada, generalmente montañosa, de fuertes pendientes, lo que la hace de difícil acceso.
- **Selva baja:** Tiene una extensión de 47,472,740.55 ha, que representa el 36.7% del país. Se extiende en la parte oriental del Perú y su rango altitudinal va desde los 100 m.s.n.m. hasta los 500 m.s.n.m. Es la ecozona con mayor superficie de bosque, con 44,122,122.28 ha en 2019, y su vegetación se compone predominantemente de árboles, que pueden llegar hasta los 45 metros de altura con copas amplias y frondosas.
- **Zona Hidromórfica:** Tiene una extensión de 8,730,739.62 ha, que representa el 6.75% del país. Se localiza dentro del departamento de Loreto. Los bosques cubren 6,990,922.05 ha en 2019, en donde dominan las palmeras de aguaje (*Mauritia flexuosa*) que forman un tipo de vegetación homogénea conocida como “aguajal”. También presentan vegetación asociada al renaco (*Ficus* sp.) y diversas palmeras con algunas formaciones vegetales con cubierta herbácea arbustiva de las familias Aráceas y Poáceas. Comparte otras coberturas vegetales con presencia de árboles que se encuentran también en la selva baja. Su accesibilidad es limitada por la predominancia de las zonas pantanosas.

- **Costa:** Tiene una extensión de 15,130,116.90 ha, que representa el 11.6% del país. Se desplaza a lo largo del litoral peruano en más de 3,000 km. Se trata de una zona predominantemente desértica, que va desde los 0 hasta los 2,000 m.s.n.m. Presenta una cobertura vegetal arbórea rala tipo seco, de porte bajo y ramificado en la zona norte del país. Además, se concentra una cobertura vegetal de bosque seco tipo sabana, algarrobal ribereño, bosque seco de piedemonte, bosque seco de lomadas, colinas bajas, montañas y manglares, las que se complementan con las lomas (MIDAGRI 2016).
- **Sierra:** Tiene una extensión de 35,987,687.46 ha, que representa aproximadamente el 27.44% del país. Se desplaza de norte a sur, a desde los 2,000 m.s.n.m. en la zona occidental hasta los más de 6,000 m.s.n.m. en las zonas de nivales, y culmina en la zona oriental cerca de los 3,800 m.s.n.m., el límite con la Amazonía. Presenta predominantemente una cobertura vegetal de pajonal altoandino y páramos. La cobertura arbórea diseminada de porte baja es de tipo relictos altos y meso andinos homogéneos con fuertes intervenciones, complementada con los bosques secos de valles interandinos ubicados en los valles de los ríos Marañón en el norte y Apurímac en el sur, y plantaciones forestales diseminadas.

2.3. Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre

El MIDAGRI, a través del SERFOR, es el responsable del diseño, operación, implementación, actualización y seguimiento del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (INFFS).

El INFFS es un instrumento que permite proveer información actualizada y confiable, en forma continua, para el desarrollo de políticas y estrategias orientadas al manejo sostenible de los recursos forestales y de la fauna silvestre, a nivel nacional y regional. Asimismo, los inventarios forestales constituyen uno de los instrumentos más importantes para el registro de información en la evaluación de recursos forestales, pues muestran el estado situacional de los bosques desde el punto de vista cuantitativo y cualitativo.

El INFFS se realiza con un diseño de muestreo sistemático no alineado, estratificado en seis ecozonas: 1) Costa, 2) Sierra, 3) Selva Alta Accesible, 4) Selva Alta Difícil, 5) Selva Baja y 6) Hidromórfica. Asimismo, para la caracterización de las ecozonas, se estableció una muestra de campo de 1,855.00 unidades de muestreo ubicadas en todo el territorio nacional. Estas UM se han agrupado en 5 paneles, donde cada panel representa el 20% de las unidades de muestreo.

3. PROCESO DE ELABORACION DEL RAGEI

3.1. Organización para la elaboración del RAGEI

La elaboración del RAGEI del sector UTCUTS es un trabajo conjunto que se encuentra a cargo del Ministerio del Ambiente (MINAM) a través de la Dirección General de Cambio Climático y Desertificación (DGCCD) y el Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación al Cambio Climático (PNCBMCC); y del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), a través del Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR).

3.2. Procedimientos y arreglos para la elaboración del RAGEI

El Decreto Supremo N° 018-2015-MINAGRI que aprueba el Reglamento para la Gestión Forestal de la Ley Forestal y de Fauna Silvestre, en su artículo 21° establece que el Sistema Nacional de Información Forestal y de Fauna Silvestre (SNIFFS) se encuentra organizado en distintos módulos. Adiciona también que por decisión del Consejo Directivo del SERFOR puede encargar la elaboración de módulos a otras entidades considerando sus competencias.

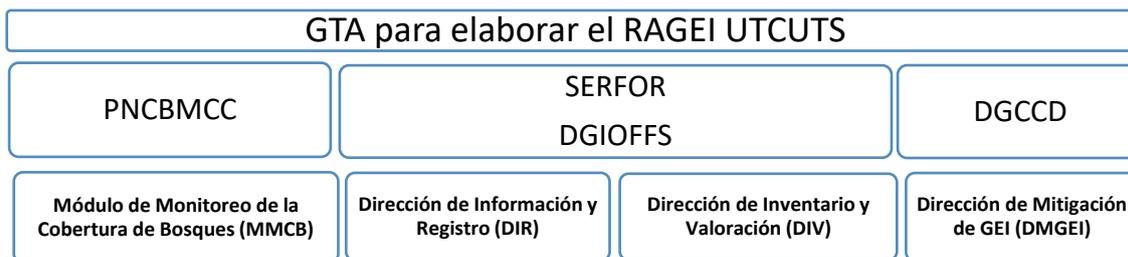
La Sexta Disposición Complementaria del Decreto Legislativo N° 1220 “Decreto Legislativo que aprueba Medidas para la Lucha Contra La Tala Ilegal”, establece que la implementación del Módulo de Monitoreo de Cobertura de Bosques (MMCB) está bajo la coordinación del MINAM en forma colaborativa con SERFOR, y que constituye parte del SNIFFS.

El Decreto Legislativo N° 1319, declara de interés nacional la implementación del SNIFFS, como herramienta del Sistema Nacional de Gestión Forestal y de Fauna Silvestre (SINAFOR), y cuya conducción, incluidos sus módulos, se encuentra a cargo del SERFOR, sin perjuicio que la coordinación de los módulos puedan estar a cargo de otras entidades conforme a ley o a lo dispuesto en las normas reglamentarias de la Ley N° 29763, Ley Forestal y de Fauna Silvestre (LFFS); asimismo, la coordinación con el MINAM respecto a la implementación del MMCB.

Por otro lado, de acuerdo con la Guía N° 08: Elaboración del Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero Sector Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura (USCUSS), aprobada con la RM N°168-2016, el MINAM, en forma colaborativa con el MIDAGRI, estará a cargo de elaborar el Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero (RAGEI). Para ello se ha creado el Grupo Técnico de Apoyo (GTA), conformado por la Dirección General de Cambio Climático y Desertificación (DGCCD), el Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático (PNCBMCC) y el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR).

La DGCCD, a través de la Dirección de Mitigación de Gases de Efecto Invernadero (DMGEI), se encarga de convocar, centralizar y dirigir las reuniones; que se llevan a cabo a lo largo del proceso de elaboración del RAGEI. Todas las decisiones se consultan y aprueban en el grupo. En la Figura 2 se presenta como está estructurado el GTA.

Figura 2. Estructura de arreglos institucionales para elaboración del RAGEI 2019



Fuente: Elaboración propia

Para el RAGEI 2019, los datos de actividad para la Amazonía se han trabajado a partir del método de muestreo sistemático, desarrollado por la DGCCD en el marco de la construcción de los datos de actividad del Nivel de Referencia de Emisiones Forestales por Deforestación Bruta del Perú en el bioma Amazónico (MINAM 2022). Este enfoque está alineado con las orientaciones de la CMNUCC y permite la determinación de superficies de las seis categorías de uso de la tierra y es un enfoque costo-efectivo, de fácil implementación y que permite generar información geoespacial histórica sobre la dinámica de cambio de uso de la tierra, permitiendo estimar el sesgo de las áreas, construyendo intervalos de confianza alrededor de estas, y reduciendo el error de muestreo. Este cambio metodológico ha sido parte de un esfuerzo del país de aplicar metodologías más actualizadas, y que está siendo incorporado por primera vez en el RAGEI del sector UTCUTS.

Por otro lado, a fin de asegurar la consistencia entre los reportes enviados a la CMNUCC, se han aplicado los factores de emisión también construidos en el marco de la actualización del NREF (MINAM 2022). Es así que, para la Amazonía se han incluido los factores de emisión que resultan de la sistematización e integración de las bases de datos del INFFS y la recopilación de estudios en ForestPlots.net. La información de ambas fuentes ha sido integrada en una base de datos y sometida a un proceso de control de calidad. Asimismo, este proceso ha permitido analizar la incertidumbre asociada a la toma de datos que permitan mejorar el análisis y robustecer los reportes nacionales del INFFS.

3.3. Control de la calidad y garantía de la calidad del RAGEI

3.3.1. Control de la calidad

El país, posee un procedimiento de control de la calidad (CC) el cual es un sistema de actividades técnicas rutinarias destinado a evaluar y mantener la calidad del inventario a medida que se compila, y es realizado por el personal encargado de compilar el inventario.

El procedimiento de control de la calidad está diseñado para lo siguiente:

- Hacer controles rutinarios y coherentes que garanticen la integridad de los datos, su corrección y su exhaustividad;
- Detectar y subsanar errores y omisiones;
- Documentar y archivar el material de los inventarios y registrar todas las actividades de control de la calidad.

Las actividades de control de la calidad comprenden métodos generales como los controles de exactitud aplicados a la adquisición de los datos y a los cálculos, y la utilización de procedimientos normalizados aprobados para los cálculos de las emisiones y remociones, las mediciones, la estimación de las incertidumbres, el archivo de la información y su reporte. Las actividades de control de la calidad comprenden también las revisiones técnicas de las categorías, los datos de la actividad, los factores de emisión, otros parámetros y métodos de estimación.

Así, se pueden diferenciar dos grandes grupos de procedimientos de control de calidad:

- Procedimientos generales, que son actividades genéricas aplicables a todas las categorías y enfoques metodológicos.
- Procedimientos de categoría específicos, que son actividades de control de calidad más específicas a las categorías analizadas.

El RAGEI 2019 ha sido elaborado bajo un permanente proceso de control de la calidad con la finalidad de evitar posibles errores, los mismos que se puedan suscitar por una mala transcripción de los datos, errores en la conversión de unidades, la ejecución de las estimaciones a través de fórmulas automatizadas, entre otros; todo ello con el fin de mejorar la transparencia, coherencia, comparabilidad, exhaustividad y exactitud del reporte.

3.3.2. Garantía de la calidad

El RAGEI 2019 pasó por un proceso de garantía de la calidad llevado a cabo por revisores expertos internacionales que cuentan con amplia experiencia en estos procesos. Es así como el RAGEI del sector UTCUTS ha sido revisado por la firma consultora *Gauss International Consulting* (en adelante, Gauss). El objetivo final del aseguramiento de la calidad es el de mejorar la transparencia, exactitud, coherencia, comparabilidad y exhaustividad del reporte, así como determinar la conformidad de los procedimientos adoptados con los compromisos internacionales e identificar las áreas en que pueden obtenerse mejoras para aumentar la calidad de las estimaciones y reducir las incertidumbres.

4. METODOLOGÍA APLICADA

4.1. Definición de bosques

En el bioma amazónico, bosque se define como un “ecosistema predominantemente arbóreo que debe tener una superficie mayor de 0.5 ha, con un ancho mínimo de 20 metros y presentar una cobertura de copas mínima del 30 %. La vegetación predominante está representada por árboles de consistencia leñosa que tienen una altura de 5 metros para la selva amazónica”.

Esta definición es consistente con la definición de bosque del NREF (MINAM 2022), la cual se basa en la LFFS y se alinea con el marco metodológico del INFFS.

En el caso de los biomas de costa y sierra, la definición de bosque que otorga la LFFS, y que se alinea con la definición del INFFS, es la siguiente: “Ecosistema predominantemente arbóreo que debe tener una superficie mayor de 0.5 ha, con un ancho mínimo de 20 metros y presentar una cobertura de copas mínima del 10 %. La vegetación predominante está representada por árboles de consistencia leñosa que tienen una altura mínima de 2 metros en su estado adulto” (adaptada de MIDAGRI 2016).

4.2. Definiciones de las categorías de uso de la tierra

Las categorías de uso de la tierra fueron definidas en base a las Directrices del IPCC de 2006. En la Tabla 1 se describen las categorías de uso de la tierra que se componen el país:

Tabla 1. Definiciones de las categorías de uso de la tierra

| Uso de la tierra | Definición |
|---------------------------|---|
| Tierras forestales | Se componen de la vegetación del Perú que cumple con la definición de bosque establecida. |
| Tierras de cultivo | Comprenden las tierras de cultivo sin árboles y las tierras de cultivo con árboles. - Las tierras de cultivo sin árboles son tierras dedicadas principalmente a cultivos anuales o de corta rotación. - Las tierras de cultivo con árboles son tierras con la presencia de especies de porte arbóreo, que se componen de cultivos permanentes como frutales, plantaciones de palma aceitera, sistemas agroforestales y sistemas agrosilvopastoriles. |
| Pastizales | Comprenden las praderas sin árboles de origen antrópico, las praderas con árboles de origen antrópico y las praderas de vegetación natural. Son pastizales y tierras de pastoreo que no están contempladas dentro de las tierras de cultivo. Las praderas incluyen tierras con un uso intensivo de manejo o tierras naturales de gran extensión como sabanas y pastizales. La vegetación dominante son pastos perenes y el pastoreo suele ser la actividad más común para el uso de estas tierras. |
| Humedales | Comprenden los cuerpos de agua y las coberturas inundables en no bosque. Son tierras que están cubiertas o saturadas por agua durante todo el año y que no caen dentro de las categorías de tierras forestales, tierras de cultivo o pastizales. |
| Asentamientos | Incluyen las áreas artificiales sin árboles, las áreas artificiales con árboles y las áreas mineras. Suelen ser las ciudades, poblados, incluyendo el sistema vial e infraestructura |

| Uso de la tierra | Definición |
|----------------------|---|
| Otras tierras | <p>Incluye tierras donde el uso de suelo no abarca tierras forestales, tierras de cultivos, pastizales, humedales o asentamientos. Puede incluir áreas como desiertos, roca, suelo desnudo o hielo.</p> <p>En la Amazonía se identifican las otras tierras de origen natural que son:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Deslizamientos naturales ocurridos en zonas de alta pendiente en bosque natural, - Las playas de ríos que ocurren luego de una pérdida de origen natural debido al desplazamiento de los ríos en la Amazonía |

Fuente: Elaboración propia

4.3. Representación coherente de las tierras

Las Directrices del IPCC de 2006, describen tres métodos que pueden utilizarse para la representación de las superficies de uso de la tierra.

- El primer método representa los totales de la superficie de uso de la tierra dentro de un país. Se caracteriza porque sólo puede realizarse el seguimiento a través del tiempo de los cambios netos en la superficie de uso de la tierra, por lo que no se conoce la ubicación exacta o el patrón de usos de la tierra dentro de la unidad espacial y, además, no pueden determinarse los cambios exactos en las categorías de uso de la tierra
- El segundo método permite identificar las pérdidas y ganancias de la superficie de cada categoría y los cambios entre las mismas, con lo cual se prepara una matriz de uso y cambio de uso de la tierra no espacialmente explícita. Como en el caso anterior, la escala puede ser nacional o local, y los datos pueden no ser espacialmente explícitos.
- El tercer método es una ampliación del segundo método, pues permite seguir los cambios de uso de la tierra sobre una base espacial, con lo cual se construye una matriz de uso y cambio de uso de la tierra espacialmente explícita.

Para el RAGEI 2019, las categorías de uso de la tierra se definieron en base a las Directrices del IPCC de 2006, es así que toda la superficie nacional se encuentra representada en seis categorías de uso: tierras forestales, tierras de cultivo, pastizales, humedales, asentamientos y otras tierras. Asimismo, cada categoría de uso ha sido analizada según subcategorías nacionales a partir de la estratificación de la superficie nacional en los biomas Amazonía, el cual se divide en cuatro ecozonas, y los biomas Costa y Sierra, los cuales, para propósitos del reporte, serán denominados ecozonas.

A continuación, se detallan los procedimientos realizados para la representación de las tierras en los biomas Amazonia, Costa y Sierra.

4.3.1. Amazonía

Para el procesamiento, la Amazonía se dividió en cuatro ecozonas, cuyas superficies y porcentajes a nivel nacional se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Superficie de ecozonas y su porcentaje a nivel nacional en el bioma Amazónico (ha)

| Ecozonas | Superficie (ha) | % Territorial nacional | % Territorial Amazonía |
|----------------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|
| Selva Alta Accesible (SAA) | 10,972,886.67 | 8.48% | 14.22% |
| Selva Alta Difícil Acceso (SADA) | 11,132,433.90 | 8.60% | 14.01% |
| Selva Baja (SB) | 47,472,740.55 | 36.68% | 60.62% |
| Zona Hidromórfica (ZH) | 8,730,739.62 | 6.75% | 11.75% |
| Total | 78,308,800.74 | 60.50% | 100% |

Fuente: MINAM 2022

La representación coherente de tierras de la Amazonía se ha realizado empleando el método 3 de las Directrices del IPCC del 2006, a través de observaciones espacialmente explícitas sobre muestras en categorías de uso de la tierra y sus cambios de uso a lo largo de una serie de tiempo, tomando como soporte la plataforma *Collect Earth Online* (CEO).

Los datos de actividad se estimaron a partir del muestreo sistemático, el cual es un enfoque que permite estimar datos de conversión de uso de la tierra espacialmente, y que hace posible el seguimiento a los cambios de uso de la tierra a partir interpretación visual en imágenes satelitales de alta resolución. Para el procesamiento, cada ecozona se subdividió en tres clases: i) bosque, ii) no bosque, y iii) pérdida de cobertura de bosque, acumulada del periodo 2001 a 2018, resultando en un total de 12 estratos. Esta estratificación se hizo a partir del mapa de pérdida de cobertura de bosques desarrollado por el PNCBMCC y que se encuentra disponible en la plataforma de monitoreo Geobosques¹.

La estratificación permitió definir el tamaño de muestra óptimo, para luego realizar la estimación del número total de parcelas necesarias por estrato y su equidistancia, a fin de tener una representación adecuada de las clases. Asimismo, se definió que la malla sistemática idónea con la suficiente cantidad de muestras para cada ecozona y la Amazonía fuera la equidistancia de 5 x 5 km; considerando una intensificación en las ecozonas ZH y SADA.

El método de estimación de áreas se basó en el cálculo de la proporción de área para cada una de las transiciones o combinaciones de clases de seis categorías de uso de la tierra: tierras forestales, tierras de cultivo, pastizales, humedales, asentamientos, y otras tierras.

El proceso general empleado en la representación de tierras y los pasos empleados se describen con precisión en el documento “Nivel de referencia de emisiones forestales por deforestación bruta del Perú en el bioma amazónico” (MINAM 2022).

4.3.2. Costa y sierra

Con respecto a los métodos aplicados para representar las tierras del en el caso de las ecozonas de costa y sierra, se ha empleado el método 3 para la representación de las tierras, gracias a la disponibilidad de información de mapas de cobertura de uso globales de *The European Space Agency* (ESA), donde están disponibles mapas globales de cobertura de suelo desde 1992 hasta 2020.

¹ <https://geobosques.minam.gob.pe>

El Proyecto Land Cover (LC) de la Iniciativa sobre el Cambio Climático (CCI) de *The European Space Agency* (ESA)², ofrece mapas globales de cobertura de suelo con una resolución espacial de 300 metros. A partir de esta fuente, se descargó información de mapas globales de uso del suelo para los años 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019. Estos mapas, originalmente en una resolución espacial de 300 m, fueron convertidos a resolución de 30 metros y cortados según los límites nacionales del NERF.

El procesamiento continuó con la extracción de la información de superficie para las ecozonas de costa y sierra y la reclasificación a las categorías de uso de tierra del IPCC. Asimismo, a fin de generar consistencia con las fuentes de información nacionales sobre las ecozonas costa y sierra, se realizó el análisis de las clases globales del mapa de la ESA con los datos reportados en el mapa de cobertura vegetal (MINAM 2015).

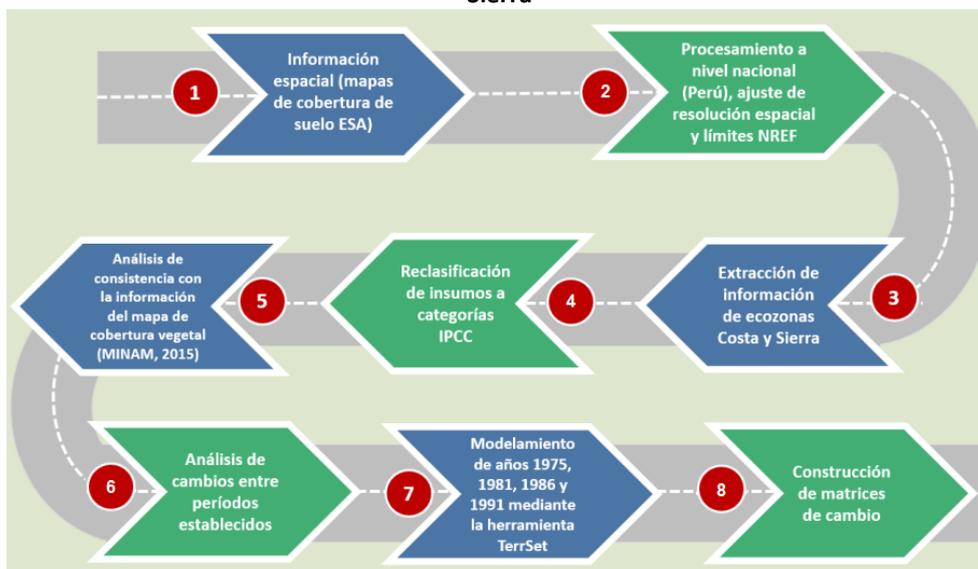
A partir de la obtención de superficies de las ecozonas de costa y sierra, se desarrolló el análisis espacial de uso y cambio de uso para los periodos entre inventarios de Perú 2005-2010, 2010 - 2012, 2012-2014, 2014-2016, 2016-2019 con el cual se logró construir las matrices de cambio entre los periodos referidos.

Asimismo, para estas ecozonas, según lo indicado por las Directrices del IPCC de 2006, se consideró una dependencia temporal de un periodo de 20 años de los cambios de uso de la tierra. Para este fin, dada la falta de imágenes de alta resolución que permitiera utilizar la misma metodología de muestreo descrita anteriormente, se utilizó un método de modelamiento espacial para completar años previos a 1992. Es así que, a partir de los mapas disponibles, se generó un modelo espacial en función a la dinámica de cambio observada, el cual permitió realizar la proyección para los periodos 1986-2005, 1991-2010, 1993-2012, 1995-2014, 1997-2016 y 2000 – 2019. De esta forma, se logró construir una serie consistente de superficies en permanencia y en conversión para cada una de las categorías de uso de tierra de costa y sierra, para la serie anual 2005 - 2019.

La Figura 3 resume el proceso metodológico que se realizó para la obtención de la información de superficies de uso para costa y sierra, y para la construcción de las matrices de uso y cambio de uso.

² <http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download.php>

Figura 3. Proceso metodológico para la obtención de la información de superficies de uso para Costa y Sierra



Fuente: Elaboración propia

4.3.3. Matrices de uso y cambio de uso de la tierra

Las siguientes tablas presentan la superficie de cada uso de la tierra y sus respectivas permanencias y conversiones para cada ecozona, según categoría de las Directrices del IPCC de 2006. Las superficies resaltadas en la diagonal corresponden a las tierras que se mantienen en el mismo uso, mientras que las áreas por fuera de la diagonal corresponden a las superficies que se encuentran en conversión de una categoría a otra durante el periodo de evaluación.

En el caso de las ecozonas amazónicas, se presentan las matrices con los cambios anuales, ocurridos en el año 2019. Por otro lado, para las ecozonas de costa y sierra, se presentan las matrices de cambio para los periodos 2016-2019 y 2000-2019, considerando los periodos de cambio desde el último inventario hasta esta actualización, así como el periodo de referencia de 20 años para el análisis de las transiciones y permanencias considerando esta dependencia temporal.

Tabla 3. Matriz de uso y cambio de uso de la tierra para la ecozona selva alta accesible en el año 2019 (ha)

| 2019 | Tierras forestales | Tierras de cultivo | Pastizales | Humedales | Asentamientos | Otras tierras | Área inicial |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------|------------|---------------|---------------|---------------|
| Tierras forestales | 6,758,722.61 | 43,924.58 | 3,433.67 | 372.41 | 666.54 | 865.06 | 6,807,984.87 |
| Tierras de cultivo | 11,640.22 | 2,130,096.94 | 383.93 | 2,400.81 | - | - | 2,144,521.90 |
| Pastizales | 1,842.85 | 3,578.13 | 1,563,415.90 | - | 195.25 | - | 1,569,032.13 |
| Humedales | - | - | - | 185,351.64 | - | - | 185,351.64 |
| Asentamientos | - | - | 380.88 | - | 126,339.83 | - | 126,720.71 |
| Otras tierras | - | 95.22 | 390.50 | - | - | 138,789.68 | 139,275.40 |
| Área final | 6,772,205.68 | 2,177,694.87 | 1,568,004.88 | 188,124.86 | 127,201.62 | 139,654.74 | 10,972,886.65 |
| Cambio neto | -35,779.19 | 33,172.97 | -1,027.25 | 2,773.22 | 480.91 | 379.34 | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Matriz de uso y cambio de uso de la tierra para la ecozona selva alta de difícil acceso en el año 2019 (ha)

| 2019 | Tierras forestales | Tierras de cultivo | Pastizales | Humedales | Asentamientos | Otras tierras | Área inicial |
|--------------------|--------------------|--------------------|------------|-----------|---------------|---------------|---------------|
| Tierras forestales | 10,435,984.56 | 11,670.65 | 478.82 | 476.38 | 708.12 | 3,566.04 | 10,452,884.57 |
| Tierras de cultivo | 2,059.33 | 179,697.74 | 169.18 | 58.56 | 84.59 | 26.03 | 182,095.43 |
| Pastizales | 476.64 | 812.71 | 320,781.66 | - | 26.03 | 91.10 | 322,188.14 |
| Humedales | 32.53 | - | - | 84,924.01 | - | 32.53 | 84,989.07 |
| Asentamientos | - | 6.51 | - | - | 9,254.73 | - | 9,261.24 |
| Otras tierras | 765.95 | 91.10 | - | - | - | 80,158.44 | 81,015.49 |
| Área final | 10,439,319.01 | 192,278.71 | 321,429.66 | 85,458.95 | 10,073.47 | 83,874.14 | 11,132,433.94 |
| Cambio neto | -13,565.56 | 10,183.28 | -758.48 | 469.88 | 812.23 | 2,858.65 | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Matriz de uso y cambio de uso de la tierra para la ecozona selva baja en el año 2019 (ha)

| 2019 | Tierras forestales | Tierras de cultivo | Pastizales | Humedales | Asentamientos | Otras tierras | Área inicial |
|--------------------|--------------------|--------------------|------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| Tierras forestales | 44,102,461.95 | 46,230.43 | 32,417.03 | 8,444.21 | 8,955.56 | 576.92 | 44,199,086.10 |
| Tierras de cultivo | 9,758.76 | 912,038.60 | 290.36 | 779.92 | 2,976.83 | - | 925,844.47 |
| Pastizales | 9,124.00 | 3,969.29 | 698,436.24 | 680.27 | 290.36 | - | 712,500.16 |
| Humedales | 582.60 | 7,487.73 | 774.07 | 1,427,378.54 | - | - | 1,436,222.94 |
| Asentamientos | 194.98 | 288.08 | - | - | 147,585.60 | - | 148,068.66 |
| Otras tierras | - | 292.47 | - | - | - | 50,725.78 | 51,018.25 |
| Área final | 44,122,122.29 | 970,306.60 | 731,917.70 | 1,437,282.94 | 159,808.35 | 51,302.70 | 47,472,740.58 |
| Cambio neto | -76,963.81 | 44,462.13 | 19,417.54 | 1,060.00 | 11,739.69 | 284.45 | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Matriz de uso y cambio de uso de la tierra para la ecozona zona hidromórfica en el año 2019 (ha)

| 2019 | Tierras forestales | Tierras de cultivo | Pastizales | Humedales | Asentamientos | Otras tierras | Área inicial |
|--------------------|--------------------|--------------------|------------|--------------|---------------|---------------|--------------|
| Tierras forestales | 6,988,112.29 | 4,198.51 | 747.22 | 7,674.12 | 168.85 | 135.35 | 7,001,036.34 |
| Tierras de cultivo | 1,860.33 | 53,947.07 | 10.20 | 1,148.66 | 40.81 | - | 57,007.07 |
| Pastizales | 3.40 | 162.74 | 79,632.69 | 317.01 | - | 40.47 | 80,156.31 |
| Humedales | 888.21 | 176.34 | - | 1,576,195.81 | - | 502.47 | 1,577,762.83 |
| Asentamientos | 27.21 | 6.80 | - | - | 5,741.77 | - | 5,775.78 |
| Otras tierras | 30.61 | - | - | 16.83 | - | 8,953.83 | 9,001.27 |
| Área final | 6,990,922.05 | 58,491.46 | 80,390.11 | 1,585,352.43 | 5,951.43 | 9,632.12 | 8,730,739.60 |
| Cambio neto | -10,114.29 | 1,484.39 | 233.80 | 7,589.60 | 175.65 | 630.85 | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Matriz de uso y cambio de uso de la tierra para la ecozona costa en el periodo 2016 – 2019 (ha)

| 2016 -2019 | Tierras forestales | Tierras de cultivo | Pastizales | Humedales | Asentamientos | Otras tierras | Área inicial |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------|------------|---------------|---------------|---------------|
| Tierras forestales | 3,422,154.51 | 9,637.65 | 557.37 | - | 148.23 | - | 3,432,497.76 |
| Tierras de cultivo | 2,817.90 | 1,430,877.87 | 1,879.38 | - | 15,321.15 | - | 1,450,896.30 |
| Pastizales | 5,004.45 | 476.82 | 2,803,290.66 | - | 1,304.73 | 428.85 | 2,810,505.51 |
| Humedales | 26.91 | 3.87 | - | 97,103.88 | 341.82 | - | 97,476.48 |
| Asentamientos | 0.18 | 20.25 | 8.28 | - | 213,235.11 | - | 213,263.82 |
| Otras tierras | 56.25 | 1,118.16 | 1,829.25 | 8,179.92 | 11,943.45 | 7,102,350.00 | 7,125,477.03 |
| Área final | 3,430,060.20 | 1,442,134.62 | 2,807,564.94 | 105,283.80 | 242,294.49 | 7,102,778.85 | 15,130,116.90 |
| Cambio neto | -2,437.56 | -8,761.68 | -2,940.57 | 7,807.32 | 29,030.67 | -22,698.18 | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Matriz de uso y cambio de uso de la tierra para la ecozona sierra en el periodo 2016 – 2019 (ha)

| 2016 - 2019 | Tierras forestales | Tierras de cultivo | Pastizales | Humedales | Asentamientos | Otras tierras | Área inicial |
|--------------------|--------------------|--------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Tierras forestales | 608,593.86 | 416.61 | 260.46 | 125.28 | 49.68 | 19.44 | 609,465.33 |
| Tierras de cultivo | 1,912.59 | 3,704,504.94 | 16,914.78 | 205.56 | 169.56 | 1,212.93 | 3,724,920.36 |
| Pastizales | 13,281.48 | 53,984.43 | 19,006,132.05 | 84,216.42 | 561.15 | 4,106.61 | 19,162,282.14 |
| Humedales | 5,412.69 | 11,034.27 | 83,147.67 | 11,281,397.31 | 401.76 | 3,941.91 | 11,385,335.61 |
| Asentamientos | 63.45 | 103.05 | 363.60 | 1,327.41 | 1,039,352.13 | 18.63 | 1,041,228.27 |
| Otras tierras | - | - | - | - | - | 64,455.75 | 64,455.75 |
| Área final | 629,264.07 | 3,770,043.30 | 19,106,818.56 | 11,367,271.98 | 1,040,534.28 | 73,755.27 | 35,987,687.46 |
| Cambio neto | 19,798.74 | 45,122.94 | -55,463.58 | -18,063.63 | -693.99 | 9,299.52 | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Matriz de uso y cambio de uso de la tierra para la ecozona costa en el periodo 2000 – 2019 (ha)

| 2000 -2019 | Tierras forestales | Tierras de cultivo | Pastizales | Humedales | Asentamientos | Otras tierras | Área inicial |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------|------------|---------------|---------------|---------------|
| Tierras forestales | 3,385,269.00 | 19,081.80 | 4,103.19 | 33.66 | 198.99 | 219.78 | 3,408,906.42 |
| Tierras de cultivo | 30,001.68 | 1,419,631.83 | 3,777.03 | 30.42 | 21,660.21 | 379.53 | 1,475,480.70 |
| Pastizales | 14,189.67 | 1,252.44 | 2,796,555.42 | 203.94 | 2,529.90 | 8,119.44 | 2,822,850.81 |
| Humedales | 519.39 | 65.79 | 30.06 | 96,424.02 | 521.82 | 4.77 | 97,565.85 |
| Asentamientos | 7.38 | 61.74 | 14.76 | 411.84 | 198,569.79 | - | 199,065.51 |
| Otras tierras | 73.08 | 2,041.02 | 3,084.48 | 8,179.92 | 18,813.78 | 7,094,055.33 | 7,126,247.61 |
| Área final | 3,430,060.20 | 1,442,134.62 | 2,807,564.94 | 105,283.80 | 242,294.49 | 7,102,778.85 | 15,130,116.90 |
| Cambio neto | 21,153.78 | -33,346.08 | -15,285.87 | 7,717.95 | 43,228.98 | -23,468.76 | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Matriz de uso y cambio de uso de la tierra para la ecozona sierra en el periodo 2000 – 2019 (ha)

| 2000 - 2019 | Tierras forestales | Tierras de cultivo | Pastizales | Humedales | Asentamientos | Otras tierras | Área inicial |
|--------------------|--------------------|--------------------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| Tierras forestales | 593,933.31 | 2,428.20 | 1,480.86 | 1,221.84 | 19.44 | 2,844.00 | 601,927.65 |
| Tierras de cultivo | 5,631.57 | 3,621,852.09 | 41,310.45 | 798.21 | 2,582.46 | 8,981.10 | 3,681,155.88 |
| Pastizales | 16,458.66 | 95,585.13 | 18,784,807.83 | 3,885.39 | 7,837.56 | 196,139.61 | 19,104,714.18 |
| Humedales | 327.42 | 843.66 | 1,808.46 | 1,032,750.09 | 18.63 | 3,145.95 | 1,038,894.21 |
| Asentamientos | - | 2.43 | - | - | 56,697.93 | - | 56,700.36 |
| Otras tierras | 12,913.11 | 49,331.79 | 277,410.96 | 1,878.75 | 6,599.25 | 11,156,161.32 | 11,504,295.18 |
| Área final | 629,264.07 | 3,770,043.30 | 19,106,818.56 | 1,040,534.28 | 73,755.27 | 11,367,271.98 | 35,987,687.46 |
| Cambio neto | 27,336.42 | 88,887.42 | 2,104.38 | 1,640.07 | 17,054.91 | -137,023.20 | |

Fuente: Elaboración propia

4.4. Metodología para el cálculo de emisiones de GEI

El RAGEI del sector UTCUTS ha sido elaborado aplicando íntegramente la metodología que establece las Directrices del IPCC de 2006. Específicamente se utilizó el volumen 4 referido al sector Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU) para estimar las emisiones por el uso y el cambio de uso de la tierra.

El sector UTCUTS incluye las emisiones y remociones de GEI generadas como resultado del uso, gestión y cambio de uso de la tierra gestionada. El RAGEI 2019 reporta los emisiones y remociones de los siguientes depósitos de carbono: biomasa (aérea y subterránea), materia orgánica muerta (madera muerta y hojarasca) y carbono orgánico del suelo, en seis categorías de uso de tierra: tierras forestales, tierras de cultivo, pastizales, humedales, asentamientos; y otras tierras.

Por otro lado, para la estimación de las emisiones y remociones de GEI del sector UTCUTS, se aplicaron métodos de nivel 1 y nivel 2 para todos los usos de tierra. La Tabla 11 resume las subcategorías de reporte, reservorios de carbono, y niveles metodológicos aplicados.

Tabla 11. Categorías, reservorios y gases evaluados en el RAGEI 2019

| Código | Descripción | Reservorios de Carbono | Nivel metodológico |
|------------|--|------------------------|--------------------|
| 3B | Tierras | | |
| 3B1 | Tierras forestales | | |
| 3B1a | Tierras forestales que permanecen como tierras forestales | BV, MOM, COS | 1 |
| 3B1b | Tierras convertidas en tierras forestales | BV, MOM, COS | 1 y 2 |
| 3B2 | Tierras de cultivo | | |
| 3B2a | Tierras de cultivo que permanecen como tierras de cultivo | BV, MOM, COS | 1 |
| 3B2b | Tierras convertidas en tierras de cultivo | BV, MOM, COS | 1 y 2 |
| 3B3 | Pastizales | | |
| 3B3a | Pastizales que permanecen como pastizales | BV, MOM, COS | 1 |
| 3B3b | Tierras convertidas en pastizales | BV, MOM, COS | 1 y 2 |
| 3B4 | Humedales | | |
| 3B4a | Humedales que permanecen como humedales | BV, MOM, COS | NE |
| 3B4b | Tierras convertidas en humedales | BV, MOM, COS | NE |
| 3B5 | Asentamientos | | |
| 3B5a | Asentamientos que permanecen como asentamientos | BV, MOM, COS | 1 |
| 3B5b | Tierras convertidas en asentamientos | BV, MOM, COS | 1 y 2 |
| 3B6 | Otras tierras | | |
| 3B6b | Tierras convertidas en otras tierras | BV, MOM, COS | 1 y 2 |
| 3C | Fuentes agregadas y emisiones de no CO₂ en otras tierras | | |
| 3C1 | Quema de biomasa | | |
| 3C1a | Quema de biomasa en tierras forestales | BV, MOM, COS | NE |

Nota 1: BV = Biomasa viva (biomasa aérea + biomasa subterránea), MOM = Materia orgánica muerta (hojarasca + madera muerta), COS = Carbono orgánico del suelo.

Nota 2: Las letras grises indican los reservorios de carbono que no fueron analizados en el presente RAGEI.

Fuente: Elaboración propia

Las subcategorías que no fueron estimadas responden, en algunos casos, a los supuestos del nivel metodológico 1 sobre equilibrio en los contenidos de carbono cuando no hay conversión de uso, y en otros, a la falta de información sobre la gestión de las tierras. Las razones específicas están detalladas en la Sección 6 del presente reporte.

En la Tabla 12 se presenta el GEI estimado en el presente RAGEI, es así que, el único gas estimado es el dióxido de carbono (CO₂).

Tabla 12. Gases estimados en el RAGEI 2019.

| Código | Categorías y subcategorías | Categoría IPCC | GEI estimados en el RAGEI 2019 |
|--------|----------------------------|----------------|--------------------------------|
| 3B | Tierras | Categoría | CO ₂ |
| 3B1 | Tierras forestales | Subcategoría | CO ₂ |
| 3B2 | Tierras de cultivo | Subcategoría | CO ₂ |
| 3B3 | Pastizales | Subcategoría | CO ₂ |
| 3B5 | Asentamientos | Subcategoría | CO ₂ |
| 3B6 | Otras tierras | Subcategoría | CO ₂ |

Fuente: Elaboración propia

4.5. Metodología para el análisis de incertidumbres

El análisis de incertidumbre se ha realizado aplicando el método 1 descrito en las Directrices del IPCC de 2006. Este método consiste en la estimación de las incertidumbres usando la ecuación de propagación de errores mediante reglas de combinación. Se obtiene una estimación del nivel de incertidumbre combinada (factores de emisión y datos de actividad) para la subcategoría.

Los datos de actividad determinados a través del muestreo sistemático, cuentan con un valor de incertidumbre asociadas para cada una de las clases por ecozonas amazónicas. Asimismo, los factores de emisión de los contenidos de carbono en bosques de las ecozonas amazónicas, cuentan con valores de incertidumbre asociada. Para el resto de datos de actividad y factores de emisión, se utilizaron los valores de incertidumbres recomendados por las Directrices del IPCC de 2006.

4.6. Metodología para garantizar la coherencia de la serie temporal

Para la estimación de las emisiones de GEI de la serie de años que va desde el 2008 al 2019, se aplicó la misma metodología y fuentes de información.

En el caso de las ecozonas amazónicas, la fuente de información principal proviene del resultado de la malla sistemática. En el caso de las ecozonas costa y sierra, se cuentan con matrices de cambio para periodos no anuales, que abarcan los cambios ocurridos en entre el ultimo inventario reportado y el presente, por lo que para desarrollar una serie anual se ha realizado la interpolación de la información de las matrices entre periodos de inventarios, a fin de anualizar las superficies de cambio para cada año incluido en el periodo de la matriz original.

5. RESULTADO SECTORIAL

En esta sección se presentan los resultados generales del total de emisiones estimadas para el año 2019 en el sector UTCUTS. Asimismo, se incluye los resultados de la tendencia de emisiones de la serie de años que va del 2008 al 2019.

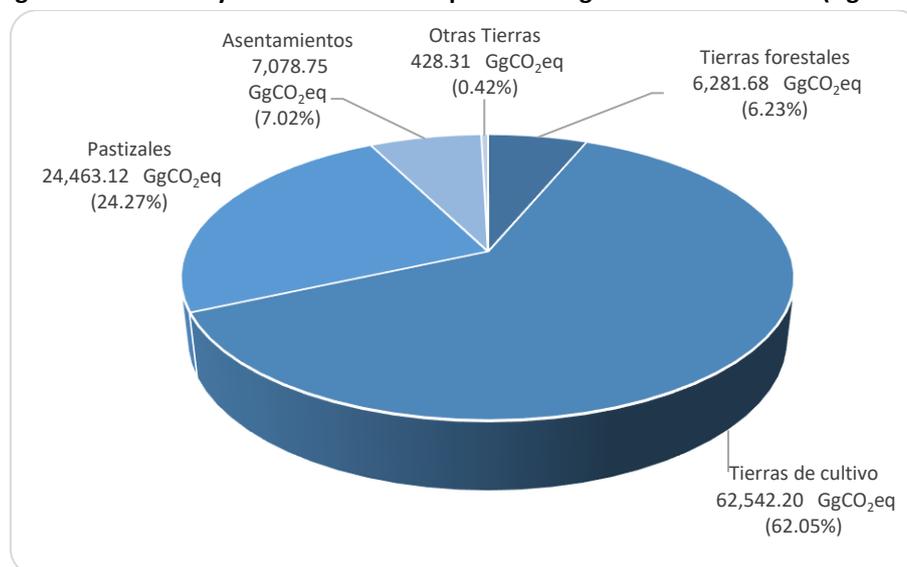
El sector UTCUTS abarca las emisiones y remociones de GEI en reservorios de carbono de tierras gestionadas en las subcategorías tierras forestales (3B1), tierras de cultivo (3B2), pastizales (3B3), asentamientos (3B5), y otras tierras (3B6). No se incluyó la estimación de las emisiones de la subcategoría humedales (3B4), debido principalmente a la falta de información.

5.1. Análisis de los resultados

En el año 2019, las emisiones netas del sector fueron de 100,794.05 GgCO₂eq. La principal fuente de emisión fue la subcategoría de tierras de cultivo, con 62,542.20 GgCO₂eq, que representa el 62.50% del total de emisiones del sector.

La segunda fuente de emisión más importante fue la subcategoría de pastizales, con 24,463.12 GgCO₂eq, que representa el 24.27% del total de emisiones del sector. En tercer orden se encuentra las emisiones de la subcategoría asentamientos, con 7,055.86 GgCO₂eq, que representan el 7.03% de los resultados del sector. Las demás subcategorías en conjunto representan el 6.66% de las emisiones del sector. Los resultados por subcategoría se presentan en la Figura 4.

Figura 4. Emisiones y remociones de GEI por subcategorías en el año 2019 (GgCO₂eq)



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 13 presenta los resultados de emisiones y remociones por categorías, así como el desgajado de emisiones por gas en sus respectivas unidades.

Tabla 13. Emisiones de GEI del sector UTCUTS en el año 2019 (GgCO₂eq)

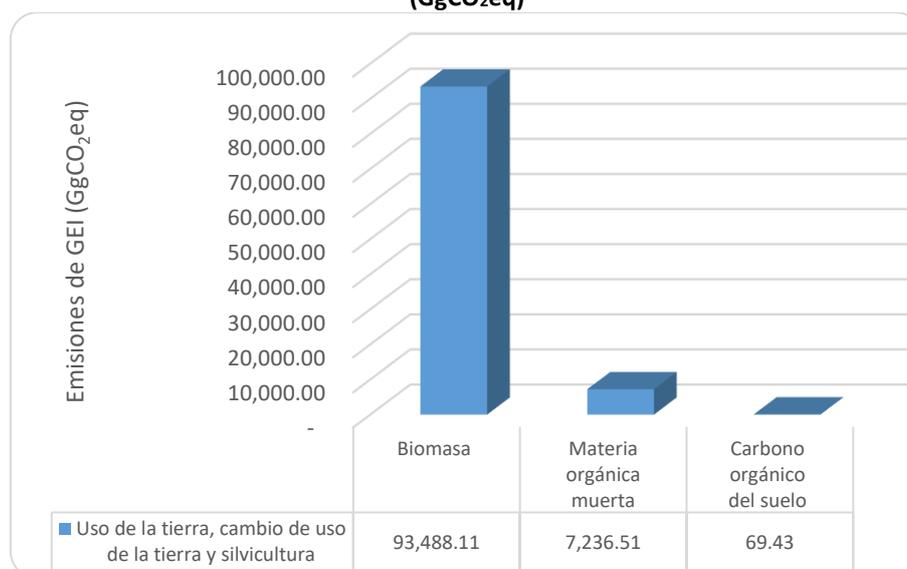
| Código | Categorías de fuentes y sumideros | Dióxido de Carbono [GgCO ₂] | Metano [GgCH ₄] | Óxido nítrico [GgN ₂ O] | Emisiones de GEI [GgCO ₂ eq] |
|--------------|--|---|-----------------------------|------------------------------------|---|
| 3.B | Tierras | 100,794.05 | | | 100,794.05 |
| 3.B.1 | Tierras forestales | 6,281.68 | | | 6,281.68 |
| 3.B.1.a | Tierras forestales que permanecen como tierras forestales | 8,243.92 | | | 8,243.92 |
| 3.B.1.b | Tierras que se convierten en tierras forestales | -1,962.24 | | | -1,962.24 |
| 3.B.1.b.i | Tierras de cultivo que se convierten en tierras forestales | -789.14 | | | -789.14 |
| 3.B.1.b.ii | Pastizales que se convierten en tierras forestales | -787.62 | | | -787.62 |
| 3.B.1.b.iii | Humedales que se convierten en tierras forestales | -140.57 | | | -140.57 |
| 3.B.1.b.iv | Asentamientos que se convierten en tierras forestales | -5.47 | | | -5.47 |
| 3.B.1.b.v | Otras tierras que se convierten en tierras forestales | -239.45 | | | -239.45 |
| 3.B.2 | Tierras de cultivo | 62,542.20 | | | 62,542.20 |
| 3.B.2.a | Tierras de cultivo que permanecen como tierras de cultivo | -13.74 | | | -13.74 |
| 3.B.2.b | Tierras que se convierten en tierras de cultivo | 62,555.94 | | | 62,555.94 |
| 3.B.2.b.i | Tierras forestales que se convierten en tierras de cultivo | 61,903.60 | | | 61,903.60 |
| 3.B.2.b.ii | Pastizales que se convierten en tierras de cultivo | 652.33 | | | 652.33 |
| 3.B.2.b.iii | Humedales que se convierten en tierras de cultivo | - | | | - |
| 3.B.2.b.iv | Asentamientos que se convierten en tierras de cultivo | - | | | - |
| 3.B.2.b.v | Otras tierras que se convierten en tierras de cultivo | - | | | - |
| 3.B.3 | Pastizales | 24,463.12 | | | 24,463.12 |
| 3.B.3.a | Pastizales que permanecen como pastizales | - | | | - |
| 3.B.3.b | Tierras que se convierten en pastizales | 24,463.12 | | | 24,463.12 |
| 3.B.3.b.i | Tierras forestales que se convierten en pastizales | 24,404.22 | | | 24,404.22 |
| 3.B.3.b.ii | Tierras de cultivo que se convierten en pastizales | 58.89 | | | 58.89 |
| 3.B.3.b.iii | Humedales que se convierten en pastizales | - | | | - |
| 3.B.3.b.iv | Asentamientos que se convierten en pastizales | - | | | - |
| 3.B.3.b.v | Otras tierras que se convierten en pastizales | - | | | - |
| 3.B.4 | Humedales | NE | | | NE |
| 3.B.4.a | Humedales que permanecen como humedales | NE | | | NE |
| 3.B.4.b | Tierras que se convierten en humedales | NE | | | NE |
| 3.B.4.b.i | Tierras forestales que se convierten en humedales | NE | | | NE |
| 3.B.4.b.ii | Tierras de cultivo que se convierten en humedales | NE | | | NE |
| 3.B.4.b.iii | Pastizales que se convierten en humedales | NE | | | NE |

| Código | Categorías de fuentes y sumideros | Dióxido de Carbono [GgCO ₂] | Metano [GgCH ₄] | Óxido nítrico [GgN ₂ O] | Emisiones de GEI [GgCO ₂ eq] |
|--------------|--|---|-----------------------------|------------------------------------|---|
| 3.B.4.b.iv | Asentamientos que se convierten en humedales | NE | | | NE |
| 3.B.4.b.v | Otras tierras que se convierten en humedales | NE | | | NE |
| 3.B.5 | Asentamientos | 7,078.75 | | | 7,078.75 |
| 3.B.5.a | Asentamientos que permanecen como asentamientos | NE | | | NE |
| 3.B.5.b | Tierras que se convierten en asentamientos | 7,078.75 | | | 7,078.75 |
| 3.B.5.b.i | Tierras forestales que se convierten en asentamientos | 6,889.07 | | | 6,889.07 |
| 3.B.5.b.ii | Tierras de cultivo que se convierten en asentamientos | 148.44 | | | 148.44 |
| 3.B.5.b.iii | Pastizales que se convierten en asentamientos | 41.24 | | | 41.24 |
| 3.B.5.b.iv | Humedales que se convierten en asentamientos | - | | | - |
| 3.B.5.b.v | Otras tierras que se convierten en asentamientos | - | | | - |
| 3.B.6 | Otras tierras | 428.31 | | | 428.31 |
| 3.B.6.a | Otras tierras que permanecen como otras tierras | NE | | | NE |
| 3.B.6.b | Tierras que se convierten en otras tierras | 428.31 | | | 428.31 |
| 3.B.6.b.i | Tierras forestales que se convierten en otras tierras | NO | | | NO |
| 3.B.6.b.ii | Tierras de cultivo que se convierten en otras tierras | 1.63 | | | 1.63 |
| 3.B.6.b.iii | Pastizales que se convierten en otras tierras | 426.68 | | | 426.68 |
| 3.B.6.b.iv | Humedales que se convierten en otras tierras | - | | | - |
| 3.B.6.b.v | Asentamientos que se convierten en otras tierras | - | | | - |
| 3C | Fuentes agregadas y fuentes de emisión no-CO₂ en la tierra | | NE | NE | NE |
| 3.C.1 | Emisiones por quema de biomasa | | NE | NE | NE |
| 3.C.1.a | Quema de biomasa en tierras forestales | | NE | NE | NE |

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 5, se puede observar cómo se encuentran distribuidas las emisiones y remociones del año 2019 entre los reservorios de carbono, donde 93,488.11 GgCO₂, que representa el 92.75% de las emisiones del sector, y corresponden a los cambios en las existencias de carbono en la biomasa; 7,236.51 GgCO₂, es decir el 7.18%, corresponde a los cambios en las existencias de carbono en la materia orgánica muerta, y 69.43 GgCO₂, es decir el 0.07% corresponde a los cambios en las existencias de carbono en suelos minerales en las ecozonas costa y sierra.

Figura 5. Distribución de emisiones y remociones de GEI por reservorios de carbono en el año 2019 (GgCO₂eq)



Fuente: Elaboración propia.

5.2. Resultados de la serie temporal

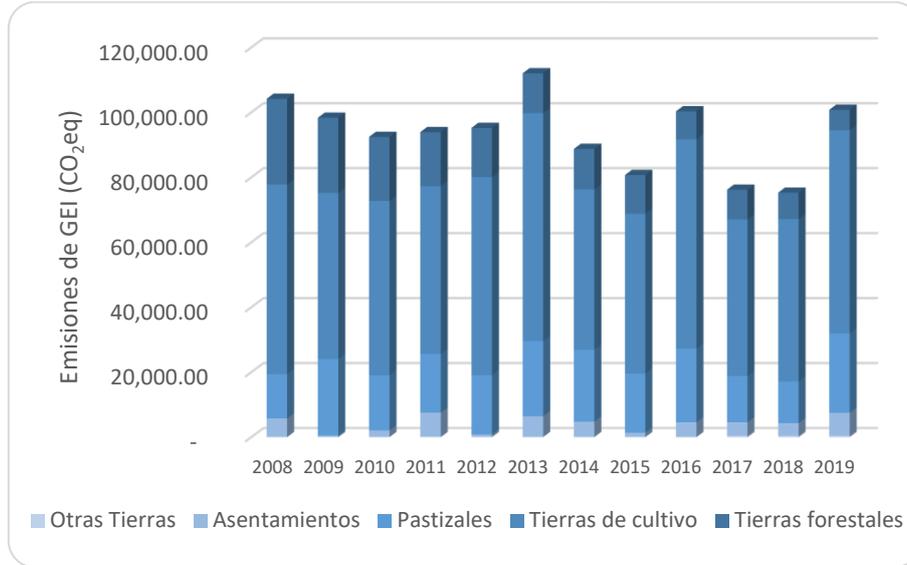
5.2.1. Tendencia de las emisiones

El RAGEI 2019 abarca una serie anual que va desde el año 2008 hasta el 2019. Es así que se cuenta con una serie temporal de emisiones estimada con una misma metodología y fuentes de información.

La Figura 6 representa el comportamiento de las emisiones históricas del sector, el cual fue variable a lo largo de los años, con periodos decrecientes y picos de emisiones en los años 2008, 2013, 2016 y 2019. En el año 2019, las emisiones de GEI se incrementaron de 75,282.39 GgCO₂eq a 100,794.05 GgCO₂eq respecto al año 2018, lo que representó un incremento porcentual del 33.89%; por otro lado, se redujeron de 104,179.92 GgCO₂eq a 100,372.62 GgCO₂eq respecto al año 2008, lo que representó una reducción porcentual del 3.25%. El comportamiento variable a lo largo de los años, con periodos decrecientes y picos marcados, se encuentra fuertemente relacionado con los procesos de deforestación que ocurren en la Amazonía peruana, y que se generan por la conversión de tierras forestales a tierras de cultivo, pastizales y asentamientos.

Asimismo, la Tabla 14 presenta los resultados de las emisiones GEI de la serie de años que va desde el 2008 hasta el 2019 de manera desagregada por subcategorías.

Figura 6. Tendencia de las emisiones de GEI del sector UTCUTS para el periodo 2008- 2019 (GgCO₂eq)



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Tendencia de las emisiones de GEI del sector UTCUTS para el periodo 2008- 2019 (GgCO₂eq)

| Código | Categorías de fuentes y sumideros | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|--------------|--|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|
| 3 | Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura | 104,179.92 | 98,364.70 | 92,448.20 | 93,928.60 | 95,217.18 | 112,048.87 | 88,757.06 | 80,707.94 | 100,342.76 | 76,199.37 | 75,282.39 | 100,794.05 |
| 3.B | Tierras | 104,179.92 | 98,364.70 | 92,448.20 | 93,928.60 | 95,217.18 | 112,048.87 | 88,757.06 | 80,707.94 | 100,342.76 | 76,199.37 | 75,282.39 | 100,794.05 |
| 3.B.1 | Tierras forestales | 26,387.34 | 23,127.71 | 19,695.68 | 16,631.37 | 15,147.29 | 12,271.09 | 12,459.74 | 11,899.09 | 8,617.11 | 9,160.95 | 8,143.05 | 6,281.68 |
| 3.B.1.a | Tierras forestales que permanecen como tierras forestales | 27,020.36 | 23,654.50 | 20,275.26 | 17,744.85 | 16,245.63 | 13,589.89 | 13,942.48 | 13,346.54 | 11,072.79 | 10,725.40 | 9,962.09 | 8,243.92 |
| 3.B.1.b | Tierras que se convierten en tierras forestales | -633.02 | -526.80 | -579.58 | -1,113.48 | -1,098.33 | -1,318.80 | -1,482.75 | -1,447.45 | -2,455.67 | -1,564.44 | -1,819.03 | -1,962.24 |
| 3.B.1.b.i | Tierras de cultivo que se convierten en tierras forestales | -265.36 | -272.61 | -275.67 | -580.86 | -667.42 | -785.93 | -870.68 | -825.01 | -1,112.91 | -739.92 | -863.18 | -789.14 |
| 3.B.1.b.ii | Pastizales que se convierten en tierras forestales | -167.83 | -105.17 | -155.80 | -312.29 | -281.32 | -360.39 | -442.97 | -402.05 | -912.40 | -505.20 | -652.47 | -787.62 |
| 3.B.1.b.iii | Humedales que se convierten en tierras forestales | -101.16 | -46.64 | -40.28 | -54.42 | -26.71 | -40.71 | -47.46 | -52.79 | -171.84 | -114.39 | -93.42 | -140.57 |
| 3.B.1.b.iv | Asentamientos que se convierten en tierras forestales | -4.63 | -0.05 | -0.09 | -2.92 | -0.67 | -7.66 | -1.98 | -0.22 | -5.10 | -4.96 | -0.11 | -5.47 |
| 3.B.1.b.v | Otras tierras que se convierten en tierras forestales | -94.04 | -102.33 | -107.74 | -162.99 | -122.22 | -124.11 | -119.67 | -167.38 | -253.43 | -199.99 | -209.84 | -239.45 |
| 3.B.2 | Tierras de cultivo | 58,379.03 | 51,149.02 | 53,703.20 | 51,683.96 | 60,941.44 | 70,168.61 | 49,400.85 | 49,225.24 | 64,470.69 | 48,161.85 | 50,008.67 | 62,542.20 |
| 3.B.2.a | Tierras de cultivo que permanecen como tierras de cultivo | -346.68 | -312.83 | -432.57 | -493.07 | -616.08 | -8.93 | -198.72 | -225.14 | -172.52 | -391.80 | -144.98 | -13.74 |
| 3.B.2.b | Tierras que se convierten en tierras de cultivo | 58,725.71 | 51,461.84 | 54,135.77 | 52,177.03 | 61,557.52 | 70,177.54 | 49,599.57 | 49,450.39 | 64,643.22 | 48,553.65 | 50,153.65 | 62,555.94 |
| 3.B.2.b.i | Tierras forestales que se convierten en tierras de cultivo | 58,275.39 | 51,170.34 | 53,830.14 | 51,646.93 | 61,168.74 | 69,838.94 | 49,429.46 | 49,197.08 | 64,282.60 | 48,025.35 | 49,670.42 | 61,903.60 |
| 3.B.2.b.ii | Pastizales que se convierten en tierras de cultivo | 450.32 | 291.51 | 305.64 | 530.09 | 388.78 | 338.59 | 170.11 | 253.31 | 360.62 | 528.30 | 483.23 | 652.33 |
| 3.B.2.b.iii | Humedales que se convierten en tierras de cultivo | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 3.B.2.b.iv | Asentamientos que se convierten en tierras de cultivo | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 3.B.2.b.v | Otras tierras que se convierten en tierras de cultivo | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 3.B.3 | Pastizales | 13,636.26 | 23,540.24 | 16,974.67 | 18,078.34 | 18,284.31 | 23,159.70 | 22,126.54 | 18,182.01 | 22,655.35 | 14,272.17 | 12,781.28 | 24,463.12 |
| 3.B.3.a | Pastizales que permanecen como pastizales | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - | - |
| 3.B.3.b | Tierras que se convierten en pastizales | 13,636.26 | 23,540.24 | 16,974.67 | 18,078.34 | 18,284.31 | 23,159.70 | 22,126.54 | 18,182.01 | 22,655.35 | 14,272.17 | 12,781.28 | 24,463.12 |
| 3.B.3.b.i | Tierras forestales que se convierten en pastizales | 13,644.13 | 23,568.65 | 16,976.87 | 18,043.62 | 18,309.95 | 23,103.13 | 22,081.96 | 18,163.77 | 22,612.42 | 14,213.67 | 12,708.88 | 24,404.22 |
| 3.B.3.b.ii | tierras de cultivo que se convierten en pastizales | -7.88 | -28.41 | -2.20 | 34.71 | -25.64 | 56.57 | 44.58 | 18.24 | 42.93 | 58.51 | 72.40 | 58.89 |
| 3.B.3.b.iii | Humedales que se convierten en pastizales | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 3.B.3.b.iv | A que se convierten en pastizales | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 3.B.3.b.v | Otras tierras que se convierten en pastizales | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 3.B.4 | Humedales | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE |
| 3.B.4.a | Humedales que permanecen como humedales | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE |
| 3.B.4.b | Tierras que se convierten en humedales | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE |
| 3.B.4.b.i | Tierras forestales que se convierten en humedales | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE |
| 3.B.4.b.ii | Tierras de cultivo que se convierten en humedales | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE |
| 3.B.4.b.iii | Pastizales que se convierten en humedales | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE |
| 3.B.4.b.iv | Asentamientos que se convierten en humedales | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE |

| Código | Categorías de fuentes y sumideros | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|--------------|--|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 3.B.4.b.v | Otras tierras que se convierten en humedales | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE |
| 3.B.5 | Asentamientos | 5,635.05 | 379.47 | 1,932.40 | 7,330.59 | 642.50 | 6,310.97 | 4,643.34 | 1,286.02 | 4,492.54 | 4,178.20 | 3,913.52 | 7,078.75 |
| 3.B.5.a | Asentamientos que permanecen como asentamientos | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE |
| 3.B.5.b | Tierras que se convierten en asentamientos | 5,635.05 | 379.47 | 1,932.40 | 7,330.59 | 642.50 | 6,310.97 | 4,643.34 | 1,286.02 | 4,492.54 | 4,178.20 | 3,913.52 | 7,078.75 |
| 3.B.5.b.i | Tierras forestales que se convierten en asentamientos | 5,626.63 | 345.93 | 1,896.24 | 7,224.42 | 607.00 | 6,179.79 | 4,581.14 | 1,145.33 | 4,464.59 | 3,965.59 | 3,744.93 | 6,889.07 |
| 3.B.5.b.ii | Tierras de cultivo que se convierten en asentamientos | 5.40 | 28.84 | 25.03 | 21.35 | 30.42 | 55.29 | 46.01 | 67.59 | 13.92 | 109.25 | 116.77 | 148.44 |
| 3.B.5.b.iii | Pastizales que se convierten en asentamientos | 3.01 | 4.71 | 11.12 | 84.82 | 5.09 | 75.89 | 16.18 | 73.10 | 14.03 | 103.36 | 51.81 | 41.24 |
| 3.B.5.b.iv | Humedales que se convierten en asentamientos | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 3.B.5.b.v | Otras tierras que se convierten en asentamientos | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 3.B.6 | Otras Tierras | 142.25 | 168.27 | 142.25 | 204.34 | 201.63 | 138.50 | 126.60 | 115.57 | 107.05 | 426.20 | 435.87 | 428.31 |
| 3.B.6.a | Otras tierras que permanecen como otras tierras | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE |
| 3.B.6.b | Tierras que se convierten en otras tierras | 142.25 | 168.27 | 142.25 | 204.34 | 201.63 | 138.50 | 126.60 | 115.57 | 107.05 | 426.20 | 435.87 | 428.31 |
| 3.B.6.b.i | Tierras forestales que se convierten en otras tierras | NO | NO | NO | NO | NO | - | - | NO | NO | NO | NO | NO |
| 3.B.6.b.ii | Tierras de cultivo que se convierten en otras tierras | 12.74 | 14.42 | 12.74 | 5.75 | 5.75 | 3.72 | 3.72 | 1.23 | 1.23 | 1.18 | 1.30 | 1.63 |
| 3.B.6.b.iii | Pastizales que se convierten en otras tierras | 129.51 | 153.86 | 129.51 | 198.60 | 195.89 | 134.78 | 122.88 | 114.34 | 105.83 | 425.01 | 434.57 | 426.68 |
| 3.B.6.b.iv | Humedales que se convierten en otras tierras | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 3.B.6.b.v | Asentamientos que se convierten en otras tierras | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 3C | Fuentes agregadas y fuentes de emisión no-CO₂ en la tierra | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE |
| 3.C.1 | Emisiones por quema de biomasa | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE |
| 3.C.1.a | Quema de biomasa en tierras forestales | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE |

Fuente: Elaboración propia

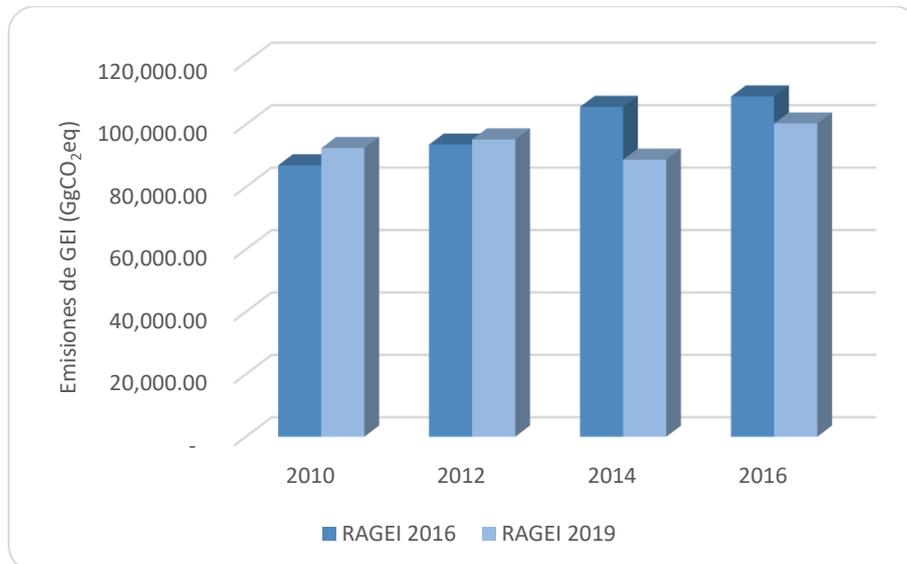
5.2.2. Actualización de emisiones de la serie temporal

La elaboración del RAGEI 2019 incluye nuevas y mejores metodologías, datos de actividad y factores de emisión que fueron aplicadas a toda la serie de emisiones del periodo 2008 – 2019, lo cual implicó realizar recálculos de los años reportados previamente en RAGEI 2016.

En la Figura 7 se presentan las diferencias entre los resultados derivadas de los recálculos del RAGEI 2019. Asimismo, en la

Tabla 15 se presentan, por subcategorías, las diferencias derivadas de los recálculos en el sector UTCUTS. Como se observa, las mejoras realizadas conllevaron cambios en los resultados en las emisiones GEI reportadas previamente.

Figura 7. Serie temporal de emisiones de GEI (GgCO₂eq) originales y actualizadas



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15. Serie temporal de emisiones de GEI originales y actualizadas (GgCO₂eq)

| Código | 1994 | 2000 | 2005 | 2008 | 2009 | 2010 | | | 2011 | 2012 | | | 2013 | 2014 | | | 2015 | 2016 | | | 2017 | 2018 | 2019 |
|--------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------|----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------|----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------|----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | Emisiones GEI [GgCO ₂ eq] | | | Emisiones GEI [GgCO ₂ eq] | Emisiones GEI [GgCO ₂ eq] | | | Emisiones GEI [GgCO ₂ eq] | Emisiones GEI [GgCO ₂ eq] | | | Emisiones GEI [GgCO ₂ eq] | Emisiones GEI [GgCO ₂ eq] | | | Emisiones GEI [GgCO ₂ eq] | Emisiones GEI [GgCO ₂ eq] | Emisiones GEI [GgCO ₂ eq] |
| | O | O | O | A | A | O | A | Δ [%] | A | O | A | Δ [%] | A | O | A | Δ [%] | A | O | A | Δ [%] | A | A | A |
| 3.B | 68,651.25 | 160,218.12 | 87,299.14 | 104,179.92 | 98,364.70 | 86,943.68 | 92,448.20 | 6.33% | 93,928.60 | 93,585.96 | 95,217.18 | 1.74% | 112,048.87 | 105,649.34 | 88,757.06 | -15.99% | 80,707.94 | 108,991.29 | 100,342.76 | -7.94% | 76,199.37 | 75,282.39 | 100,794.05 |
| 3.B.1 | 26,560.99 | 29,462.40 | 29,078.92 | 26,387.34 | 23,127.71 | 17,157.66 | 19,695.68 | 14.79% | 16,631.37 | 13,697.41 | 15,147.29 | 10.59% | 12,271.09 | 11,178.46 | 12,459.74 | 11.46% | 11,899.09 | 9,799.32 | 8,617.11 | -12.06% | 9,160.95 | 8,143.05 | 6,281.68 |
| 3.B.1.a | 26,560.99 | 29,462.40 | 29,078.92 | 27,020.36 | 23,654.50 | 17,157.66 | 20,275.26 | 18.17% | 17,744.85 | 13,697.41 | 16,245.63 | 18.60% | 13,589.89 | 12,136.94 | 13,942.48 | 14.88% | 13,346.54 | 10,837.10 | 11,072.79 | 2.17% | 10,725.40 | 9,962.09 | 8,243.92 |
| 3.B.1.b | | | | -633.02 | -526.80 | | -579.58 | | -1,113.48 | | -1,098.33 | | -1,318.80 | -958.48 | -1,482.75 | 54.70% | -1,447.45 | -1,037.78 | -2,455.67 | 136.63% | -1,564.44 | -1,819.03 | -1,962.24 |
| 3.B.2 | 11,629.91 | 37,355.75 | 19,130.84 | 58,379.03 | 51,149.02 | 18,897.84 | 53,703.20 | 184.18% | 51,683.96 | 37,701.12 | 60,941.44 | 61.64% | 70,168.61 | 54,301.89 | 49,400.85 | -9.03% | 49,225.24 | 51,450.82 | 64,470.69 | 25.31% | 48,161.85 | 50,008.67 | 62,542.20 |
| 3.B.2.a | - | - | -110.07 | -346.68 | -312.83 | -492.76 | -432.57 | -12.22% | -493.07 | -686.72 | -616.08 | -10.29% | -8.93 | -271.40 | -198.72 | -26.78% | -225.14 | -249.62 | -172.52 | -30.89% | -391.80 | -144.98 | -13.74 |
| 3.B.2.b | 11,629.91 | 37,355.75 | 19,240.91 | 58,725.71 | 51,461.84 | 19,390.61 | 54,135.77 | 179.19% | 52,177.03 | 38,387.84 | 61,557.52 | 60.36% | 70,177.54 | 54,573.29 | 49,599.57 | -9.11% | 49,450.39 | 51,700.44 | 64,643.22 | 25.03% | 48,553.65 | 50,153.65 | 62,555.94 |
| 3.B.3 | 30,067.13 | 91,616.23 | 37,516.25 | 13,636.26 | 23,540.24 | 48,177.92 | 16,974.67 | -64.77% | 18,078.34 | 38,161.24 | 18,284.31 | -52.09% | 23,159.70 | 33,511.05 | 22,126.54 | -33.97% | 18,182.01 | 41,309.08 | 22,655.35 | -45.16% | 14,272.17 | 12,781.28 | 24,463.12 |
| 3.B.3.b | 30,067.13 | 91,616.23 | 37,516.25 | 13,636.26 | 23,540.24 | 48,177.92 | 16,974.67 | -64.77% | 18,078.34 | 38,161.24 | 18,284.31 | -52.09% | 23,159.70 | 33,511.05 | 22,126.54 | -33.97% | 18,182.01 | 41,309.08 | 22,655.35 | -45.16% | 14,272.17 | 12,781.28 | 24,463.12 |
| 3.B.5 | 242.64 | 1,032.79 | 548.39 | 5,635.05 | 379.47 | 2,161.59 | 1,932.40 | -10.60% | 7,330.59 | 3,650.59 | 642.50 | -82.40% | 6,310.97 | 5,163.79 | 4,643.34 | -10.08% | 1,286.02 | 5,038.23 | 4,492.54 | -10.83% | 4,178.20 | 3,913.52 | 7,078.75 |
| 3.B.5.b | 242.64 | 1,032.79 | 548.39 | 5,635.05 | 379.47 | 2,161.59 | 1,932.40 | -10.60% | 7,330.59 | 3,650.59 | 642.50 | -82.40% | 6,310.97 | 5,163.79 | 4,643.34 | -10.08% | 1,286.02 | 5,038.23 | 4,492.54 | -10.83% | 4,178.20 | 3,913.52 | 7,078.75 |
| 3.B.6 | 150.58 | 750.94 | 1,024.73 | 142.25 | 168.27 | 548.67 | 142.25 | -74.07% | 204.34 | 375.59 | 201.63 | -46.32% | 138.50 | 1,494.15 | 126.60 | -91.53% | 115.57 | 1,393.83 | 107.05 | -92.32% | 426.20 | 435.87 | 428.31 |
| 3.B.6.b | 150.58 | 750.94 | 1,024.73 | 142.25 | 168.27 | 548.67 | 142.25 | -74.07% | 204.34 | 375.59 | 201.63 | -46.32% | 138.50 | 1,494.15 | 126.60 | -91.53% | 115.57 | 1,393.83 | 107.05 | -92.32% | 426.20 | 435.87 | 428.31 |

Nota: O = original, A = actualizado, Δ[%] - Variación de la estimación actual con respecto a la estimación original

Fuente: Elaboración propia

5.3. Resultados de incertidumbre

El análisis de incertidumbre ha permitido identificar las fuentes que poseen incertidumbres combinadas mayores y menores. El valor resultante con menor incertidumbre se dio para la categoría tierras que se convierten en tierras de cultivo con un valor de 18,80%, mientras que el mayor valor fue para la categoría tierras de cultivo que permanecen como tierras de cultivo, con una incertidumbre de 79.1%.

Los resultados de la incertidumbre del sector UTCUTS se presentan en la Tabla 16.

Tabla 16. Niveles de incertidumbres

| Código | Categoría del IPCC | Gas | Emisiones año t | Incertidumbre en los datos de nivel de actividad | Incertidumbre en el factor de emisión | Incertidumbre combinada |
|------------|--|-----------------|---|---|---|----------------------------|
| | | | Datos de entrada GgCO ₂ eq | Datos de entrada % | Datos de entrada % | $\sqrt{E^2 + F^2}$ % |
| 3 | USO DE LA TIERRA, CAMBIO DE USO DE LA TIERRA Y SILVICULTURA | | | | | |
| 3B | Tierras | | | | | |
| 3B1 | Tierras forestales | | | | | |
| 3.B.1.a | Tierras forestales que permanecen como tierras forestales | CO ₂ | 8,243.92 | 48.41% | 53.06% | 71.8% |
| 3.B.1.b | Tierras que se convierten en tierras forestales | CO ₂ | 1,962.24 | -24.25% | -22.21% | 32.9% |
| 3B2 | Tierras de cultivo | | | | | |
| 3.B.2.a | Tierras de cultivo que permanecen como tierras de cultivo | CO ₂ | 13.74 | 25.00% | 75.00% | 79.1% |
| 3.B.2.b | Tierras que se convierten en tierras de cultivo | CO ₂ | 62,551.98 | 18.64% | 2.67% | 18.8% |
| 3B3 | Pastizales | | | | | |
| 3.B.3.b | Tierras que se convierten en pastizales | CO ₂ | 24,463.12 | 34.22% | 2.30% | 34.3% |
| 3B5 | Asentamientos | | | | | |
| 3.B.5.b | Tierras que se convierten en asentamientos | CO ₂ | 7,055.86 | 61.37% | 2.71% | 61.4% |
| 3B6 | Otras tierras | | | | | |
| 3.B.6.b | Tierras que se convierten en otras tierras | CO ₂ | 33.73 | 50.52% | 53.64% | 73.7% |

Fuente: Elaboración propia

6. RESULTADOS POR SUBCATEGORÍA

6.1. Tierras forestales (3B1)

Esta subcategoría comprende la estimación de las emisiones y remociones de GEI debido a cambios en la biomasa, en la materia orgánica muerta y en el carbono orgánico del suelo en las tierras forestales que permanecen como tierras forestales y en las tierras convertidas en tierras forestales. Incluye los cambios en las existencias de carbono en bosques gestionados, debido a las actividades humanas, tales como el establecimiento de plantaciones forestales, la tala comercial, la extracción de madera para su uso como combustible y otras prácticas de gestión.

Para el presente RAGEI, las tierras forestales, así como las tierras en otros usos, se han estratificado en seis ecozonas: selva alta accesible, selva alta de difícil acceso, selva baja, zona hidromórfica, costa y sierra.

6.1.1. Tierras forestales que permanecen como tierras forestales (3B1a)

Las emisiones de GEI en las tierras forestales que permanecen como tierras forestales comprenden la estimación de los cambios producidos en las existencias de carbono en la biomasa aérea, biomasa subterránea, madera muerta, hojarasca y materia orgánica del suelo.

6.1.1.1. Método de cálculo

De acuerdo con las Directrices del IPCC de 2006, las emisiones y remociones de CO₂, basadas en los cambios en las existencias de carbono en cada una de las categorías de uso de la tierra se calculan según la Ecuación 2.3 de las Directrices del IPCC de 2006.

Ecuación 2.3. Cambios en las existencias anuales de carbono para un estrato de una categoría de uso de la tierra como la suma de los cambios de todos los depósitos

$$\Delta C_{LU_i} = \Delta C_{AB} + \Delta C_{BB} + \Delta C_{DW} + \Delta C_{LI} + \Delta C_{SO} + \Delta C_{HWP}$$

Donde:

ΔC_{LU_i} = cambios en las existencias de carbono para un estrato de una categoría de uso de la tierra

Los subíndices se refieren a los siguientes depósitos de carbono:

AB = Biomasa aérea

BB = Biomasa subterránea

DW = Madera muerta

LI = Hojarasca

SO = Suelos

PMR = Productos de madera recolectada

Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4. Capítulo 2. Pág. 2.7. Ecuación 2.3.

A continuación, se describen los cambios en las existencias anuales en los depósitos correspondientes para la subcategoría analizada.

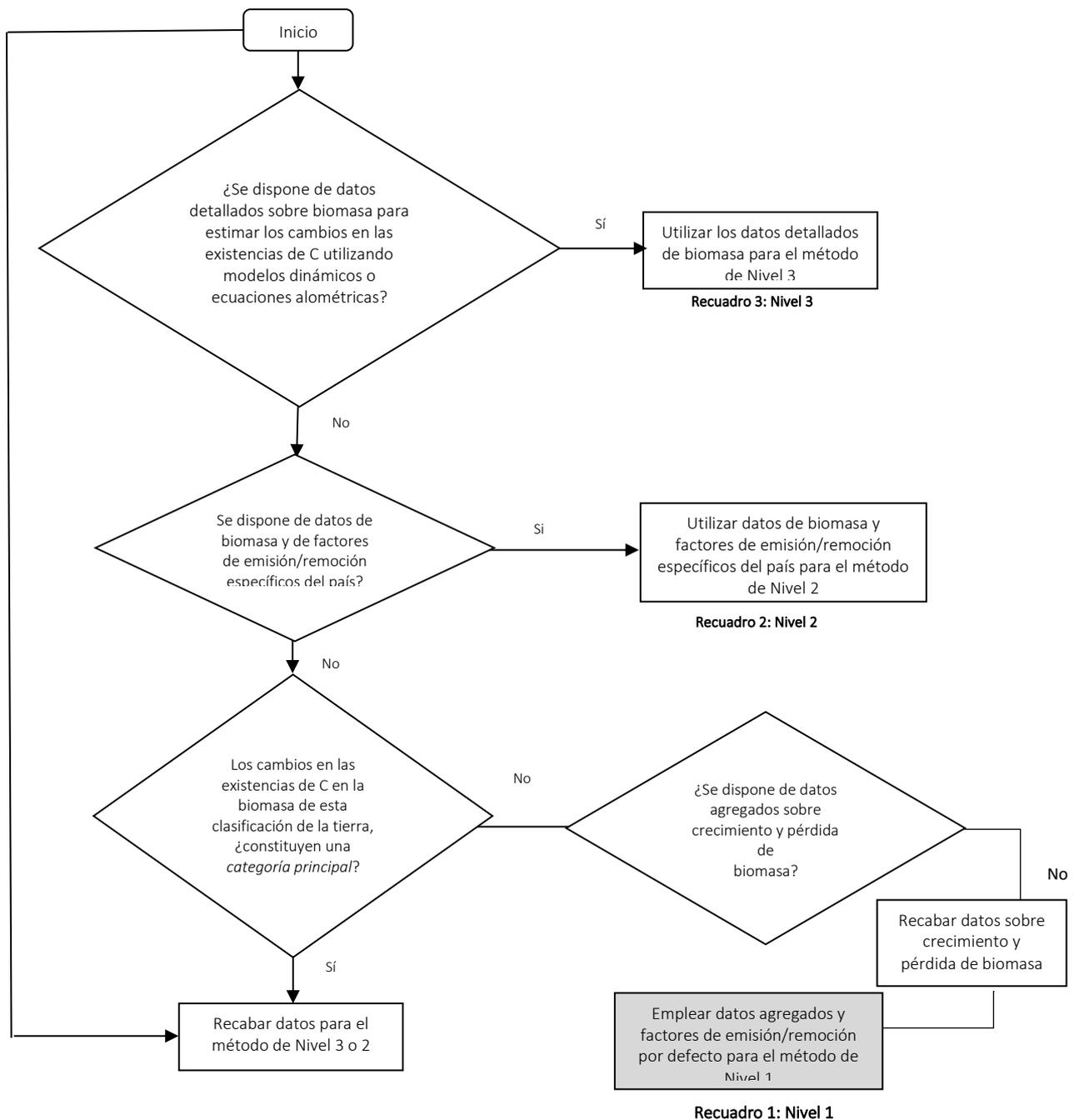
A. Biomasa

Según las Directrices del IPCC de 2006, la metodología de cálculo establece tres niveles de cálculo para estimar los cambios en las existencias de carbono en biomasa, cuyas características se describen a continuación:

- Nivel 1: Estima las emisiones empleando datos agregados y factores de emisión y/o remoción por defecto.
- Nivel 2: Estima las emisiones utilizando datos de biomasa y factores de emisión y/o remoción específicos del país.
- Nivel 3: Estima las emisiones utilizando datos detallados de biomasa.

La Figura 8 presenta el árbol de decisiones de las Directrices del IPCC de 2006 que facilita la elección del nivel de cálculo apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en biomasa en una categoría de uso de la tierra.

Figura 8. Árbol de decisiones genérico para la identificación del nivel apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en biomasa en las tierras forestales que permanecen como tierras forestales.



Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, capítulo 2, página. 2.15

Para el análisis del árbol de decisiones se consideró lo siguiente:

- No se cuenta con factores de emisión específicos del país
- Es una categoría principal

Por lo anterior, a pesar de ser una categoría principal, la disponibilidad de información nacional ocasiona que las estimaciones de este reservorio se realicen aplicando el método de cálculo de Nivel 1.

La estimación del cambio en las existencias de carbono en la biomasa se realiza aplicando el “método de pérdidas y ganancias”, el cual consiste en restar las pérdidas de los incrementos de carbono de la biomasa durante el año de notificación utilizando la Ecuación 2.7 de las Directrices del IPCC de 2006.

Ecuación 2.7. Cambio anual de las existencias de carbono en biomasa (método de pérdidas y ganancias)

$$\Delta C_B = \Delta C_G + \Delta C_L$$

Donde:

- ΔC_B = Cambio anual en las existencias de carbono de la biomasa, t C año⁻¹
- ΔC_G = Aumento anual de las existencias de carbono debido al crecimiento de la biomasa, t C año⁻¹
- ΔC_L = Reducción anual de la existencia de carbono debido a la pérdida de biomasa, t C año⁻¹

Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, capítulo 2, ecuación 2.7, página 2.12

La ecuación utilizada para estimar el incremento anual de las existencias de carbono en la biomasa es la Ecuación 2.9 de las Directrices del IPCC de 2006.

Ecuación 2.9. Incremento anual de las existencias de carbono en biomasa en tierras que permanecen en la misma categoría de uso de la tierra

$$\Delta C_G = \sum_{i,j} (A_{i,j} \times G_{TOTAL_{i,j}} \times CF_{i,j})$$

Donde:

- ΔC_G = incremento anual de las existencias de carbono en biomasa debido al crecimiento de la biomasa en tierras que permanecen en la misma categoría de uso de la tierra por tipo de vegetación y zona climática, ton C año⁻¹
- A = superficie de tierra que permanece en la misma categoría de uso de la tierra, ha
- G_{TOTAL} = crecimiento medio anual de la biomasa, t m.s. ha⁻¹ año⁻¹
- I = zona ecológica i (i = 1 a n)
- J = dominio climático j (j = 1 a m)
- CF = fracción de carbono de materia seca, t C (t m.s.)⁻¹

Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, capítulo 2, ecuación 2.9, página 2.16.

El incremento anual promedio de la biomasa total, que incluye la biomasa subterránea se calcula aplicando la Ecuación 2.10 de las Directrices del IPCC de 2006.

Ecuación 2.10. Incrementos anuales promedio de la biomasa

$$G_{TOTAL} = \sum \{G_w \times (1 + R)\}$$

Donde:

- G_{TOTAL} = crecimiento medio anual de la biomasa, t m.s. ha⁻¹ año⁻¹
- G_w = promedio del crecimiento anual de la biomasa aérea para un tipo específico de vegetación boscosa, t m.s. ha⁻¹ año⁻¹
- R = relación entre la biomasa subterránea y la aérea para un tipo específico de vegetación en t m.s de biomasa subterránea (ton m.s de biomasa aérea)⁻¹

Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, capítulo 2, ecuación 2.10, página 2.16.

La pérdida de biomasa anual es la suma de las pérdidas resultantes de extracción de madera, recolección de leña y de otras pérdidas. La reducción anual de las existencias de carbono en biomasa se calcula aplicando la Ecuación 2.11 de las Directrices del IPCC de 2006.

Ecuación 2.11. Reducción anual de las existencias de carbono en biomasa (método de diferencia de existencias)

$$\Delta C_L = L_{remoción-bosques} + L_{madera-combustible} + L_{perturbación}$$

Donde:

- ΔC_L = reducción anual de las existencias de carbono debida a la pérdida de biomasa en tierras que permanecen en la misma categoría de uso de la tierra, t C año⁻¹
- $L_{remoción-bosques}$ = pérdida anual de carbono debida a remoción de bosques, t C año⁻¹
- $L_{madera-combustible}$ = pérdida anual de carbono en la biomasa debida a remoción de madera combustible, t C año⁻¹
- $L_{perturbación}$ = pérdidas anuales de carbono en la biomasa debidas a perturbaciones, t C año⁻¹

Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, capítulo 2, ecuación 2.11, página 2.17

La estimación de la pérdida anual de carbono debida a talas comerciales se realiza aplicando la Ecuación 2.12 de las Directrices del IPCC de 2006.

Ecuación 2.12. Pérdida anual de carbono en la biomasa por remociones de bosques

$$L_{remoción-bosques} = \{H \times BCRF_R \times (1 + R) \times CF\}$$

Donde:

- $L_{remoción-bosques}$ = pérdida anual de carbono debida a remoción de bosques, ton C año⁻¹
- H = remociones anuales de bosques, rollizos, m³ año⁻¹
- R = relación entre la biomasa subterránea y la aérea para un tipo específico de vegetación en t m.s de biomasa subterránea (t m.s de biomasa aérea)⁻¹
- CF = fracción de carbono de materia seca, t C (t m.s.)⁻¹
- $BCEF_s$ = factor de conversión y expansión de biomasa para la conversión de remociones de madera remociones comercial en volumen a remociones totales de biomasa (incluida la corteza), toneladas de remoción de biomasa (m³ de madera removida)⁻¹

Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, capítulo 2, página 2.18, ecuación 2.12

La estimación de la pérdida anual de carbono debida a recojo de leña o madera para combustible se realiza aplicando la Ecuación 2.13 de las Directrices del IPCC de 2006.

Ecuación 2.13. Pérdida anual de carbono en la biomasa por remociones de madera combustible

$$L_{madera-combustible} = \left[\{FG_{árboles} \times BCRF_R \times (1 + R)\} + FG_{parte} \times D \right] \times CF$$

Donde:

- $L_{madera-combustible}$ = pérdida anual de carbono debida a la remoción de madera combustible, t C año⁻¹
- $FG_{árboles}$ = volumen anual de remoción de madera combustible de árboles enteros, m³ año⁻¹
- FG_{parte} = volumen anual de remoción de madera combustible como parte de árboles, m³ año⁻¹
- R = relación entre la biomasa subterránea y la aérea para un tipo específico de vegetación en t m.s de biomasa subterránea (t m.s de biomasa aérea)⁻¹
- CF = fracción de carbono de materia seca, ton C (ton m.s.)⁻¹
- D = densidad básica de la madera, t m.s m⁻³
- $BCEF_s$ = factor de conversión y expansión de biomasa para la conversión de remociones de madera remociones comercial en volumen a remociones totales de biomasa (incluida la corteza), toneladas de remoción de biomasa (m³ de madera removida)⁻¹

Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, capítulo 2, página 2.18, ecuación 2.13

La estimación de la pérdida anual de carbono debida a perturbaciones naturales como incendios, plagas u otros, se realiza aplicando la Ecuación 2.14 de las Directrices del IPCC de 2006.

Ecuación 2.14. Pérdidas anuales de carbono en la biomasa debidas a perturbaciones

$$L_{\text{perturbación}} = \{A_{\text{perturbación}} \times B_w \times (1 + R) \times CF \times fd\}$$

Donde:

- $L_{\text{perturbación}}$ = otras pérdidas anuales de carbono, t C año⁻¹
- $A_{\text{perturbación}}$ = superficie afectada por perturbaciones, ha año⁻¹
- B_w = biomasa aérea promedio de superficies de tierra afectadas por perturbaciones, t m.s. ha⁻¹
- R = relación entre la biomasa subterránea y la aérea para un tipo específico de vegetación en t m.s de biomasa subterránea (t m.s de biomasa aérea)⁻¹
- CF = fracción de carbono de materia seca, ton C (t m.s.)⁻¹
- fd = fracción de biomasa perdida por perturbaciones

Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, capítulo 2, página 2.19, ecuación 2.14

En el presente RAGEI no se incluye las pérdidas de biomasa debido a perturbaciones ya que no se cuenta con una serie de datos consistentes y de buena calidad para el periodo de reporte.

B. Materia orgánica muerta

El método del Nivel 1 supone que las existencias de carbono en la madera muerta y la hojarasca están en equilibrio en tierras forestales que permanecen como tierras forestales, por lo que se supone que los cambios de las existencias de carbono en los depósitos de MOM son nulos en esta subcategoría.

C. Carbono orgánico del suelo

- ***Suelos minerales***

El método de Nivel 1 supone que las existencias de carbono en los suelos minerales no se modifican por la gestión, por lo que no se estima en tierras forestales que permanecen como tierras forestales.

- ***Suelos orgánicos***

No se dispone de información nacional sobre área de suelos forestales orgánicos drenados.

6.1.1.2. Datos de actividad

Los datos de actividad de esta subcategoría han sido obtenidos a partir de datos nacionales brindados por instituciones nacionales e internacionales con competencia en el sector. La Tabla 17 presenta un resumen de los datos de actividad empleados por cada reservorio de la subcategoría y las fuentes de información de donde fueron obtenidos. Asimismo, se indican los reservorios que no fueron estimados en el presente inventario y el motivo de su no inclusión.

Tabla 17. Descripción de los datos de actividad para el cálculo de las emisiones en tierras forestales que permanecen como tierras forestales.

| Reservorios | Nivel de actividad IPCC | Detalle de Variaciones a Estimar | Datos de actividad IPCC | Dato Nacional | Fuente de información | Comentarios |
|-------------|--|---|--|---|---|---|
| Biomasa | Cambios de las existencias de carbono en biomasa | Incremento anual de existencias de carbono de biomasa (biomasa aérea y subterránea) | Superficie de tierras forestales que siguen siendo tierras forestales (ha) | Superficies anuales de permanencia y conversión del uso de la tierra, para cuatro ecozonas amazónica, para todas las categorías de uso de la tierra | Ministerio del Ambiente (2022). Nivel de referencia de emisiones forestales por deforestación bruta del Perú en el bioma amazónico. | Superficies anuales de permanencia y conversión del uso de la tierra, para cuatro ecozonas amazónica, para todas las categorías de uso de la tierra |
| | | | | Superficie de Bosques nativos bajo la modalidad de concesiones forestales con certificación de manejo forestal (ha) | FSC 2022. Datos y cifras. Iniciativas de certificación forestal voluntaria Perú. Mes diciembre. | La información base para la construcción de las matrices de uso y cambio de uso de la tierra en los biomas de Costa y Sierra fue la información satelital descargada de la <i>European Space Agency</i> para los periodos 1994-2000, 2000-2005, 2005-2010, 2010-2012, 2012-2014, 2014-2016 y 2016-2019. |
| | | Pérdida anual de carbono por | Volumen anual de | Producción de madera rolliza | Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. Servicio Nacional Forestal y de Fauna | La información es descargada de la página oficial de FSC, donde se encuentran los datos y cifras de las iniciativas en bosques con certificación de manejo forestal en concesiones forestales. La información para el año analizado es descargada en formato Excel. La superficie reportada corresponde a la superficie acumulada hasta el mes de diciembre del año de reporte. |

| Reservorios | Nivel de actividad IPCC | Detalle de Variaciones a Estimar | Datos de actividad IPCC | Dato Nacional | Fuente de información | Comentarios |
|-------------------------|--|--|---|---|--|---|
| | | extracción de madera | madera rolliza extraída (m ³ /año) | por especie (m ³ /año) | Silvestre (2020). Anuario forestal y de fauna silvestre 2019. | |
| | | Pérdida anual de carbono por extracción leña | Volumen anual de leña recogida (m ³ /año) | Consumo estimado anual de leña a nivel nacional (m ³ /año) | Instituto Nacional de Estadística e Informática (s/f). Estadísticas de Población y Vivienda. Recuperado de Instituto Nacional de Estadística e Informática (s/f). Estadísticas de Medioambiente. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (2020). Anuario forestal y de fauna silvestre 2019. | Estimación en función a las variables: población total, proporción de familias que consumen leña, consumo de leña per cápita por año. |
| | | Pérdida anual de carbono por perturbaciones | No estimado. No se dispone de información nacional para determinar el dato de actividad. | | | |
| Materia orgánica muerta | Cambios de las existencias de carbono en materia orgánica muerta | Cambio anual en las existencias de carbono de la materia orgánica muerta (incluye madera muerta y hojarasca) | El método del Nivel 1 supone que las existencias de carbono en la madera muerta y la hojarasca están en equilibrio, por lo que se supone que los cambios de las existencias de carbono en los depósitos de Materia Orgánica Muerta (MOM) son nulos. | | | |

| Reservorios | Nivel de actividad IPCC | Detalle de Variaciones a Estimar | Datos de actividad IPCC | Dato Nacional | Fuente de información | Comentarios |
|----------------------------|---|---|--|---------------|-----------------------|-------------|
| Carbono orgánico del suelo | Cambios de las existencias de carbono de los suelos | Cambio anual en las existencias de carbono orgánico de los suelos minerales | El método de Nivel 1 supone que las existencias de carbono en los suelos minerales no se modifican por la gestión. | | | |
| | | Pérdida anual de carbono de suelos orgánicos drenados | No se dispone de información nacional sobre área de suelos forestales orgánicos drenados | | | |

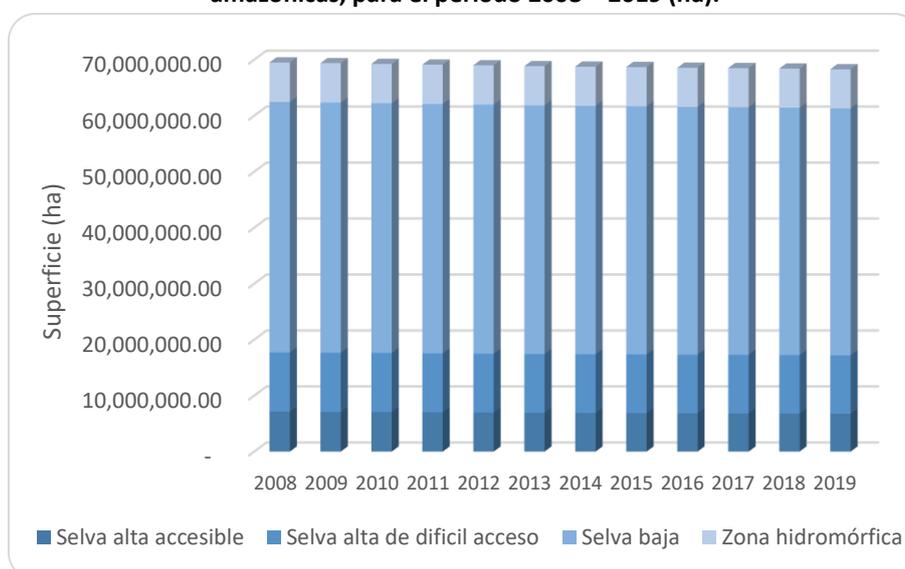
Fuente: Elaboración propia.

En el RAGEI 2019, se utilizó el supuesto de que los bosques nativos con manejo forestal certificado poseen un incremento anual de las existencias de carbono en biomasa, atribuyéndole un crecimiento medio anual de la biomasa por la dinámica de extracción y recuperación debido al manejo al que se encuentran sometidos. En el caso del resto de bosques nativos, se aplicó un supuesto de equilibrio en las reservas de carbono de la biomasa, por lo que no se han estimado remociones por el incremento de su biomasa.

A. Superficie de tierras forestales que permanecen como tierras forestales en cuatro ecozonas amazónicas, para el periodo 2008 – 2019 (ha).

En la Figura 9 se presenta la superficie anual de tierras forestales que permanecen en la misma categoría, en las cuatro ecozonas amazónicas, para el periodo 2008- 2019. De acuerdo con la gráfica, se observa que la superficie de tierras forestales que permanecen como tales tiene una tendencia decreciente durante el periodo de análisis.

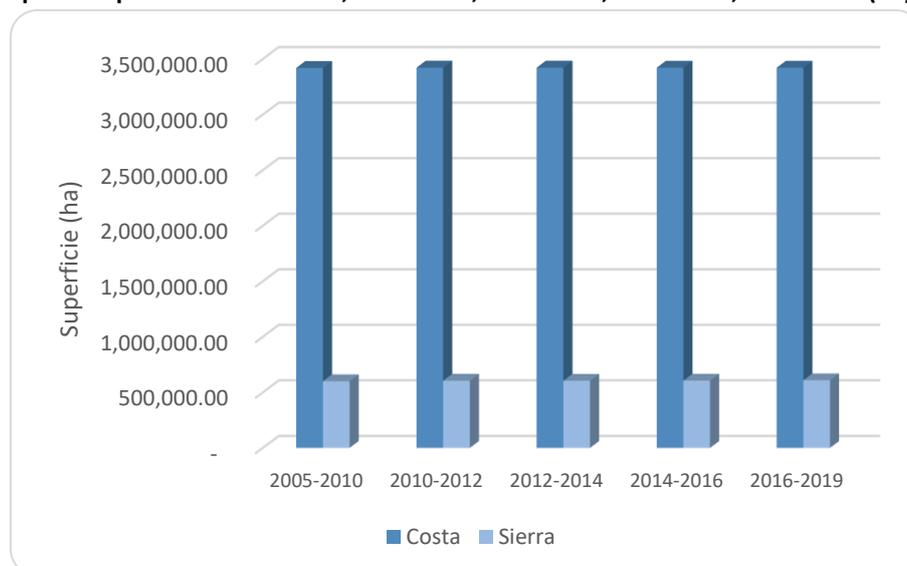
Figura 9. Superficie de tierras forestales que permanecen como tierras forestales en cuatro ecozonas amazónicas, para el periodo 2008 – 2019 (ha).



Fuente: Elaboración propia

Asimismo, la Figura 10 se presenta la superficie de tierras forestales que permanecen en la misma categoría, en ecozonas costa y sierra, para los periodos 2005–2010, 2010-2012, 2012-2014, 2014-2016, 2016-2019.

Figura 10. Superficie de tierras forestales que permanecen como tierras forestales en costa y sierra, para los periodos 2005–2010, 2010-2012, 2012-2014, 2014-2016, 2016-2019 (ha)



Fuente: Elaboración propia

B. Superficie de bosques nativos bajo manejo forestal (ha)

Para esta variable se usa el supuesto de que solo aplican manejo forestal de manera efectiva aquellos bosques bajo la modalidad de concesiones forestales que cuentan con certificación de manejo forestal (ha). La información recopilada para esta variable se presenta en la Tabla 18.

Tabla 18. Superficie de bosque nativo con certificación de manejo forestal sostenible en el periodo 2014 -2019 (GgCO₂eq)

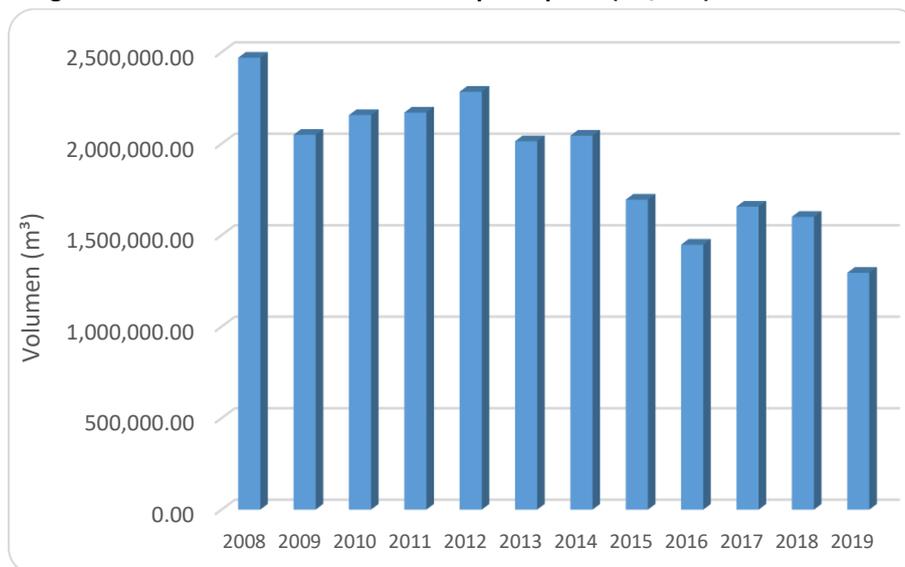
| Año | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Superficie de bosque nativo con Manejo Forestal | 743,513.25 | 580,415.00 | 482,745.00 | 805,731.79 | 771,316.79 | 774,678.58 |

Fuente: FSC 2022

C. Volumen anual de madera rolliza extraída

Respecto a las pérdidas, se emplea el volumen anual de madera rolliza extraída, obtenido a partir de la información de producción de madera rolliza por especie (m³/año), que SERFOR recopila anualmente de las guías de transporte de madera, y que a su vez contienen la información sobre la extracción de madera en concesiones forestales. Los valores se presentan en la Figura 11. Se observa que la serie de datos presenta una tendencia decreciente.

Figura 11. Producción de madera rolliza por especie (m³/año) del 2008 al 2019



Fuente: SERFOR 2021

D. Volumen anual de leña recogida

Por otro lado, el volumen anual de leña recogida corresponde al consumo estimado anual de leña a nivel nacional (m³/año). Este valor es estimado en función a las variables de: i) población total, ii) porcentaje de la población que consume leña para el año del Inventario - ambos datos reportados por el Instituto Nacional de Estadísticas e Información (INEI), y iii) porcentaje de consumo de leña per cápita por región, reportado en los Anuario Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR 2022). La siguiente ecuación resume el procedimiento.

Ecuación 1. Volumen anual de leña recogida

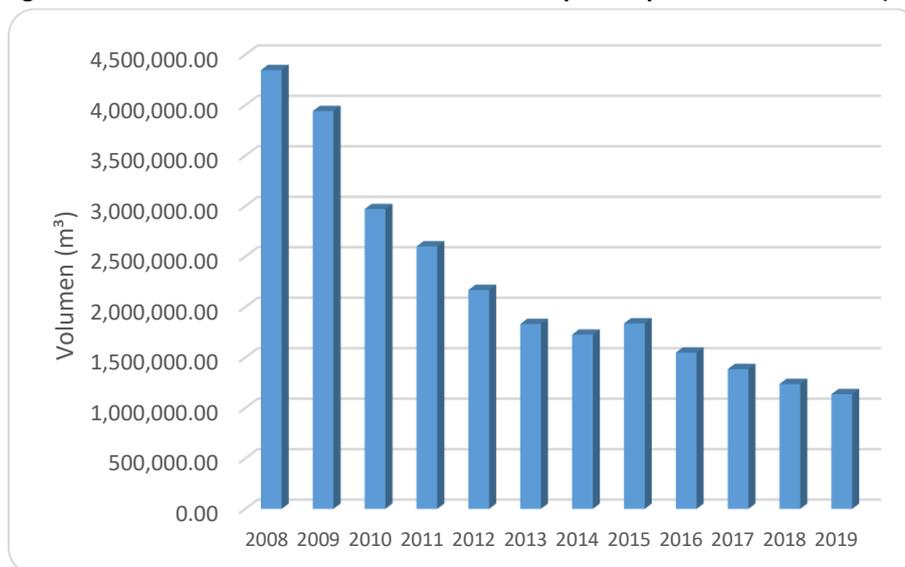
$$Vol_{leña\ consumida} = Pob_{total} * Pob_{consume\ leña} * \% \text{ Consumo leña}_{por\ región}$$

Fuente: Elaboración propia

Los valores del consumo de leña por departamento se estiman usando los índices calculados por la FAO, donde se estimó un consumo anual per cápita de la población rural de la Costa de 0.5 m³, la Sierra 1.1 m³ y la Amazonía 1.3 m³.

El volumen anual de leña consumida se calcula mediante la aplicación de la Ecuación 1. La serie de datos de la variable estimada consumo anual de leña a nivel nacional (m³), se presenta en la Figura 12. Se observa que la serie de datos presenta una tendencia decreciente.

Figura 12. Consumo anual de leña a nivel nacional para el periodo 2008 – 2019 (m³)



Fuente: Elaboración propia, en base a datos de INEI y SERFOR

Por último, el RAGEI 2019 no incluye en la estimación a las pérdidas anuales por perturbaciones debido a que no se cuenta con datos de actividad de áreas bajo incendios forestales para toda la serie temporal.

6.1.1.3. Factores de emisión y conversión

A. Factores de emisión

Las Directrices del IPCC de 2006 brindan factores de emisión por defecto para todos los parámetros evaluados. La Tabla 19 brinda el detalle de los factores de emisión utilizados para los cálculos de variación de carbono en el reservorio de biomasa (biomasa aérea y radicular).

Tabla 19. Factores de emisión empleados para estimar ganancias y pérdidas de carbono del reservorio de biomasa

| Factores | Valor | Unidad | Fuente de información |
|--|-------|--|---|
| Fracción de carbono de la biomasa forestal aérea | 0.47 | t C (m.s.) ⁻¹ | Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, capítulo 4, cuadro 4.3 |
| Crecimiento medio anual de la biomasa aérea en bosques naturales para bosque tropical lluvioso. | 1.00 | t m.s./ha/año | Directrices del IPCC de 2006, volumen 4, capítulo 4, cuadro 4.9 |
| Relación biomasa subterránea/ biomasa aérea para Amazonía | 0.27 | t raíz m.s./t m.s. | Estimado a partir de MINAM 2021. |
| Factores de conversión y expansión de biomasa por defecto (BCEF) para Bosques naturales tropicales húmedos, con existencias en crecimiento entre 80 m ³ -120 m ³ | 1.67 | t de biomasa (m ³ de volumen de madera) ⁻¹ | Directrices del IPCC de 2006, volumen 4, capítulo 4, cuadro 4.5 |

Fuente: Varias fuentes

6.1.1.4. Análisis de incertidumbres

Para el caso de la incertidumbre de los datos de actividad de la subcategoría, se recurrió a la determinación por juicio de expertos. Para la incertidumbre de los factores de emisión, se utilizaron los valores por defecto de las directrices del IPCC del 2006.

Los valores de incertidumbre combinada para esta subcategoría son presentados en la Tabla 20.

Tabla 20. Incertidumbre de las emisiones de las tierras forestales que permanecen como tierras forestales.

| Código | Fuente | Gas | Estimaciones de GEI año t | Incertidumbre en los datos de nivel de actividad | Incertidumbre en el factor de emisión | Incertidumbre combinada |
|--------|---|-----------------|---------------------------|--|---------------------------------------|-------------------------|
| | | | Datos de entrada | Datos de entrada | Datos de entrada | $\sqrt{(E^2+F^2)}$ |
| | | | GgCO ₂ eq | % | % | % |
| 3B1a | Tierras forestales que permanecen como tierras forestales | CO ₂ | 8,243.92 | 48.41% | 53.06% | 71.8% |

Fuente: Elaboración propia

6.1.1.5. Análisis de resultados

En el año 2019, las emisiones generadas en tierras forestales que permanecen como tierras forestales fueron 8,243.92 GgCO₂eq, que representa el 8.21% de las emisiones del sector.

La Figura 13 presenta cómo se encuentran distribuidas las emisiones y remociones del año 2019 entre los reservorios de carbono, donde el 100.00%, de las emisiones corresponden a los cambios en las existencias de carbono en la biomasa (biomasa aérea y subterránea). Dado que se aplicó un método de cálculo Nivel 1, se asumió que los cambios en existencias de materia orgánica muerta y materia orgánica del suelo se encuentran en equilibrio.

Figura 13. Distribución de las emisiones y remociones de GEI por reservorios de carbono de las tierras forestales que permanecen como tierras forestales en el año 2019 (GgCO₂eq)

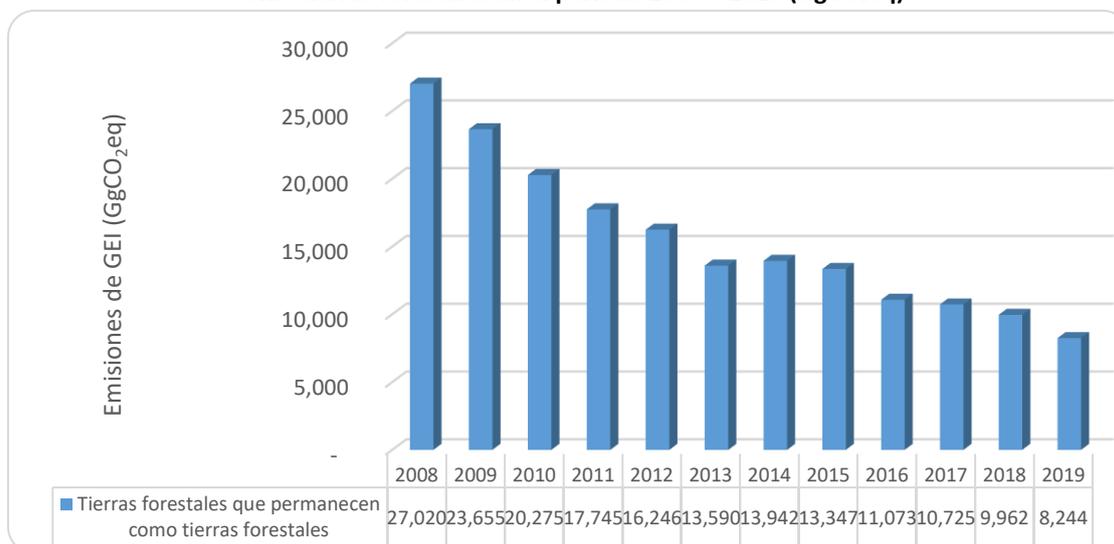


Fuente: Elaboración propia.

6.1.1.6. Actualización de serie temporal

Respecto a la tendencia de las emisiones, en la Figura 14 se aprecia que las emisiones en el año 2019 disminuyeron respecto al año 2018 de 9,962.09 GgCO₂eq a 8,243.92 GgCO₂eq, lo que representa una reducción porcentual de 17.25%.

Figura 14. Tendencia de emisiones de GEI para la subcategoría tierras forestales que permanecen como tierras forestales en el período 2008 – 2019 (GgCO₂eq)



Fuente: Elaboración propia.

6.1.2. Tierras convertidas en tierras forestales (3B1b)

Las emisiones y remociones de GEI en las tierras convertidas en tierras forestales comprenden la estimación de los cambios producidos en las existencias de carbono de la biomasa aérea, biomasa subterránea, madera muerta, hojarasca y carbono orgánico del suelo.

Las tierras gestionadas son convertidas en tierras forestales mediante forestación y reforestación, y mediante métodos de regeneración natural o artificial (incluidas las plantaciones forestales). El estado de las tierras convertidas en tierras forestales se evalúa durante 20 años y solo se ha analizado para las ecozonas costa y sierra.

En el caso de las ecozonas amazónicas, no se ha generado una serie de tiempo que alcance un periodo de análisis de al menos 20 años que permita analizar la dinámica de las superficies de tierras convertidas a tierras forestales y su comportamiento en dicha serie de tiempo. Por lo tanto, para el RAGEI 2019, en esta subcategoría solo se está considerando como dato de actividad a la superficie correspondiente a los cambios ocurrido en el año de reporte.

6.1.2.1. Método de cálculo

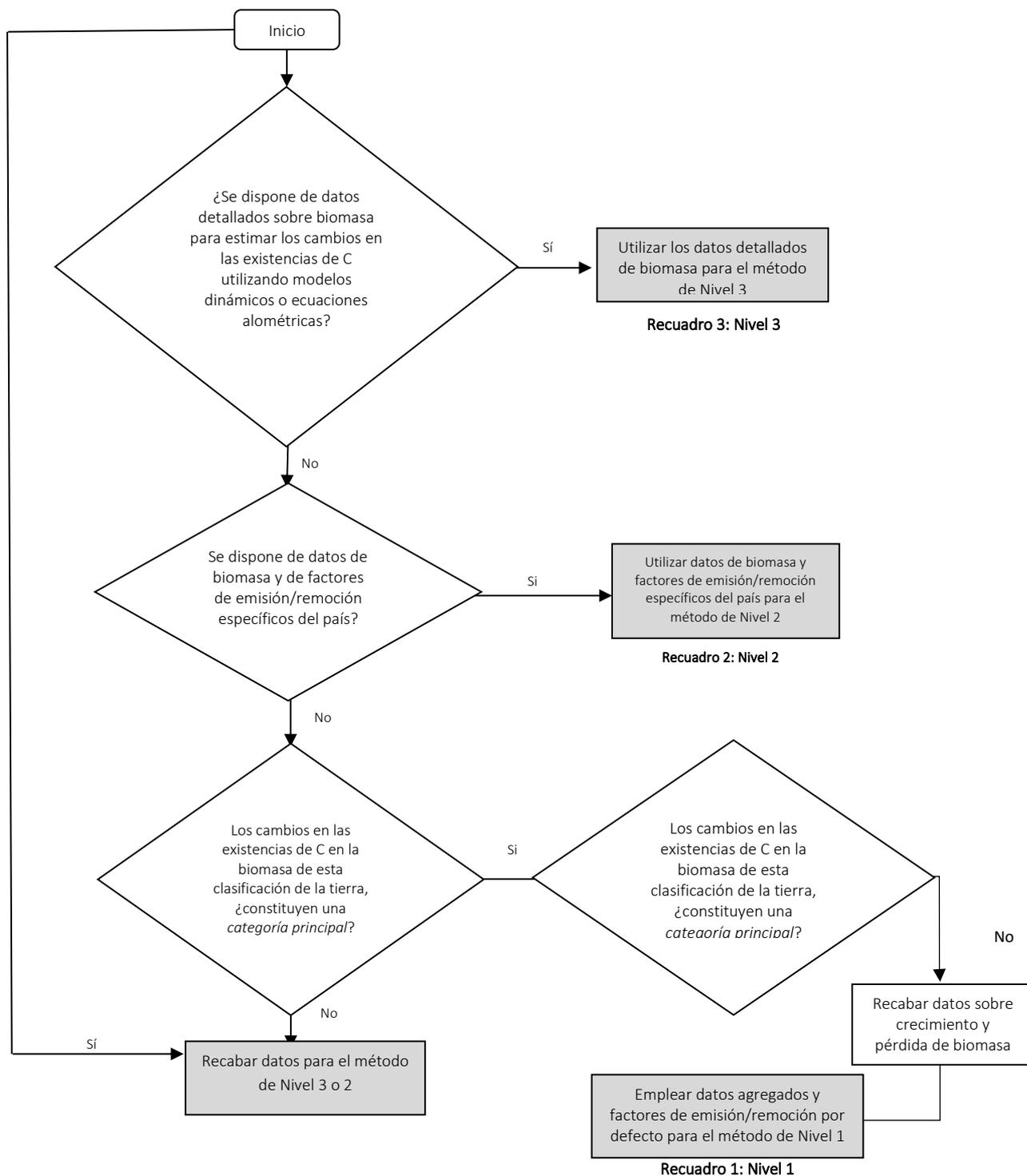
A. Biomasa

Según las Directrices del IPCC de 2006, la metodología de cálculo establece tres niveles de cálculo para estimar los cambios en las existencias de carbono en biomasa, cuyas características se describen a continuación:

- Nivel 1: Estima las emisiones empleando datos agregados y factores de emisión y/o remoción por defecto.
- Nivel 2: Estima las emisiones utilizando datos de biomasa y factores de emisión y/o remoción específicos del país.
- Nivel 3: Estima las emisiones utilizando datos detallados de biomasa.

La Figura 15 presenta el árbol de decisiones de las Directrices del IPCC de 2006 que facilita la elección del nivel de cálculo apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en biomasa en una categoría de uso de la tierra.

Figura 15. Árbol de decisiones genérico para la identificación del nivel apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en biomasa en las tierras convertidas en tierras forestales.



Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, capítulo 2, página. 2.15

Para el análisis del árbol de decisiones se considera lo siguiente:

- No se cuenta con datos de crecimiento de biomasa y de factores de emisión específicos del país
- Es una categoría principal

Por lo anterior, a pesar de ser una categoría principal, la disponibilidad de información nacional ocasiona que las estimaciones de este reservorio se realicen aplicando el método de cálculo de Nivel 1.

La estimación del cambio en las existencias de carbono en la biomasa se realiza aplicando el método de pérdidas y ganancias, que consiste en restar las pérdidas de los incrementos de carbono de la biomasa durante el año de notificación utilizando la ecuación 2.7 de las Directrices del IPCC de 2006.

Ecuación 2.7. Cambio anual de las existencias de carbono en biomasa (Método de pérdidas y ganancias)

$$\Delta C_B = \Delta C_G + \Delta C_L$$

Donde:

- ΔC_B = Cambio anual en las existencias de carbono de la biomasa, t C año⁻¹
 ΔC_G = Aumento anual de las existencias de carbono debido al crecimiento de la biomasa, t C año⁻¹
 ΔC_L = Reducción anual de las existencias de carbono debido a la pérdida de biomasa, t C año⁻¹
 Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen. 4, capítulo 2, ecuación 2.7, página 2.12

La ecuación utilizada para estimar el incremento anual de las existencias de carbono en la biomasa es la Ecuación 2.9 de las Directrices del IPCC de 2006.

Ecuación 2.9. Incremento anual de las existencias de carbono en biomasa en tierras que permanecen en la misma categoría de uso de la tierra

$$\Delta C_G = \sum_{i,j} (A_{i,j} \times G_{TOTALi,j} \times CF_{i,j})$$

Donde:

- ΔC_G = incremento anual de las existencias de carbono en biomasa debido al crecimiento de la biomasa en tierras que permanecen en la misma categoría de uso de la tierra por tipo de vegetación y zona climática, t C año⁻¹
 A = superficie de tierra que permanece en la misma categoría de uso de la tierra, ha
 G_{TOTAL} = crecimiento medio anual de la biomasa, t m.s. ha⁻¹ año⁻¹
 i = zona ecológica i ($i = 1$ a n)
 j = dominio climático j ($j = 1$ a m)
 CF = fracción de carbono de materia seca, t C (t m.s.)⁻¹
 Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, capítulo 2, ecuación 2.9, página 2.16

El incremento anual promedio de la biomasa total, que incluye la biomasa aérea y subterránea. Se calcula picando la ecuación 2.10 de las Directrices del IPCC de 2006.

Ecuación 2.10. Incrementos anuales promedio de la biomasa

$$G_{TOTAL} = \sum \{G_w \times (1 + R)\}$$

Donde:

- G_{TOTAL} = crecimiento medio anual de la biomasa, t m.s. ha⁻¹ año⁻¹
 G_w = promedio del crecimiento anual de la biomasa aérea para un tipo específico de vegetación boscosa, t m.s. ha⁻¹ año⁻¹
 R = relación entre la biomasa subterránea y la aérea para un tipo específico de vegetación en t m.s de biomasa subterránea (ton m.s de biomasa aérea)⁻¹

Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, capítulo 2, ecuación 2.10, página 2.16

Por otro lado, todas las pérdidas por extracción de madera y leña fueron estimadas en la sección de tierras forestales que permanecen como tierras forestales, por lo cual no se contabilizan en esta sección para evitar la doble contabilidad.

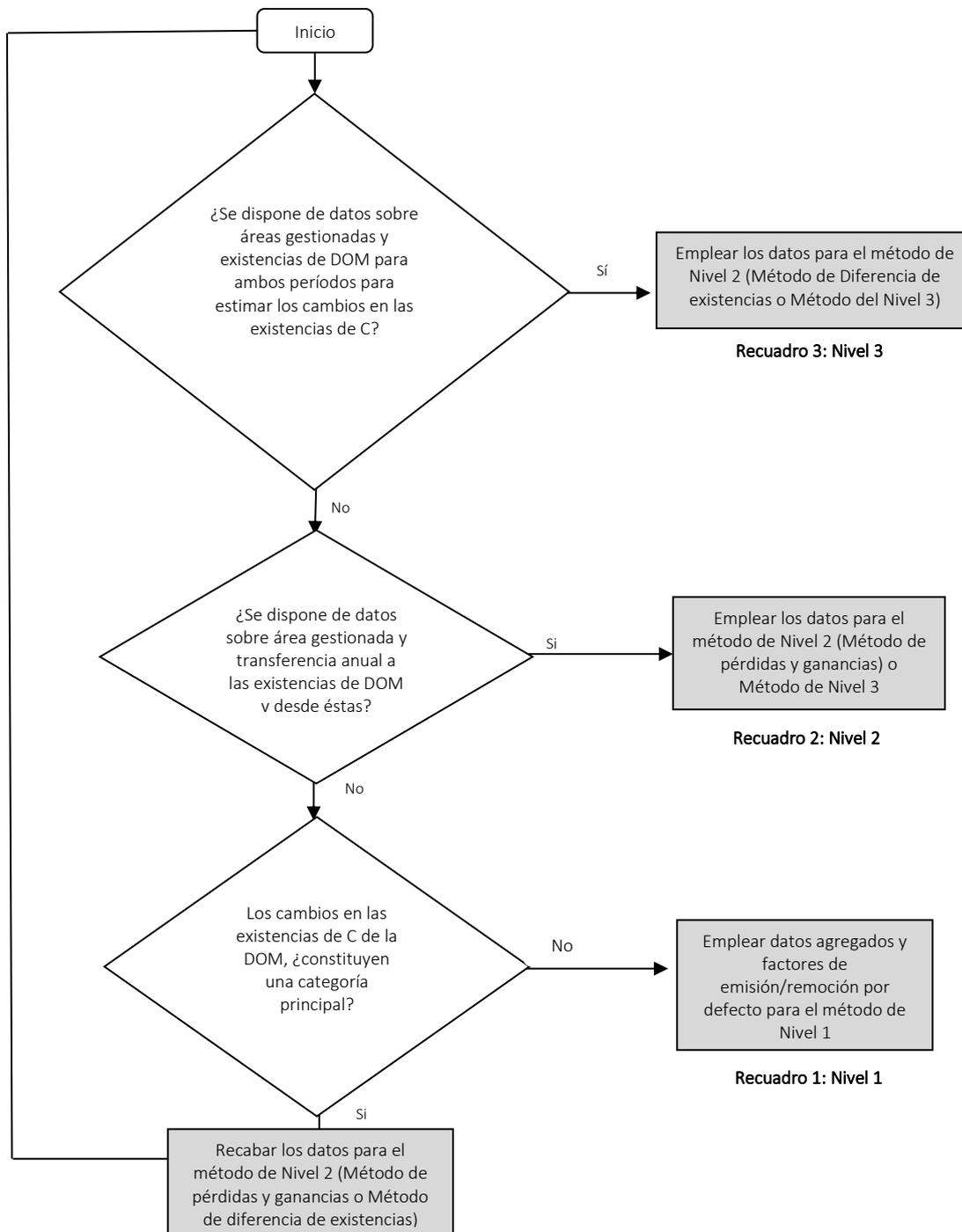
A. Materia orgánica muerta

Según las Directrices del IPCC de 2006, la metodología de cálculo establece tres niveles de cálculo para estimar los cambios en las existencias de carbono en materia orgánica muerta, cuyas características se describen a continuación:

- Nivel 1: Estima las emisiones empleando datos agregados y factores de emisión y/o remoción por defecto.
- Nivel 2: Estima las emisiones utilizando datos sobre transferencia anual y factores de emisión y/o remoción específicos del país.
- Nivel 3: Estima las emisiones utilizando datos detallados de existencias de MOM.

La Figura 16 presenta el árbol de decisiones de las Directrices del IPCC de 2006 que facilita la elección del nivel de cálculo apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en materia orgánica muerta en una categoría de uso de la tierra.

Figura 16. Árbol de decisiones genérico para la identificación del nivel apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en materia orgánica muerta en las tierras convertidas en forestales.



Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, capítulo 2, página 2.25

Para el análisis del árbol de decisiones se considera lo siguiente:

- Es una categoría principal
- Se cuenta con factores de emisión específicos del país para el contenido de carbono en la materia orgánica muerta de los bosques.

Por lo anterior, las estimaciones de las emisiones cambios en las existencias de carbono en materia orgánica muerta en tierras convertidas en tierras forestales, se realizan aplicando una combinación el método de cálculo de Nivel 1, dependiendo de la disponibilidad de información.

La ecuación 2.23 de las Directrices del IPCC de 2006 resume el cálculo para estimar los cambios anuales de las existencias de carbono en depósitos de materia orgánica muerta.

Ecuación 2.23. Cambio anual en las existencias de carbono en madera muerta y hojarasca debido a la conversión en el uso de la tierra

$$\Delta C_{DOM} = \frac{(C_o - C_n) \times A_{on}}{T_{on}}$$

Donde:

- ΔC_{DOM} = cambio en las existencias anuales de carbono en madera muerta u hojarasca, t C año⁻¹
- C_o = cambio en las existencias de carbono de la madera muerta, t C año⁻¹
- C_n = cambio en las existencias de carbono de la hojarasca, t C año⁻¹
- A_{on} = superficie sometida a la conversión de la vieja a la nueva categoría de uso de la tierra, ha
- T_{on} = lapso en el que se produce la transición de la vieja a la nueva categoría de uso de la tierra, año. El valor por defecto del Nivel 1 es de 20 años para los incrementos de existencias de carbono y de 1 año para las pérdidas de carbono.

Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, capítulo 2, ecuación 2.23, página 2.29

B. Carbono del suelo

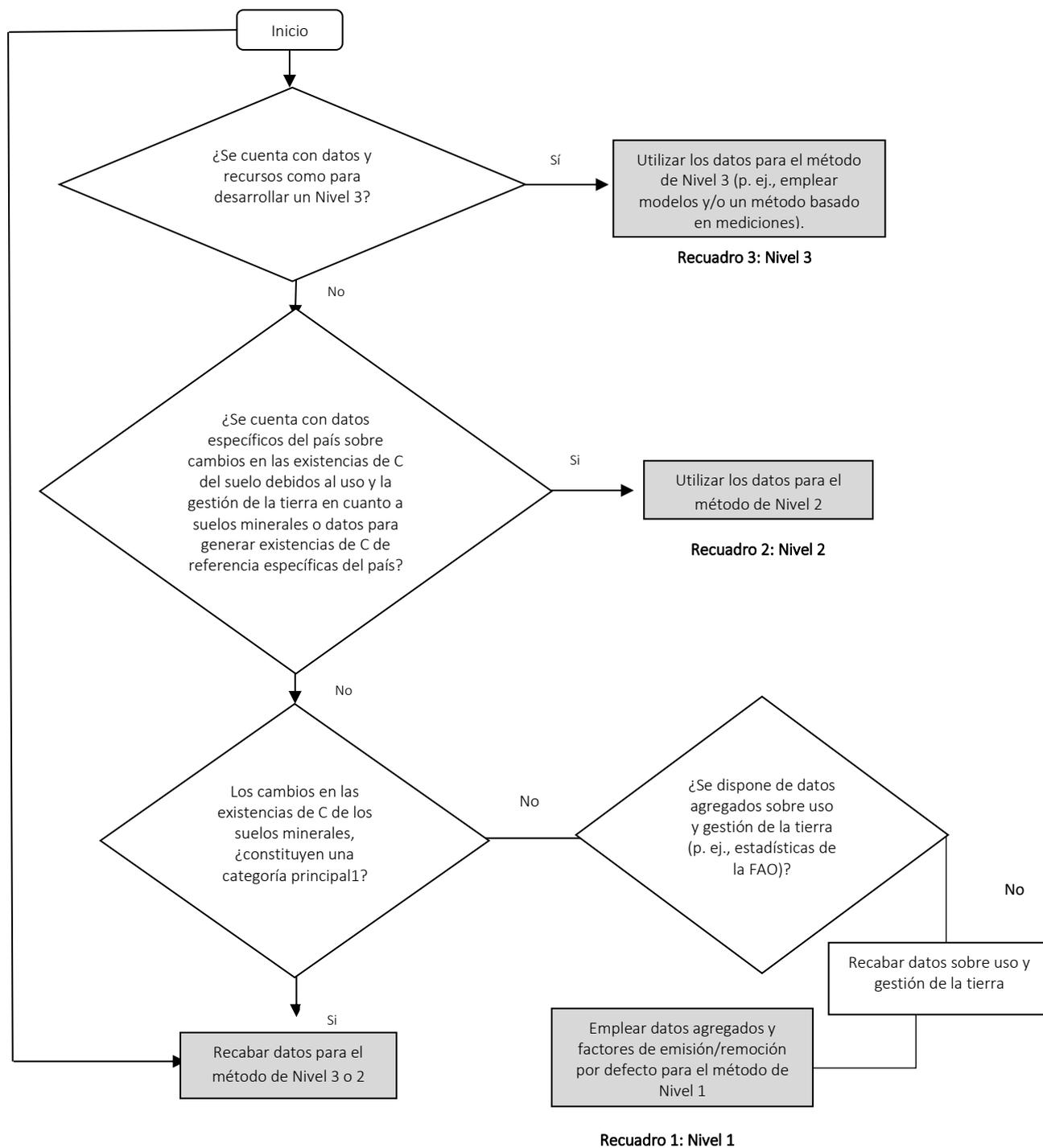
Suelos minerales

Según las Directrices del IPCC de 2006, la metodología de cálculo establece tres niveles de cálculo para estimar los cambios en las existencias de carbono del suelo, cuyas características se describen a continuación:

- Nivel 1: Estima las emisiones empleando datos agregados y factores de emisión y/o remoción por defecto.
- Nivel 2: Estima las emisiones utilizando datos específicos del país sobre cambios en las existencias de C del suelo debidos al uso y la gestión de la tierra en cuanto a suelos minerales o datos para generar existencias de C de referencia específicas del país
- Nivel 3: Estima las emisiones utilizando datos detallados de basados en modelos y/o mediciones.

La Figura 17 presenta el árbol de decisiones de las Directrices del IPCC de 2006 que facilita la elección del nivel de cálculo apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en suelos minerales en una categoría de uso de la tierra.

Figura 17. Árbol de decisiones genérico para la identificación del nivel apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en suelos minerales para las tierras convertidas en tierras forestales.



Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, capítulo 2, página 2.37

Para el análisis del árbol de decisiones se considera lo siguiente:

- No se cuenta con factores de emisión específicos del país.

Por lo anterior, las estimaciones de las emisiones cambios en las existencias de carbono en suelos minerales en tierras convertidas en tierras forestales, se realizan aplicando el método de cálculo de Nivel 1.

Ecuación 2.25. Cambio anual en las existencias de carbono orgánico en suelos minerales

$$\Delta C_{Minerales} = \frac{(SOC_o - SOC_{0-T})}{D}$$

$$SOC = \sum_{c,s,i} (SOC_{REF,c,s,i} \times F_{LU,c,s,i} \times F_{MG,c,s,i} \times F_{I,c,s,i} \times A_{c,s,i})$$

(Nota: En esta ecuación, se utiliza T en lugar de D cuando T es ≥ 20 años)

Donde:

- $\Delta C_{Minerales}$ = cambio anual en las existencias de carbono de los suelos minerales, t C año⁻¹
- SOC_o = existencias de carbono orgánico en el suelo en el último año de un período de inventario, t C año⁻¹
- SOC_{0-T} = existencias de carbono orgánico en el suelo al comienzo de un período de inventario, t C año⁻¹
- SOC_o y SOC_{0-T} se calculan utilizando la ecuación del SOC del recuadro donde se asignan los factores de referencia para existencias y cambios de existencias de carbono según las actividades de uso y gestión de la tierra y las superficies respectivas en cada uno de los momentos (momento = 0 y momento = 0-T)
- T = cantidad de años de un período de inventario dado, año
- D = Dependencia temporal de los factores de cambio de existencias, que es el lapso por defecto para la transición entre los valores de equilibrio del SOC, año. Habitualmente 20 años, pero depende de las hipótesis que se apliquen en el cálculo de los factores FLU, FMG y FI. Si T es mayor que D, úsese el valor de T para obtener la tasa anual de cambio durante el tiempo de inventario (0 – T años).
- c = representa las zonas climáticas, s los tipos de suelo, e i el conjunto de sistemas de gestión que se dan en un país dado.
- F_{MG} = factor de cambio de existencias para sistemas de uso de la tierra o subsistemas de un uso de la tierra en particular, sin dimensión
- F_{LU} = factor de cambio de existencias para el régimen de gestión, sin dimensión
- F_I = factor de cambio de existencias para el aporte de materia orgánica, sin dimensión
- Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, capítulo 2, ecuación 2.25, página 2.34

Suelos orgánicos

No se dispone de información nacional sobre área de suelos forestales orgánicos drenados, por lo que el RAGEI 2019 no incluye las emisiones por este reservorio.

6.1.2.2. Datos de actividad

Los datos de actividad de esta subcategoría han sido obtenidos a partir de dos insumos: las superficies de permanencias y cambios por categoría de uso de tierra para cuatro ecozonas amazónicas, para el periodo 2008-2019; y las matrices de uso y cambio de uso determinada entre dos años de inventarios consecutivos para costa y sierra, para los periodos 2005–2010, 2010-2012, 2012-2014, 2014-2016, 2016-2019.

Asimismo, para las ecozonas costa y sierra, se han elaborado las matrices de uso y cambio de uso de tierras que consideran un periodo de transición de 20 años. Por otro lado, a partir de un juicio de expertos, se ha desagregado la superficie en conversión hacia tierras forestales en dos clases: conversiones por instalación de plantaciones forestales y conversiones por regeneración del bosque nativo.

La Tabla 21 presenta un resumen de los datos de actividad requeridos por cada reservorio de la subcategoría y las fuentes de información de donde fueron obtenidos. Asimismo, se indican los reservorios que no fueron estimados en el presente reporte y el motivo de su no inclusión.

Tabla 21. Descripción de los datos de actividad para el cálculo de las emisiones en tierras convertidas en tierras forestales

| Reservorios | Nivel de actividad IPCC | Detalle de Variaciones a Estimar | Datos de actividad IPCC | Dato Nacional | Fuente de información | Comentarios | |
|-------------|---|---|---|--|---|---|--|
| Biomasa | Cambios de las existencias de carbono en la biomasa | Incremento anual de existencias de carbono de biomasa (biomasa aérea y subterránea) | Superficie bajo conversión hacia una nueva categoría de uso de suelo | Superficie anual de tierras convertidas en tierras forestales (ha) | Ministerio del Ambiente (2022). Nivel de referencia de emisiones forestales por deforestación bruta del Perú en el bioma amazónico. | Superficies anuales de permanencia y conversión del uso de la tierra, para cuatro ecozonas amazónica, para todas las categorías de uso de la tierra en el año de reporte | |
| | | | | Superficie acumulada de tierras convertidas en tierras forestales (ha) | Ministerio del Ambiente (2022). Informe de consultoría: "Análisis espacial con teledetección y elaboración de matrices de uso y cambio de uso de suelo para los biomas de Costa y Sierra". Documento interno | La información base para la construcción de las matrices de uso y cambio de uso de la tierra en los biomas de Costa y Sierra fue la información satelital descargada de la <i>European Space Agency</i> para los periodos 1994-2000, 2000-2005, 2005-2010, 2010-2012, 2012-2014, 2014-2016 y 2016-2019. | |
| | | | | Dictamen de expertos | A partir de un dictamen de expertos, se determinó las proporciones de desagregación de las superficies de tierras convertidas en tierras forestales por regeneración natural del bosque nativo y plantaciones forestales. | | |
| | | Pérdida anual de carbono por extracción madera | Todas las pérdidas por extracción de madera fueron calculadas en TTF | | | | |
| | | Pérdida anual de carbono por extracción leña | Todas las pérdidas por extracción de madera fueron calculadas en TTF | | | | |
| | | Pérdida anual de carbono por perturbaciones | No se dispone de información nacional para determinar el dato de actividad. | | | | |

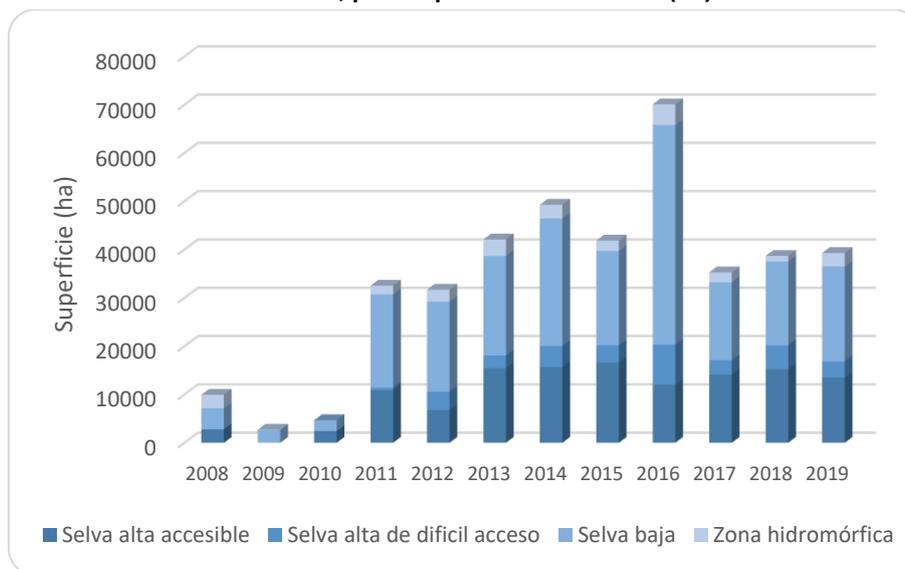
| Reservorios | Nivel de actividad IPCC | Detalle de Variaciones a Estimar | Datos de actividad IPCC | Dato Nacional | Fuente de información | Comentarios |
|----------------------------|--|--|--|---|--|---|
| Materia orgánica muerta | Cambios de las existencias de carbono en materia orgánica muerta | Cambio anual en las existencias de carbono de la materia orgánica muerta (incluye madera muerta y hojarasca) | Superficie bajo conversión hacia una nueva categoría de uso de suelo | Superficie anual de tierras convertidas en tierras forestales (ha) | Ministerio del Ambiente (2021). Datos de actividad para el Nivel de Referencia de Emisiones Forestales por deforestación en la Amazonía peruana. | Superficies anuales de permanencia y conversión del uso de la tierra, para cuatro ecozonas amazónica, para todas las categorías de uso de la tierra en el año de reporte |
| | | | | | Ministerio del Ambiente (2022). Informe de consultoría: "Análisis espacial con teledetección y elaboración de matrices de uso y cambio de uso de suelo para los biomas de Costa y Sierra". Documento interno | La información base para la construcción de las matrices de uso y cambio de uso de la tierra en los biomas de Costa y Sierra fue la información satelital descargada de la <i>European Space Agency</i> para los periodos 1994-2000, 2000-2005, 2005-2010, 2010-2012, 2012-2014, 2014-2016 y 2016-2019. |
| Carbono orgánico del suelo | Cambios de las existencias de carbono de los suelos | Cambio anual en las existencias de carbono orgánico de los suelos minerales | Superficie bajo conversión hacia una nueva categoría de uso de suelo | Superficie de tierras convertidas en tierras forestales (ha) – Acumulada en 20 años | Ministerio del Ambiente (2022). Informe de consultoría: "Análisis espacial con teledetección y elaboración de matrices de uso y cambio de uso de suelo para los biomas de Costa y Sierra". Documento interno | La información base para la construcción de las matrices de uso y cambio de uso de la tierra en los biomas de Costa y Sierra fue la información satelital descargada de la <i>European Space Agency</i> para los años 1994, 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019. |
| | | Pérdida anual de carbono de suelos orgánicos drenados | No se dispone de información nacional sobre área de suelos forestales orgánicos drenados | | | |

Fuente: Elaboración propia.

A. Superficie anual de tierras convertidas en tierras de forestales

En la Figura 18 se presenta la superficie anual de tierras que se convierten en tierras forestales en el periodo 2008 – 2019. Se observa que ecozona selva baja presenta la mayor superficie de tierras convertidas en tierras forestales a lo largo de los años. Asimismo, a nivel de Amazonía se presenta una tendencia creciente entre los años 2009 y 2014, con un año pico en el 2016. Cabe resaltar que en el RAGEI 2019 se aplica el supuesto de que las tierras convertidas en tierras forestales en la Amazonía ocurren por regeneración del bosque nativo.

Figura 18. Superficie anual de tierras que se convierten en tierras forestales en cuatro ecozonas amazónicas, para el periodo 2008 – 2019 (ha).



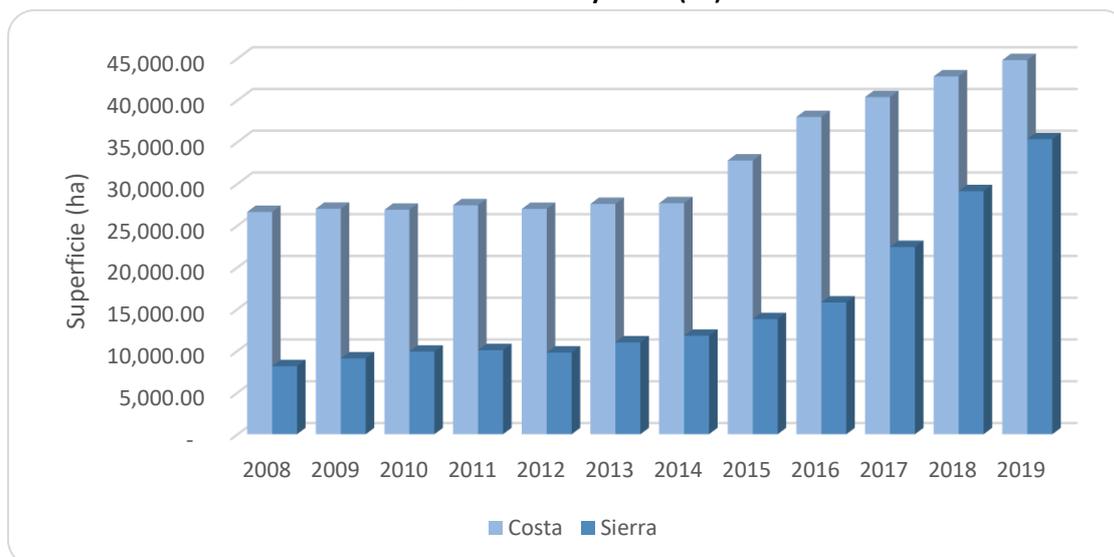
Fuente: Elaboración propia

B. Superficie acumulada de tierras convertidas en tierras de forestales

De acuerdo con las Directrices del IPCC de 2006, todos los niveles requieren información sobre áreas convertidas en tierras forestales durante los 20 años anteriores al año de evaluación (valor por defecto). Es así que, el incremento anual de las existencias de carbono en biomasa se calculó en las tierras convertidas en tierras forestales desde otros usos. Este análisis solo se ha realizado para las ecozonas costa y sierra. En el caso de las ecozonas amazónicas, no ha sido posible completar el análisis para un periodo de 20 años debido a falta de información.

En la Figura 19 se presenta la superficie acumulada en 20 años de tierras que se convierten en tierras forestales en la costa y sierra. En la costa, se observa una tendencia constante ente los años 2008 y 2014, para cambiar a una tendencia creciente entre el 2015 y el 2019. En el caso de la sierra, también se observa que mantiene una tendencia creciente.

Figura 19. Superficie acumulada en 20 años de tierras que se convierten en tierras forestales en las ecozonas costa y sierra (ha)



Fuente: Elaboración propia

C. Proporción de plantaciones forestales instaladas dentro de las tierras convertidas en tierras forestales.

Las superficies de cambios fueron desagregadas de acuerdo con proporciones establecidas a través del dictamen de expertos, donde se le asignó un valor proporcional de las superficies de tierras convertidas en tierras forestales generada por la instalación plantaciones forestales. La otra porción fue asumida como regeneración del bosque nativo. Los valores se indican en la Tabla 22.

Tabla 22. Proporción de plantaciones forestales instaladas dentro de las tierras convertidas en tierras forestales.

| Ecozona | Uso inicial | Proporción de plantaciones forestales instaladas en tierras convertidas en tierras forestales (%) |
|---------|--------------------|---|
| Costa | Tierras de cultivo | 0.05% |
| | Pastizales | 5.00% |
| | Humedales | 0.00% |
| | Asentamientos | 0.00% |
| | Otras tierras | 35.00% |
| Sierra | Tierras de cultivo | 5.05% |
| | Pastizales | 75.00% |
| | Humedales | 0.00% |
| | Asentamientos | 0.00% |
| | Otras tierras | 65.00% |

Fuente: Juicio de experto (V. Barrena, I. Lombardi), 2020

Respecto a las pérdidas, todo el volumen anual de madera rolliza extraída, y la madera recolectada para combustible ha sido reportados en la sección de tierras forestales que permanecen como tierras forestales, por lo que no serán contabilizadas en esta sección. Asimismo, el RAGEI 2019 no incluye en la estimación a las pérdidas anuales por perturbaciones en tierras convertidas en tierras forestales debido a que no se cuenta con datos de actividad de áreas bajo incendios forestales.

6.1.2.3. Factores de emisión y conversión

A. Factores de emisión

Las Directrices del IPCC de 2006 brindan factores de emisión por defecto para todos los parámetros necesarios para las estimaciones. Se utilizan parámetros nacionales donde se encuentren disponibles.

La Tabla 23 brinda el detalle de los factores de emisión utilizados para los cálculos de variación de carbono en el reservorio de biomasa.

Tabla 23 Factores de emisión empleados para estimar emisiones de GEI en el reservorio biomasa

| Factores | Valor | Unidad | Fuente de información |
|--|-------|---------------------|--|
| Crecimiento medio anual de la biomasa aérea en para Bosque tropical lluvioso Secundario ≤ 20 años | 5.90 | t m.s./ha/año | Directrices del IPCC de 2006, volumen 4, capítulo 4, cuadro 4.9 |
| Crecimiento medio anual de la biomasa aérea en para Bosque tropical seco Secundario ≤ 20 años | 3.90 | t m.s./ha/año | |
| Crecimiento medio anual de la biomasa aérea en Sistema montañoso tropical Secundario ≤ 20 años | 4.40 | t m.s./ha/año | |
| Crecimiento medio anual de la biomasa aérea en Plantaciones forestales de especies de hojas anchas en bosque tropical seco | 20.00 | t m.s./ha/año | Directrices del IPCC de 2006, volumen 4, capítulo 4, cuadro 4.10 |
| Crecimiento medio anual de la biomasa aérea en Plantaciones forestales de eucalipto en Sistemas montañosos tropicales | 10.00 | t m.s./ha/año | |
| Relación biomasa subterránea/ biomasa aérea para Amazonía | 0.27 | t raíz m.s./ t m.s. | Estimado a partir de MINAM 2022. |
| Relación biomasa subterránea/ biomasa aérea para Costa | 0.33 | t raíz m.s./ t m.s. | Estimado a partir de SERFOR 2020 |
| Relación biomasa subterránea/ biomasa aérea para Sierra | 0.36 | t raíz m.s./ t m.s. | Estimado a partir de SERFOR 2019 |
| Fracción de carbono de la biomasa forestal aérea (t C / t m.s.) | 0.47 | t C/ t m.s. | Directrices del IPCC de 2006, volumen 4, capítulo 4, cuadro 4.3 |

Fuente: Varias fuentes

Los factores de emisión para estimar las emisiones de la materia orgánica muerta se presentan en la Tabla 24.

Tabla 24 Factores de emisión empleados para estimar emisiones de GEI en el reservorio materia orgánica muerta.

| Factores | Valor | Unidad | Fuente de información |
|---|-------|----------|---|
| Existencias de materia orgánica muerta (hojarasca y madera muerta) – Selva alta accesible | 9.22 | t C./ ha | Ministerio del Ambiente (2022). Nivel de referencia de emisiones forestales por deforestación bruta del Perú en el bioma amazónico. |
| Existencias de materia orgánica muerta (hojarasca y madera muerta) – Selva alta de difícil acceso | 14.54 | t C./ ha | |
| Existencias de materia orgánica muerta (hojarasca y madera muerta) – Selva baja | 15.93 | t C./ ha | |
| Existencias de materia orgánica muerta (hojarasca y madera muerta) – Zona hidromórfica | 8.11 | t C./ ha | |
| Existencias de materia orgánica muerta (hojarasca y madera muerta) – Costa | 0.67 | t C./ ha | SERFOR 2020. Informe del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. Ecozona Costa. Panel 1 y 2. |
| Existencias de materia orgánica muerta (hojarasca y madera muerta) – Sierra | 0.49 | t C./ ha | SERFOR 2019. Informe del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. Panel 1. |

Fuente: Varias fuentes

Los factores de emisión para estimar las emisiones en el carbono orgánico del suelo se presentan en la Tabla 25 Tabla 25 Factores de emisión empleados para estimar emisiones de GEI en el reservorio carbono orgánico del suelo..

Tabla 25 Factores de emisión empleados para estimar emisiones de GEI en el reservorio carbono orgánico del suelo.

| Factores | Valor | Unidad | Fuente de información |
|--|----------------------|---------------|--|
| Valor de referencia de las reservas de carbono COS_{REF} , suelos AAA, región tropical seca | 21 | t C/ ha | Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006*, volumen 4, capítulo 2, cuadro 2.3 |
| Valor de referencia de las reservas de carbono COS_{REF} , suelos arenosos, región tropical seca | 9 | t C/ ha | |
| Valor de referencia de las reservas de carbono COS_{REF} , suelos AAA, región montañoso tropical | 51 | t C/ ha | |
| Factores por defecto de variación de las reservas: F_{LU} , F_{MG} , F_i para tierras de cultivo | 0.83 1.10 0.92 | Sin dimensión | Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006*, volumen 4, capítulo 5, cuadro 5.10 |
| Factores por defecto de variación de las reservas: F_{LU} , F_{MG} , F_i para pastizales | 1.00 1.00 1.00 | Sin dimensión | Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006*, volumen 4, capítulo 6, cuadro 6.2 |

* Se emplearon factores de emisión del Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006 por considerarse más adecuados a las circunstancias de Perú.

Fuente: Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006

6.1.2.4. Análisis de incertidumbres

Para el caso de la incertidumbre de los datos de actividad, para las ecozonas amazónicas el método de muestreo sistemático permitió la determinación del valor de incertidumbre asociada al dato de actividad. Para la incertidumbre de los factores de emisión, se utilizaron los valores por defecto de las directrices del IPCC del 2006.

Los valores de incertidumbre combinada para esta subcategoría son presentados en la Tabla 26.

Tabla 26. Incertidumbre de las emisiones de las tierras forestales que permanecen como tierras forestales.

| Código | Fuente | Gas | Estimaciones de GEI año t | Incertidumbre en los datos de nivel de actividad | Incertidumbre en el factor de emisión | Incertidumbre combinada |
|--------|---|-----------------|---------------------------------------|--|---------------------------------------|-------------------------|
| | | | Datos de entrada GgCO ₂ eq | Datos de entrada % | Datos de entrada % | $\sqrt{(E^2+F^2)}$ % |
| 3B1a | Tierras que se convierten en tierras forestales | CO ₂ | -1,962.24 | -24.25% | -22.21% | 32.9% |

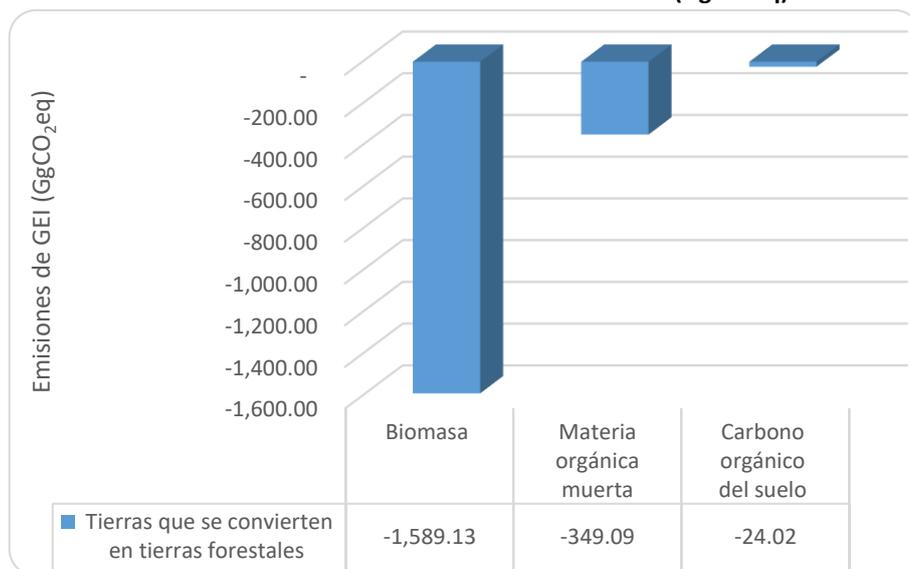
Fuente: Elaboración propia

6.1.2.5. Análisis de resultados

En el año 2019, las remociones generadas en tierras convertidas en tierras forestales fueron -1,962.24 GgCO₂eq, que en términos absolutos representa el 1.87% de las emisiones del sector.

La Figura 20 presenta cómo se encuentran distribuidas las remociones del año 2019 entre los reservorios de carbono, donde el 80.99% (-1,589.13 GgCO₂eq) de las emisiones corresponden a los cambios en las existencias de carbono en la biomasa (biomasa aérea y subterránea). La materia orgánica muerta representa el 17.79% (-349.09 GgCO₂eq) y la materia orgánica del suelo representa el 1.22% (-24.02 GgCO₂eq).

Figura 20. Distribución de las emisiones y remociones de CO₂ por reservorios de carbono en las tierras convertidas en tierras forestales en el año 2019 (GgCO₂eq)

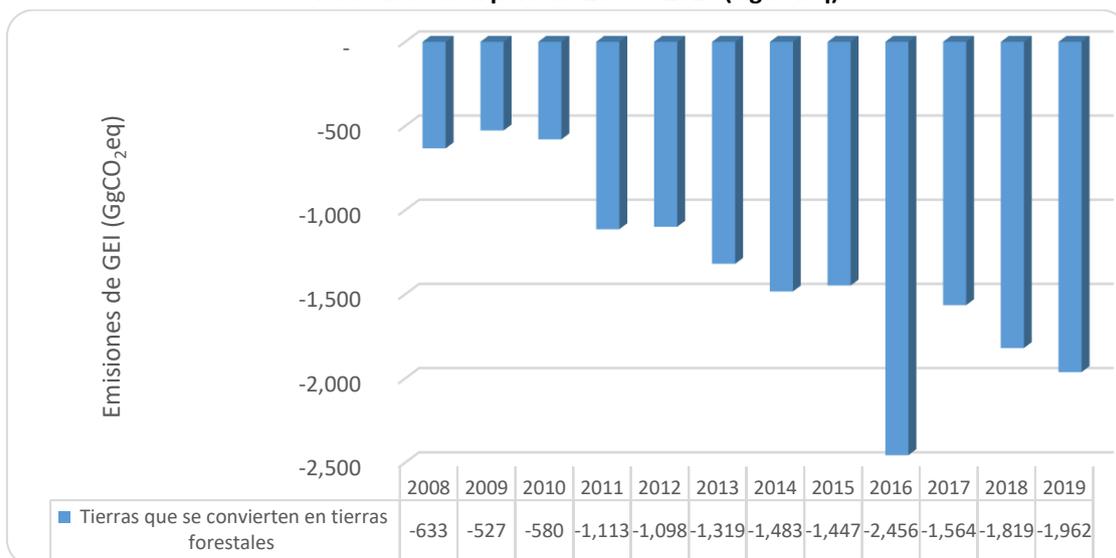


Fuente: Elaboración propia

6.1.2.6. Actualización de serie temporal

Respecto a la tendencia de las remociones, en la Figura 21 se aprecia que las remociones del año 2019 aumentaron en -143.21 GgCO₂eq respecto al año 2018, lo que representa un incremento porcentual de 7.87%; y en -1,329.22GgCO₂eq respecto al 2008, lo que representa un incremento de 209.98%. Asimismo, en la tendencia se observa un pico de remociones en el año 2016, el cual fue el año en el que se registró la mayor superficie en conversión de tierras en tierras forestales a nivel de Amazonía.

Figura 21. Tendencia de emisiones de GEI para la categoría tierras que se convierten en tierras forestales en el período 2008 – 2019 (GgCO₂eq)



Fuente: Elaboración propia

6.2. Tierras de cultivo (3B2)

Esta subcategoría comprende la estimación de las emisiones y remociones de GEI debido a cambios en la biomasa, en la materia orgánica muerta y en el carbono orgánico del suelo en las tierras de cultivo que permanecen como tierras de cultivo y en las tierras convertidas en tierras de cultivo.

Para el presente RAGEI, las tierras de cultivo, así como las tierras en otros usos, se estratifican en seis ecozonas.

6.2.1. Tierras de cultivo que permanecen como tierras de cultivo (3B2a)

Las emisiones de GEI en las tierras de cultivo que permanecen como tierras de cultivo comprenden la estimación de los cambios producidos en las existencias de carbono en la biomasa aérea, biomasa subterránea, madera muerta, hojarasca y carbono orgánico del suelo.

6.2.1.1. Método de cálculo

A continuación, se describen los cambios en las existencias anuales en los depósitos correspondientes para la categoría analizada.

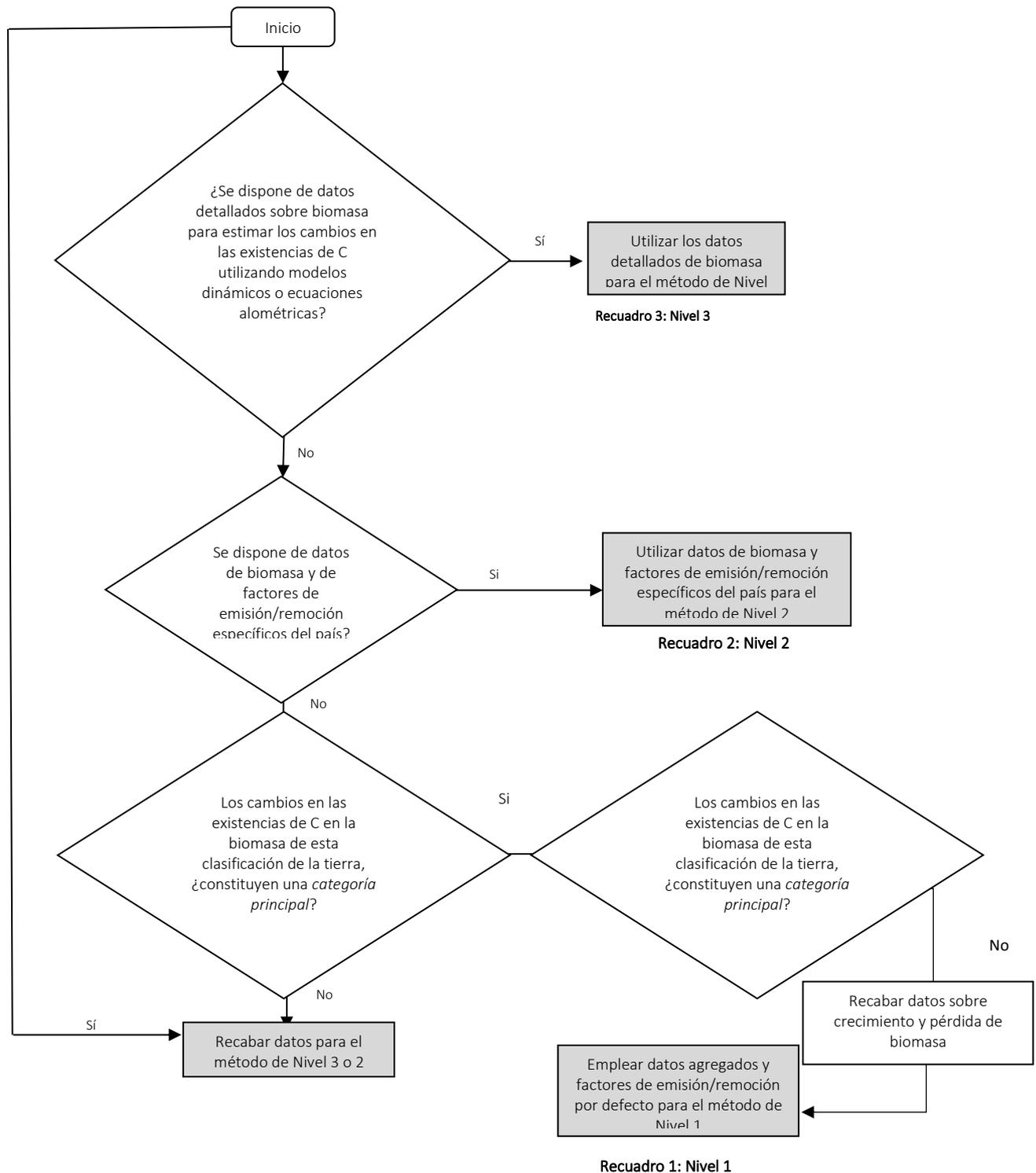
A. Biomasa

Según las Directrices del IPCC de 2006, la metodología de cálculo establece tres niveles de cálculo para estimar los cambios en las existencias de carbono en biomasa, cuyas características se describen a continuación:

- Nivel 1: Estima las emisiones empleando datos agregados y factores de emisión y/o remoción por defecto.
- Nivel 2: Estima las emisiones utilizando datos de biomasa y factores de emisión y/o remoción específicos del país.
- Nivel 3: Estima las emisiones utilizando datos detallados de biomasa.

La Figura 22 presenta el árbol de decisiones de las Directrices del IPCC de 2006 que facilita la elección del nivel de cálculo apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en biomasa en una categoría de uso de la tierra.

Figura 22. Árbol de decisiones genérico para la identificación del nivel apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en biomasa en las tierras de cultivo que permanecen como tierras de cultivo.



Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, capítulo 2, página 2.15.

Para el análisis del árbol de decisiones se considera lo siguiente:

- No se cuenta con factores de emisión específicos del país.

Por lo anterior, las estimaciones de las emisiones cambios en las existencias de carbono en biomasa en tierras de cultivo que permanecen como tierras de cultivo, se realizan aplicando el método de cálculo de Nivel 1.

De acuerdo con las Directrices del IPCC de 2006, el cambio en las existencias de carbono en la biomasa en esta categoría se estima solamente para cultivos leñosos perennes, ya que, se asume que en los cultivos anuales el incremento de las existencias de biomasa de cada año equivale a las pérdidas de biomasa producidas por la cosecha y la mortalidad en ese mismo año, por lo cual no hay una acumulación neta de existencias de carbono en biomasa.

La estimación del cambio en las existencias de carbono en la biomasa se realiza aplicando el método de pérdidas y ganancias, que consiste en restar las pérdidas de los incrementos de carbono de la biomasa durante el año de notificación utilizando la Ecuación 2.7 de las Directrices del IPCC de 2006.

Ecuación 2.7. Cambio anual de las existencias de carbono en biomasa (Método de pérdidas y ganancias)

$$\Delta C_B = \Delta C_G + \Delta C_L$$

Donde:

- ΔC_B = Cambio anual en las existencias de carbono de la biomasa, t C año⁻¹
 - ΔC_G = Aumento anual de las existencias de carbono debido al crecimiento de la biomasa, t C año⁻¹
 - ΔC_L = Reducción anual de la existencia de carbono debido a la pérdida de biomasa, t C año⁻¹
- Fuente: Directrices del IPCC de 2006, volumen 4, capítulo 2, ecuación 2.7, página 2.12

B. Materia orgánica muerta

En el método de Nivel 1 se supone que las existencias de madera muerta y hojarasca no existen en las tierras de cultivo o están en equilibrio, como sucede en los sistemas agroforestales y en los huertos. Por lo tanto, no hay necesidad de estimar los cambios en las existencias de carbono de estos depósitos.

C. Carbono del suelo

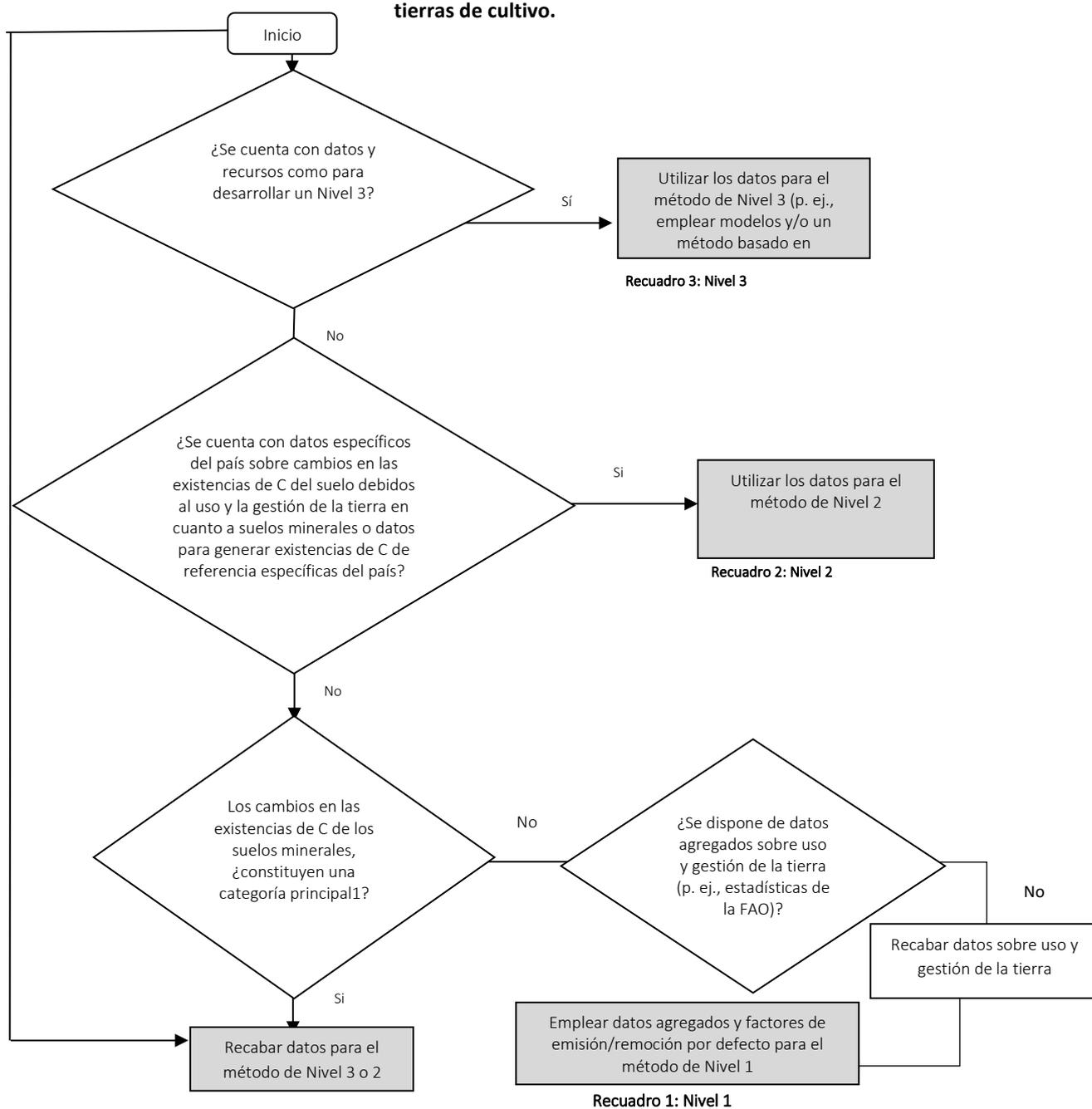
Suelos minerales

Según las Directrices del IPCC de 2006, la metodología de cálculo establece tres niveles de cálculo para estimar los cambios en las existencias de carbono en suelos minerales, cuyas características se describen a continuación:

- Nivel 1: Estima las emisiones empleando datos agregados y factores de emisión y/o remoción por defecto.
- Nivel 2: Estima las emisiones utilizando datos específicos del país sobre cambios en las existencias de C del suelo debidos al uso y la gestión de la tierra en cuanto a suelos minerales o datos para generar existencias de C de referencia específicas del país.
- Nivel 3: Estima las emisiones utilizando datos detallados de basados en modelos y/o mediciones.

La Figura 23 presenta el árbol de decisiones de las Directrices del IPCC de 2006 que facilita la elección del nivel de cálculo apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en suelos minerales en una categoría de uso de la tierra.

Figura 23. Árbol de decisiones genérico para la identificación del nivel apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en suelos minerales en tierras de cultivo que permanecen como tierras de cultivo.



Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, capítulo 2, página 2.37

Para el análisis del árbol de decisiones se considera lo siguiente:

- No se cuenta con factores de emisión específicos del país.

Por lo anterior, las estimaciones de las emisiones cambios en las existencias de carbono en suelos minerales en tierras de cultivo que permanecen como tierras de cultivo, se realizan aplicando el método de cálculo de Nivel 1.

De acuerdo con las Directrices del IPCC de 2006 el método de estimación se basa en los cambios de las existencias de C orgánico del suelo durante un período finito, a consecuencia de cambios en la gestión que repercuten sobre el C orgánico del suelo. Se utiliza la Ecuación 2.25 de las Directrices del IPCC de 2006.

Ecuación 2.25. Cambio anual en las existencias de carbono orgánico en suelos minerales.

$$\Delta C_{Minerales} = \frac{(SOC_0 - SOC_{0-T})}{D}$$

$$SOC = \sum_{c,s,i} (SOC_{REF,c,s,i} \times F_{LU,c,s,i} \times F_{MG,c,s,i} \times F_{I,c,s,i} \times A_{c,s,i})$$

(Nota: En esta ecuación, se utiliza T en lugar de D cuando T es ≥ 20 años)

Donde:

- $\Delta C_{Minerales}$ = cambio anual en las existencias de carbono de los suelos minerales, t C año⁻¹
- SOC_0 = existencias de carbono orgánico en el suelo en el último año de un período de inventario, t C año⁻¹
- SOC_{0-T} = existencias de carbono orgánico en el suelo al comienzo de un período de inventario, t C año⁻¹
- SOC_0 y SOC_{0-T} se calculan utilizando la ecuación del SOC del recuadro donde se asignan los factores de referencia para existencias y cambios de existencias de carbono según las actividades de uso y gestión de la tierra y las superficies respectivas en cada uno de los momentos (momento = 0 y momento = 0-T)
- T = cantidad de años de un período de inventario dado, año
- D = Dependencia temporal de los factores de cambio de existencias, que es el lapso por defecto para la transición entre los valores de equilibrio del SOC, año. Habitualmente 20 años, pero depende de las hipótesis que se apliquen en el cálculo de los factores FLU, FMG y FI. Si T es mayor que D, úsese el valor de T para obtener la tasa anual de cambio durante el tiempo de inventario (0 – T años).
- c = representa las zonas climáticas, s los tipos de suelo, e i el conjunto de sistemas de gestión que se dan en un país dado.
- F_{MG} = factor de cambio de existencias para sistemas de uso de la tierra o subsistemas de un uso de la tierra en particular, sin dimensión
- F_{LU} = factor de cambio de existencias para el régimen de gestión, sin dimensión
- F_I = factor de cambio de existencias para el aporte de materia orgánica, sin dimensión

Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, capítulo 2, ecuación 2.25, página 2.34

Suelos orgánicos

No se dispone de información nacional sobre área de suelos orgánicos drenados, por lo que el RAGEI 2019 no incluye las emisiones por este reservorio.

6.2.1.2. Datos de actividad

Los datos de actividad de esta subcategoría han sido obtenidos a partir de estadísticas agrarias nacionales brindados por organismos públicos como el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI) y que fueron recopilados en el marco del RAGEI 2019. Asimismo, para las ecozonas costa y sierra, se han elaborado las matrices de uso y cambio de uso de tierras que consideran un periodo de transición de 20 años

La Tabla 27 presenta un resumen de los datos de actividad requeridos por cada reservorio de la subcategoría, así como sus fuentes de información. Asimismo, se indican los reservorios que no fueron estimados en el presente inventario y el motivo de su no inclusión.

Tabla 27. Descripción de los datos de actividad para el cálculo de las emisiones en tierras de cultivo que permanecen como tierras de cultivo.

| Reservorios | Nivel de actividad IPCC | Detalle de Variaciones a Estimar | Datos de actividad IPCC | Dato Nacional | Fuente de información | Comentarios |
|----------------------------|--|--|---|--|--|---|
| Biomasa | Cambios de las existencias de carbono en biomasa | Incremento anual de existencias de carbono de biomasa (biomasa aérea) | Superficie cultivada de cultivos con leñosas perennes (ha) | Superficie instalada de cultivos perennes por regiones (ha) | Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. Dirección General de Seguimiento y Evaluación de Políticas (2020). Enviado mediante E-mail N° 21-2020-MINAGRI-DGESEP/DEA-AD de fecha 01 de octubre de 2020. | La superficie cultivada incluye a las superficies sembradas, en crecimiento y en producción. Para este reporte, no fue posible vincular las superficies con las áreas de las matrices de uso y cambio de uso de la tierra. |
| Materia orgánica muerta | Cambios de las existencias de carbono en materia orgánica muerta | Cambio anual en las existencias de carbono de la materia orgánica muerta (incluye madera muerta y hojarasca) | En el método de Nivel 1 se supone que las existencias de madera muerta y hojarasca no existen en las tierras de cultivo o están en equilibrio | | | |
| Carbono orgánico del suelo | Cambios de las existencias de carbono de los suelos | Cambio anual en las existencias de carbono orgánico de los suelos minerales | Superficie de tierras de cultivo que permanecen como tierras de cultivo (ha) | Superficie de tierras de cultivo que permanecen como tierras de cultivo (ha) | Ministerio del Ambiente (2022). Nivel de referencia de emisiones forestales por deforestación bruta del Perú en el bioma amazónico. | Superficies anuales de permanencia y conversión del uso de la tierra, para cuatro ecozonas amazónica, para todas las categorías de uso de la tierra en el año de reporte |
| | | | | | Ministerio del Ambiente (2022). Informe de consultoría: "Análisis espacial con teledetección y elaboración de matrices de uso y cambio de uso de suelo para los biomas de Costa y Sierra". Documento interno | La información base para la construcción de las matrices de uso y cambio de uso de la tierra en los biomas de Costa y Sierra fue la información satelital descargada de la <i>European Space Agency</i> para los periodos 1994-2000, 2000-2005, 2005-2010, 2010-2012, 2012-2014, 2014-2016 y 2016-2019. |

| Reservorios | Nivel de actividad IPCC | Detalle de Variaciones a Estimar | Datos de actividad IPCC | Dato Nacional | Fuente de información | Comentarios |
|-------------|-------------------------|---|---|---------------|-----------------------|-------------|
| | | Pérdida anual de carbono de suelos orgánicos drenados | No se dispone de información nacional sobre área de suelos orgánicos drenados | | | |

Fuente: Elaboración propia

A. Superficie anual de tierras de cultivo con biomasa leñosa perenne

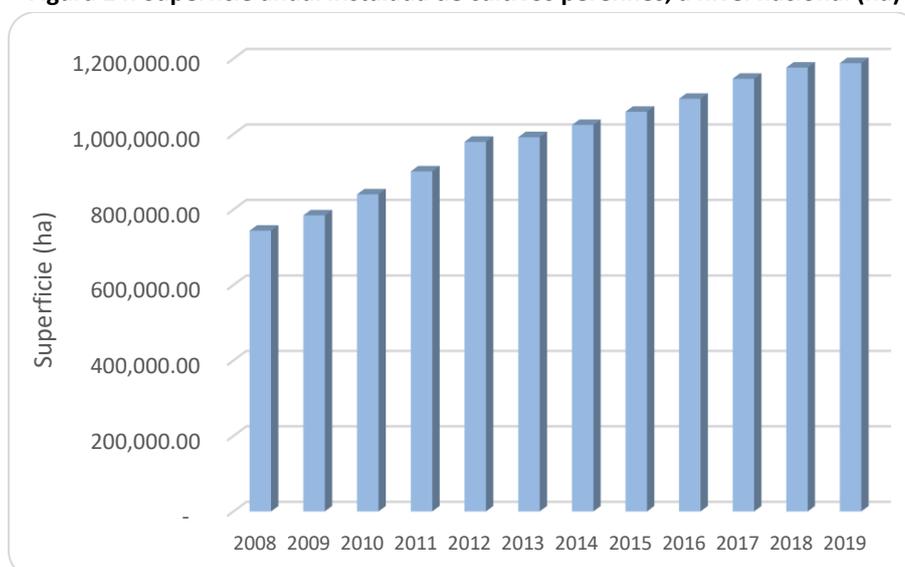
En el RAGEI 2019, el incremento anual de las existencias de carbono en biomasa se calculó para los cultivos leñosos perennes. Las estadísticas nacionales hacen referencia a la superficie “verde” o instalada de dichos cultivos, donde se incluye las áreas instaladas recientemente, las que están en crecimiento y aquellas que se encuentran en producción.

En cuanto a la superficie recolectada o eliminada de cultivos perennes, se hace referencia a las áreas que son eliminadas por diferentes factores: cambio de cultivo, pérdidas por plagas, pérdidas por condiciones climatológicas extremas, entre otras razones. La estadística agraria nacional no contabiliza a precisión las áreas perdidas cada año, dado que las diferencias entre año y año también pueden deberse al abandono (o no cosecha) del cultivo perenne, sin que eso conlleve a la eliminación de su biomasa.

Para el presente RAGEI, se ha estimado la superficie de pérdida en base a dos parámetros: i) el área instalada de cultivos perennes del año anterior al año inventario, y ii) la tasa de madurez/cosecha, por defecto propuesta por las Directrices del IPCC de 2006, con la cual, se asume que se pierde anualmente una fracción de la superficie total del año previo, producto de la cosecha o madurez del cultivo.

En la Figura 24 se presenta la superficie anual de cultivos perennes en el periodo 2008 – 2019. Se observa que la variable presenta una tendencia creciente durante el periodo de análisis.

Figura 24. Superficie anual instalada de cultivos perennes, a nivel nacional (ha)



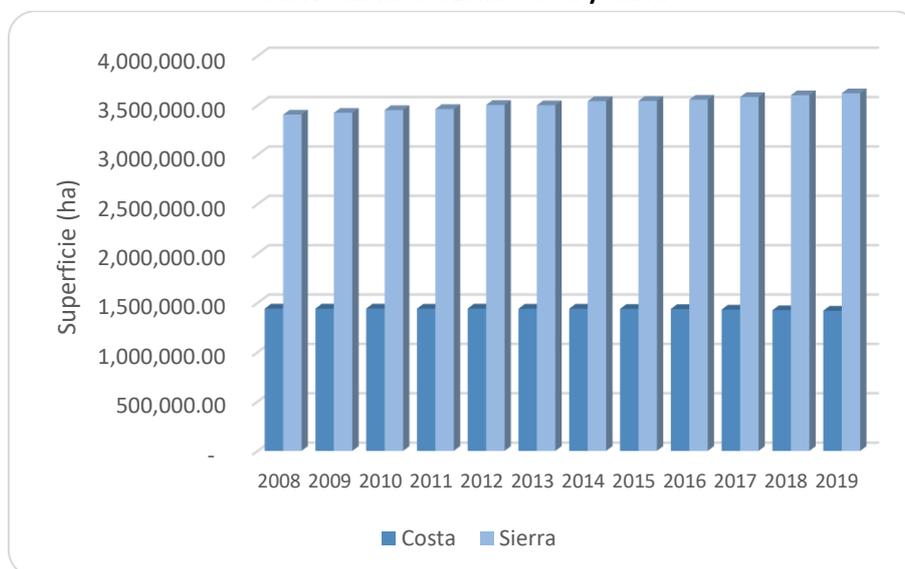
Fuente: MIDAGRI 2022

B. Superficie acumulada de tierras de cultivo que permanecen como tierras de cultivo

De acuerdo con las Directrices del IPCC de 2006, todos los niveles requieren información sobre las tierras de cultivo que permanecen en la misma categoría durante los 20 años anteriores al año de evaluación (valor por defecto). Este análisis solo se ha realizado para las ecozonas costa y sierra. En el caso de las ecozonas amazónicas, no ha sido posible completar el análisis para un periodo de 20 años debido a falta de información.

En la Figura 25 se presenta la superficie acumulada en 20 años de tierras de cultivo que permanecen como tierras de cultivo en la costa y sierra. En la costa, se observa una tendencia constante, mientras que, en el caso de la sierra, se observa que mantiene una tendencia creciente.

Figura 25. Superficie acumulada en 20 años de tierras de cultivo que permanecen como tierras de cultivo en las ecozonas costa y sierra



Fuente: Elaboración propia

6.2.1.3. Factores de emisión y conversión

A. Factores de emisión

Las Directrices del IPCC de 2006 brindan factores de emisión por defecto para todos los parámetros evaluados. La Tabla 28 brinda el detalle de los factores de emisión utilizados para los cálculos de variación de carbono en el reservorio de biomasa.

Tabla 28. Factores de emisión empleados para estimar ganancias y pérdidas de carbono del reservorio de biomasa

| Factores | Valor | Unidad | Fuente de información |
|---|-------|------------|---|
| Tasa de acumulación de biomasa en cultivos perennes para región tropical húmedo | 2.6 | t C/ha/año | Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4. Capítulo 5. Cuadro 5.1. Pág. 5.10. |
| Ciclo Cosecha/ Madurez para región tropical húmedo | 8 | año | |
| Pérdida de carbono de la biomasa para región tropical húmedo | 21 | t C/ha/año | |
| Tasa de acumulación de biomasa en cultivos perennes para región templada | 2.1 | t C/ha/año | |
| Ciclo Cosecha/ Madurez para región templada | 30 | año | |
| Pérdida de carbono de la biomasa para región templada | 63 | t C/ha/año | |

Fuente: Directrices del IPCC de 2006

Los factores de emisión para estimar las emisiones y remociones en el carbono orgánico del suelo se presentan en la Tabla 29.

Tabla 29 Factores de emisión empleados para estimar emisiones de GEI en el reservorio carbono orgánico del suelo.

| Factores | Valor | Unidad | Fuente de información |
|---|------------------------|---------------|---|
| Valor de referencia de las reservas de carbono COS _{REF} , suelos AAA, región tropical húmeda | 40 | t C/ ha | Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006*, volumen 4. capítulo 2., cuadro 2.5. |
| Valor de referencia de las reservas de carbono COS _{REF} , suelos ABA, región tropical húmeda | 38 | t C/ ha | |
| Valor de referencia de las reservas de carbono COS _{REF} , suelos de humedal, región tropical húmeda | 68 | t C/ ha | |
| Valor de referencia de las reservas de carbono COS _{REF} , suelos AAA, región tropical seca | 21 | t C/ ha | |
| Valor de referencia de las reservas de carbono COS _{REF} , suelos arenosos, región tropical seca | 9 | t C/ ha | |
| Valor de referencia de las reservas de carbono COS _{REF} , suelos AAA, región montañoso tropical | 51 | t C/ ha | |
| Factores por defecto de variación de las reservas: FLU, FMG, FI para tierras de cultivo | 0.83, 1.10, 0.92 | Sin dimensión | Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006*, volumen 4. capítulo 5, cuadro 5.10. |

* Se emplearon factores de emisión de las Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006, por considerarse más adecuados a las circunstancias de Perú.

Fuente: Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006

6.2.1.4. Análisis de incertidumbres

Para el caso de la incertidumbre de los datos de actividad, se recurrió a la determinación por juicio de expertos. Para la incertidumbre de los factores de emisión, se utilizaron los valores por defecto de las Directrices del IPCC del 2006.

Los valores de incertidumbre combinada para esta subcategoría son presentados en la Tabla 30.

Tabla 30. Incertidumbre de las emisiones de las tierras de cultivo que permanecen como tierras de cultivo.

| Código | Fuente | Gas | Estimaciones de GEI año t | Incertidumbre en los datos de nivel de actividad | Incertidumbre en el factor de emisión | Incertidumbre combinada |
|--------|---|-----------------|---|--|---------------------------------------|-------------------------|
| | | | Datos de entrada GgCO ₂ e _q | Datos de entrada % | Datos de entrada % | $\sqrt{(E^2+F^2)}$ % |
| 3B2a | Tierras de cultivo que permanecen como tierras de cultivo | CO ₂ | -13.74 | 25.00% | 75.00% | 79.06% |

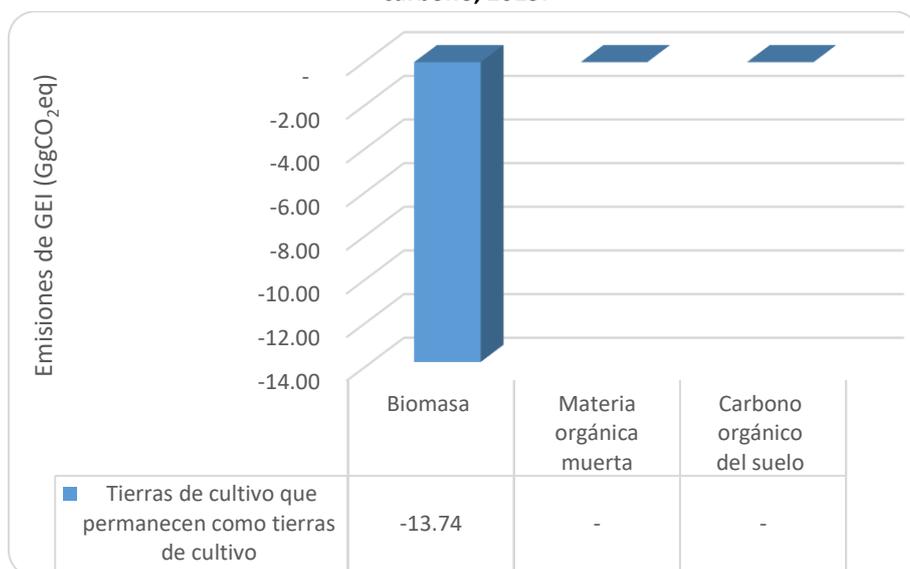
Fuente: Elaboración propia

6.2.1.5. Análisis de resultados

En el año 2019, las remociones netas generadas en tierras de cultivo que permanecen como tierras de cultivo fueron -13.74 GgCO₂eq, que, en términos absolutos, representa el 0.01% de las emisiones del sector.

La Figura 26 presenta cómo se encuentran distribuidas las remociones del año 2019 entre los reservorios de carbono, donde el 100.00% corresponde a los cambios en las existencias de carbono en la biomasa. Cabe señalar, que debido a la aplicación del método de cálculo Nivel 1, se asume que los cambios en existencias de materia orgánica muerta y carbono orgánico del suelo se encuentran en equilibrio, por lo tanto, no generan emisiones.

Figura 26. Remociones en tierras de cultivo que permanecen como tierras de cultivo por reservorio de carbono, 2019.

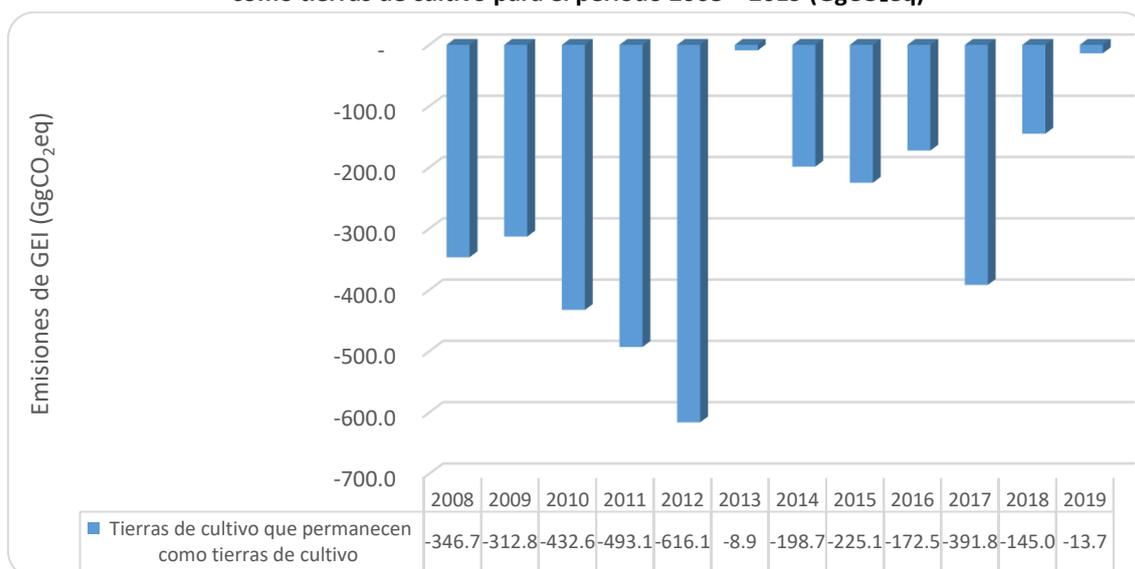


Fuente: Elaboración propia

6.2.1.6. Actualización de serie temporal

Respecto a la tendencia de las remociones, en la Figura 27, se aprecia que las remociones en el año 2019 disminuyeron en 131.24 GgCO₂eq respecto al año 2018, lo que representa una reducción porcentual de 90.52%.; y en 332.94 GgCO₂eq respecto al 2008, lo que representa una reducción de -96.04%.

Figura 27. Tendencia de emisiones de GEI para la subcategoría tierras de cultivo que permanecen como tierras de cultivo para el período 2008 – 2019 (GgCO₂eq)



Fuente: Elaboración propia

6.2.2. Tierras convertidas en tierras de cultivo (3B2b)

Las emisiones de GEI en las tierras convertidas en tierras de cultivo comprenden la estimación de los cambios producidos en las existencias de carbono de la biomasa aérea, biomasa subterránea, madera muerta, hojarasca y materia orgánica del suelo.

6.2.2.1. Método de cálculo

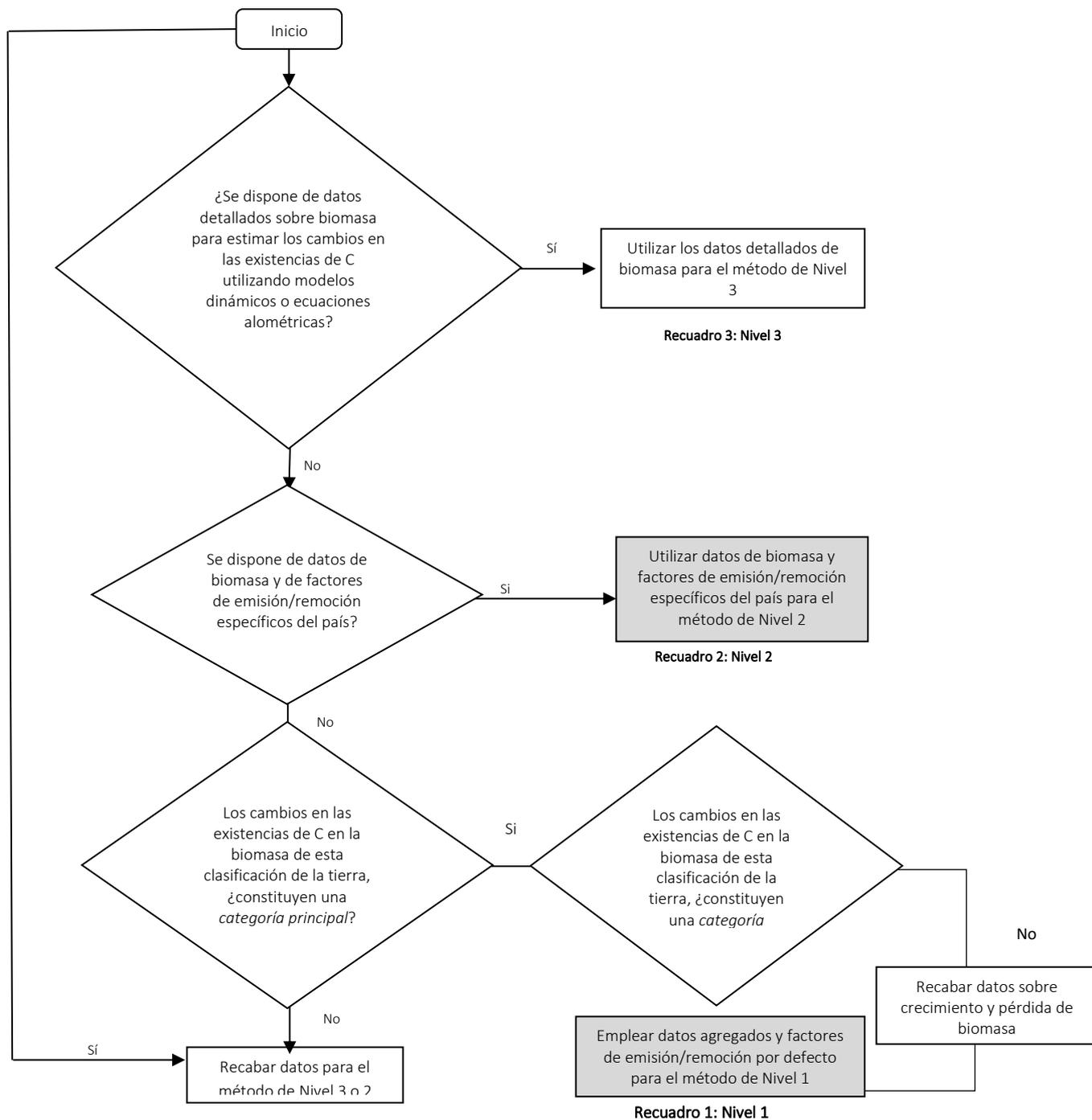
A. Biomasa

Según las Directrices del IPCC de 2006, la metodología de cálculo establece tres niveles de cálculo para estimar los cambios en las existencias de carbono en biomasa, cuyas características se describen a continuación:

- Nivel 1: Estima las emisiones empleando datos agregados y factores de emisión y/o remoción por defecto.
- Nivel 2: Estima las emisiones utilizando datos de biomasa y factores de emisión y/o remoción específicos del país.
- Nivel 3: Estima las emisiones utilizando datos detallados de biomasa.

La Figura 28 presenta el árbol de decisiones de las Directrices del IPCC de 2006 que facilita la elección del nivel de cálculo apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en biomasa en una categoría de uso de la tierra.

Figura 28. Árbol de decisiones genérico para la identificación del nivel apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en biomasa en tierras convertidas en tierras de cultivo.



Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, capítulo 2, página 2.15

Para el análisis del árbol de decisiones se considera lo siguiente:

- Es una categoría principal.
- Se cuenta con datos de contenido de biomasa de tierras forestales específicos del país.
- No se cuenta con factores de emisión nacionales para los usos de la tierra diferentes de las tierras forestales.

Por lo anterior, las estimaciones de las emisiones cambios en las existencias de carbono en biomasa en tierras convertidas en tierras de cultivo, se realizan aplicando una combinación del Nivel 1 y Nivel 2, dependiendo de la disponibilidad de información nacional.

La estimación del cambio en las existencias de carbono en la biomasa se realiza aplicando la Ecuación 2.15 de las Directrices del IPCC de 2006.

Ecuación 2.15. Cambio anual en las existencias de carbono en biomasa en tierras convertidas en otra categoría de uso de la tierra

$$\Delta C_B = \Delta C_G + \Delta C_{CONVERSIÓN} + \Delta C_L$$

Donde:

- ΔC_B = cambio anual en las existencias de carbono de la biomasa en tierras convertidas en otra categoría de uso de la tierra, t C año⁻¹
- ΔC_G = incremento anual en las existencias de carbono de la biomasa debido a crecimiento en tierras convertidas en otra categoría de uso de la tierra, t C año⁻¹
- $\Delta C_{CONVERSIÓN}$ = cambio inicial en las existencias de carbono de la biomasa en tierras convertidas en otra categoría de uso de la tierra
- ΔC_L = reducción anual en las existencias de carbono de la biomasa debida a pérdidas producidas por cosechas, recogida de madera combustible y perturbaciones en tierras convertidas en otra categoría de uso de la tierra, t C año⁻¹

Fuente: Directrices del IPCC de 2006, volumen 4, capítulo 2, ecuación 2.15, página 2.22

La ecuación utilizada para estimar el incremento anual de las existencias de carbono en la biomasa es la ecuación 2.16 de las Directrices del IPCC de 2006.

Ecuación 2.16. Incremento anual de las existencias de carbono en biomasa en tierras que permanecen en la misma categoría de uso de la tierra

$$\Delta C_{CONVERSIÓN} = \sum_i \{ (B_{DESPUES_i} - B_{ANTES_i}) \times \Delta A_{A_OTRAS} \} \times CF$$

Donde:

- $\Delta C_{CONVERSIÓN}$ = cambio inicial en las existencias de carbono de la biomasa en tierras convertidas en otra categoría de tierra, t C año⁻¹
- $B_{DESPUES}$ = existencias de biomasa en el tipo de tierra *i* después de la conversión, t m.s. ha⁻¹
- B_{ANTES} = existencias de biomasa en el tipo de tierra *i* antes de la conversión, t m.s. ha⁻¹
- ΔA_{A_OTRAS} = superficie de uso de la tierra *i* convertida a otra categoría de uso de la tierra en un año dado, ha año⁻¹
- CF = fracción de carbono de materia seca, t C (t m.s.)⁻¹

Fuente: Directrices del IPCC de 2006, volumen 4, capítulo 2, ecuación 2.16, página 2.22

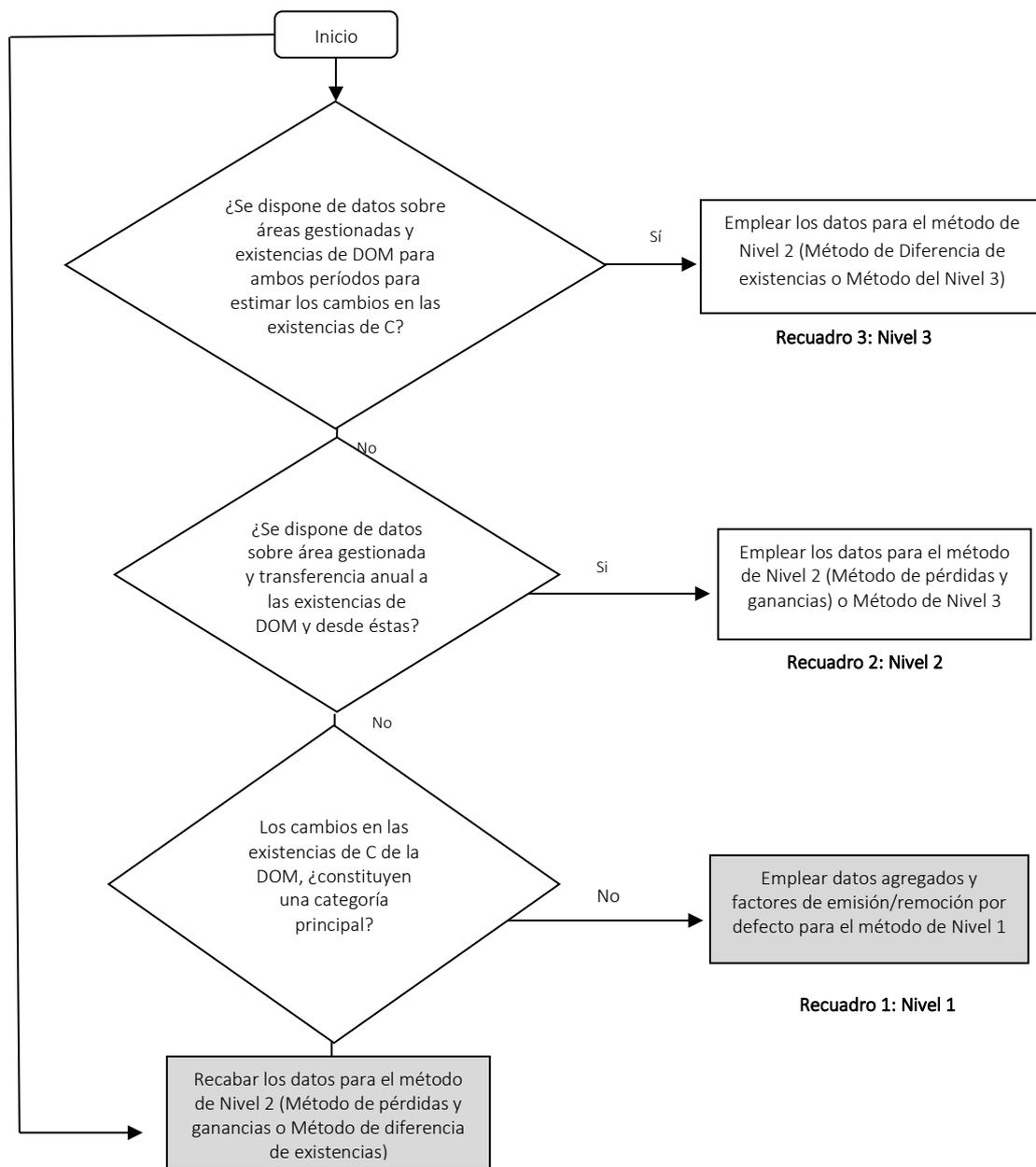
B. Materia orgánica muerta

Según las Directrices del IPCC de 2006, la metodología de cálculo establece tres niveles de cálculo para estimar los cambios en las existencias de carbono en la materia orgánica muerta, cuyas características se describen a continuación:

- Nivel 1: Estima las emisiones empleando datos agregados y factores de emisión y/o remoción por defecto.
- Nivel 2: Estima las emisiones utilizando datos sobre transferencia anual y factores de emisión y/o remoción específicos del país.
- Nivel 3: Estima las emisiones utilizando datos detallados de existencias de MOM.

La Figura 29 presenta el árbol de decisiones de las Directrices del IPCC de 2006 que facilita la elección del nivel de cálculo apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en materia orgánica muerta en una categoría de uso de la tierra.

Figura 29. Árbol de decisiones genérico para la identificación del nivel apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en materia orgánica muerta en tierras convertidas en tierras de cultivo.



Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, capítulo 2, página 2.25

Para el análisis del árbol de decisiones se considera lo siguiente:

- Se cuenta con factores de emisión específicos del país para el contenido de carbono en la materia orgánica muerta de los bosques.

Por lo anterior, las estimaciones de las emisiones cambios en las existencias de carbono en biomasa en tierras convertidas en tierras de cultivo, se realizan aplicando un Nivel 1.

La Ecuación 2.23 de las Directrices del IPCC de 2006, resume el cálculo para estimar los cambios anuales de las existencias de carbono en depósitos de materia orgánica muerta.

Ecuación 2.23. Cambio anual en las existencias de carbono en madera muerta y hojarasca debido a la conversión en el uso de la tierra

$$\Delta C_{DOM} = \frac{(C_o - C_n) \times A_{on}}{T_{on}}$$

Donde:

- ΔC_{DOM} = cambio en las existencias anuales de carbono en madera muerta u hojarasca, t C año⁻¹
- C_o = cambio en las existencias de carbono de la madera muerta, t C año⁻¹
- C_n = cambio en las existencias de carbono de la hojarasca, t C año⁻¹
- A_{on} = superficie sometida a la conversión de la vieja a la nueva categoría de uso de la tierra, ha
- T_{on} = lapso en el que se produce la transición de la vieja a la nueva categoría de uso de la tierra, año. El valor por defecto del Nivel 1 es de 20 años para los incrementos de existencias de carbono y de 1 año para las pérdidas de carbono.

Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, ecuación 2.23, página 2.29

C. Carbono del suelo

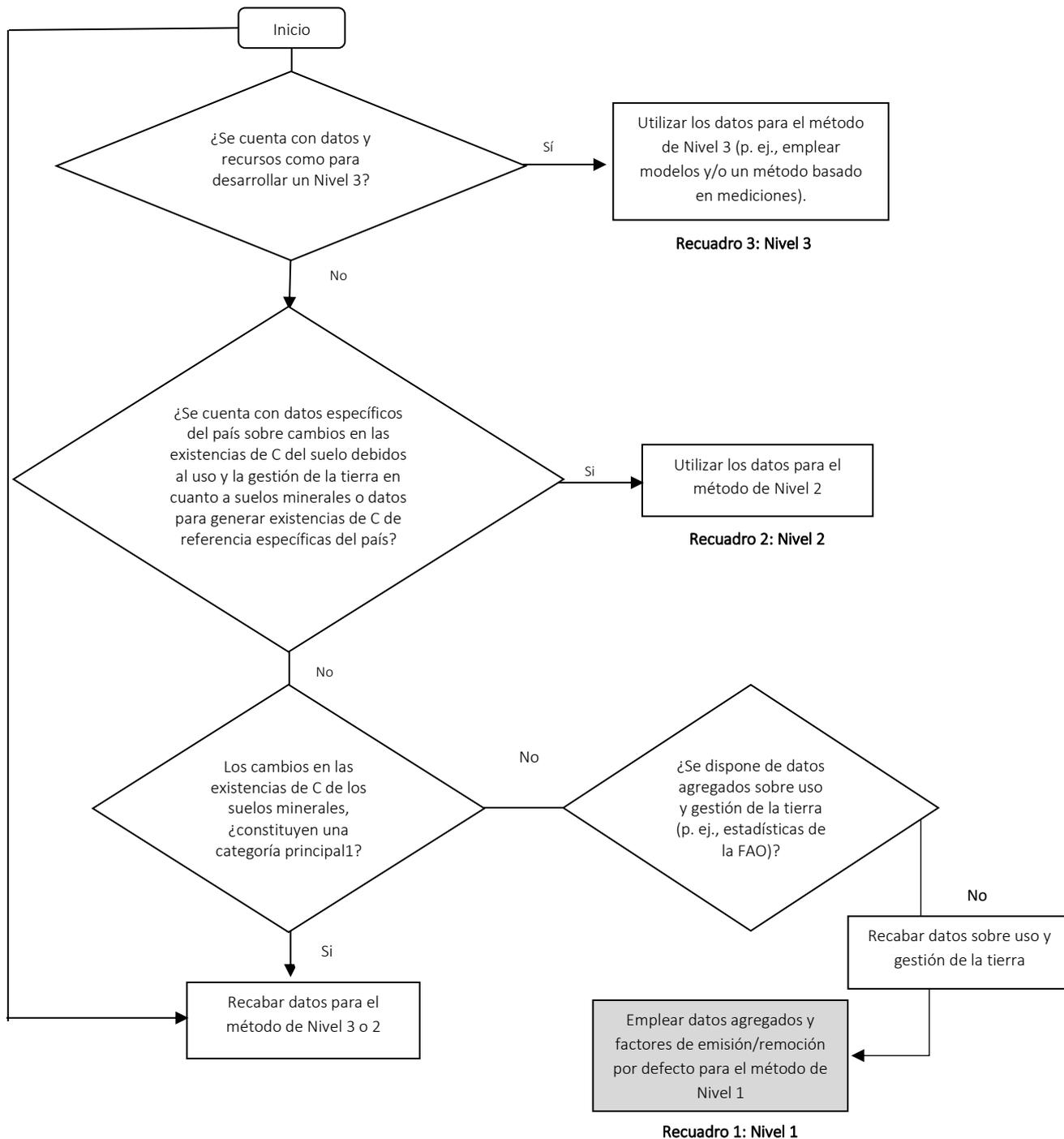
Suelos minerales

Según las Directrices del IPCC de 2006, la metodología de cálculo establece tres niveles de cálculo para estimar los cambios en las existencias de carbono en suelos minerales, cuyas características se describen a continuación:

- Nivel 1: Estima las emisiones empleando datos agregados y factores de emisión y/o remoción por defecto.
- Nivel 2: Estima las emisiones utilizando datos específicos del país sobre cambios en las existencias de C del suelo debidos al uso y la gestión de la tierra en cuanto a suelos minerales o datos para generar existencias de C de referencia específicas del país
- Nivel 3: Estima las emisiones utilizando datos detallados de basados en modelos y/o mediciones.

La Figura 30 presenta el árbol de decisiones de las Directrices del IPCC de 2006 que facilita la elección del nivel de cálculo apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en suelos minerales en una categoría de uso de la tierra.

Figura 30. Árbol de decisiones genérico para la identificación del nivel apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en suelos minerales en tierras convertidas en tierras de cultivo.



Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, capítulo 2, página 2.37

Para el análisis del árbol de decisiones se considera lo siguiente:

- No se cuenta con factores de emisión específicos del país.

Por lo anterior, las estimaciones de las emisiones cambios en las existencias de carbono en suelos minerales en tierras convertidas en tierras de cultivo, se realizan aplicando el método de cálculo de Nivel 1.

Ecuación 2.25. Cambio anual en las existencias de carbono orgánico en suelos minerales

$$\Delta C_{Minerales} = \frac{(SOC_o - SOC_{0-T})}{D}$$

$$SOC = \sum_{c,s,i} (SOC_{REF_{c,s,i}} \times FLU_{c,s,i} \times FMG_{c,s,i} \times FI_{c,s,i} \times A_{c,s,i})$$

(Nota: En esta ecuación, se utiliza T en lugar de D cuando T es ≥ 20 años)

Donde:

- $\Delta C_{Minerales}$ = cambio anual en las existencias de carbono de los suelos minerales, t C año⁻¹
- SOC_o = existencias de carbono orgánico en el suelo en el último año de un período de inventario, t C año⁻¹
- SOC_{0-T} = existencias de carbono orgánico en el suelo al comienzo de un período de inventario, t C año⁻¹
- SOC_o y $SOC(0-T)$ se calculan utilizando la ecuación del SOC del recuadro donde se asignan los factores de referencia para existencias y cambios de existencias de carbono según las actividades de uso y gestión de la tierra y las superficies respectivas en cada uno de los momentos (momento = 0 y momento = 0-T)
- T = cantidad de años de un período de inventario dado, año
- D = Dependencia temporal de los factores de cambio de existencias, que es el lapso por defecto para la transición entre los valores de equilibrio del SOC, año. Habitualmente 20 años, pero depende de las hipótesis que se apliquen en el cálculo de los factores FLU, FMG y FI. Si T es mayor que D, úsese el valor de T para obtener la tasa anual de cambio durante el tiempo de inventario (0 – T años).
- c = representa las zonas climáticas, s los tipos de suelo, e i el conjunto de sistemas de gestión que se dan en un país dado.
- F_{MG} = factor de cambio de existencias para sistemas de uso de la tierra o subsistemas de un uso de la tierra en particular, sin dimensión
- F_{LU} = factor de cambio de existencias para el régimen de gestión, sin dimensión
- F_I = factor de cambio de existencias para el aporte de materia orgánica, sin dimensión
- Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, ecuación 2.35, página 2.34

Suelos orgánicos

No se dispone de información nacional sobre área de suelos forestales orgánicos drenados, por lo que el RAGEI 2019 no incluye las emisiones por este reservorio.

6.2.2.2. Datos de actividad

Los datos de actividad de esta subcategoría han sido obtenidos a partir de dos insumos: las superficies de permanencias y cambios por categoría de uso de tierra para cuatro ecozonas amazónicas, para el periodo 2008-2019; y las matrices de uso y cambio de uso determinada entre dos años de inventarios consecutivos para costa y sierra, para los periodos para los periodos 2005–2010, 2010-2012, 2012-2014, 2014-2016, 2016-2019. Asimismo, para las ecozonas costa y sierra, se han elaborado las matrices de uso y cambio de uso de tierras que consideran un periodo de transición de 20 años

La Tabla 31 presenta un resumen de los datos de actividad requeridos y las fuentes de información de donde fueron obtenidos, por cada reservorio estimado en la subcategoría. Asimismo, se indican los reservorios que no fueron estimados en el presente reporte y el motivo de su no inclusión.

Tabla 31. Descripción de los datos de actividad para el cálculo de las emisiones en tierras convertidas en tierras de cultivo.

| Reservorios | Nivel de actividad IPCC | Detalle de Variaciones a Estimar | Datos de actividad IPCC | Dato Nacional | Fuente de información | Comentarios |
|----------------------------|---|--|--|--|--|---|
| Biomasa | Cambios de las existencias de carbono de los suelos en la biomasa | Cambio anual en las existencias de carbono en biomasa | Superficie bajo conversión hacia una nueva categoría de uso de suelo | Superficie anual de tierras convertidas en tierras de cultivo (ha) | Ministerio del Ambiente (2022). Nivel de referencia de emisiones forestales por deforestación bruta del Perú en el bioma amazónico. | Superficies anuales de permanencia y conversión del uso de la tierra, para cuatro ecozonas amazónica, para todas las categorías de uso de la tierra en el año de reporte |
| | | | | | Ministerio del Ambiente (2022). Informe de consultoría: “Análisis espacial con teledetección y elaboración de matrices de uso y cambio de uso de suelo para los biomas de Costa y Sierra”. Documento interno | La información base para la construcción de las matrices de uso y cambio de uso de la tierra en los biomas de Costa y Sierra fue la información satelital descargada de la <i>European Space Agency</i> para los periodos 1994-2000, 2000-2005, 2005-2010, 2010-2012, 2012-2014, 2014-2016 y 2016-2019. |
| Materia orgánica muerta | Cambios de las existencias de carbono en materia orgánica muerta | Cambio anual en las existencias de carbono de la materia orgánica muerta (incluye madera muerta y hojarasca) | Superficie bajo conversión hacia una nueva categoría de uso de suelo | Superficie anual de tierras convertidas en tierras de cultivo (ha) | Ministerio del Ambiente (2022). Nivel de referencia de emisiones forestales por deforestación bruta del Perú en el bioma amazónico. | Superficies anuales de permanencia y conversión del uso de la tierra, para cuatro ecozonas amazónica, para todas las categorías de uso de la tierra en el año de reporte |
| | | | | | Ministerio del Ambiente (2022). Informe de consultoría: “Análisis espacial con teledetección y elaboración de matrices de uso y cambio de uso de suelo para los biomas de Costa y Sierra”. Documento interno | La información base para la construcción de las matrices de uso y cambio de uso de la tierra en los biomas de Costa y Sierra fue la información satelital descargada de la <i>European Space Agency</i> para los periodos 1994-2000, 2000-2005, 2005-2010, 2010-2012, 2012-2014, 2014-2016 y 2016-2019. |
| Carbono orgánico del suelo | Cambios de las existencias de carbono de los suelos | Cambio anual en las existencias de carbono | Superficie bajo conversión hacia una | Superficie de tierras convertidas en tierras de | Ministerio del Ambiente (2022). Informe de consultoría: “Análisis espacial con teledetección y elaboración de matrices de uso y | La información base para la construcción de las matrices de uso y cambio de uso de la tierra en los biomas de Costa y Sierra fue la información satelital descargada de la <i>European Space</i> |

| Reservorios | Nivel de actividad IPCC | Detalle de Variaciones a Estimar | Datos de actividad IPCC | Dato Nacional | Fuente de información | Comentarios |
|-------------|-------------------------|---|--|-------------------------------------|--|--|
| | | orgánico de los suelos minerales | nueva categoría de uso de suelo | cultivo (ha) – Acumulada en 20 años | cambio de uso de suelo para los biomas de Costa y Sierra”. Documento interno | Agency para los años 1994, 2000, 2005, 2010, 2012, 2014 2016-2019. |
| | | Pérdida anual de carbono de suelos orgánicos drenados | No se dispone de información nacional sobre área de suelos forestales orgánicos drenados | | | |

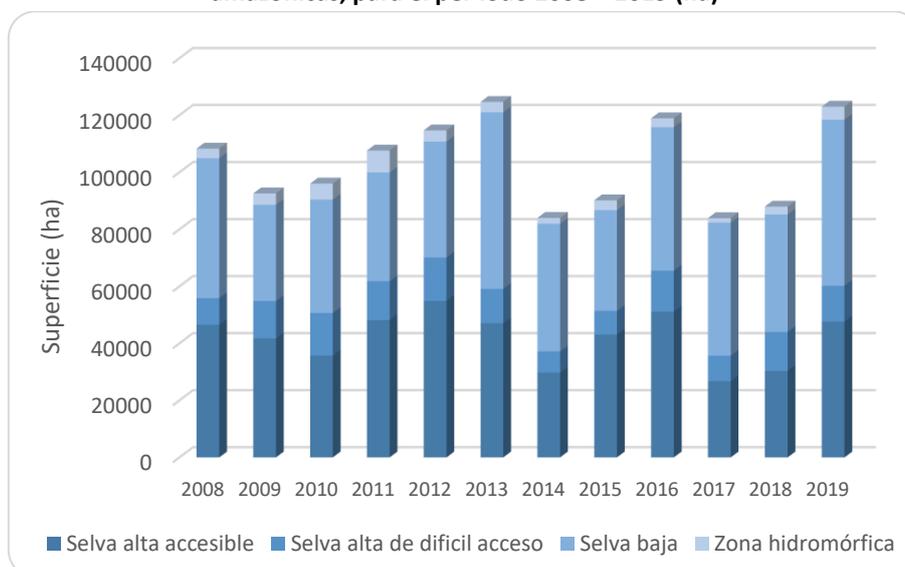
Fuente: Elaboración propia

Los principales datos de actividad provienen de la matriz de uso y cambio de uso de la tierra para cada ecozona.

A. Superficie anual de tierras convertidas en tierras de cultivo

En la Figura 31 se presenta la superficie anual de tierras que se convierten en tierras de cultivo en el periodo 2008 – 2019. Se observa que las ecozonas selva baja y selva alta accesible presentan la mayor superficie de tierras convertidas en tierras de cultivo a lo largo de los años. Asimismo, de manera general, la tendencia de la superficie convertida para un uso agrícola en la Amazonía es variable, con picos en los años 2013, 2016 y 2019. Estas conversiones están asociadas a las actividades de deforestación del bosque amazónico.

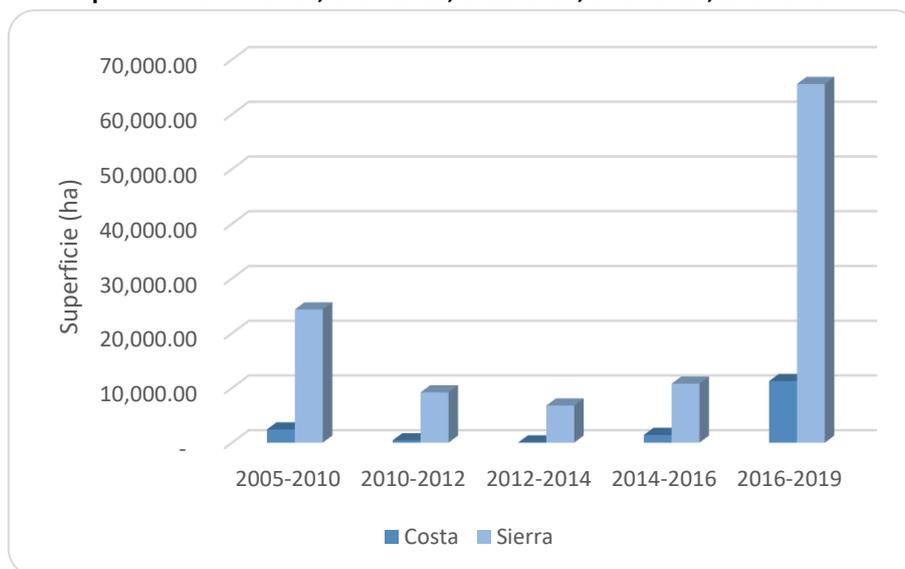
Figura 31. Superficie de anual de tierras convertidas en tierras de cultivo en cuatro ecozonas amazónicas, para el periodo 2008 – 2019 (ha)



Fuente: Elaboración propia

La Figura 32 presenta la superficie de tierras convertidas en tierras de cultivo, en las ecozonas costa y sierra, para los periodos 2005–2010, 2010-2012, 2012-2014, 2014-2016, 2016-2019. En el caso de la costa, se observa que la mayor superficie de conversiones hacia tierras de cultivo ocurrió durante el periodo 2016-2019. Asimismo, en el caso de la sierra, el periodo 2016-2019 representa un incremento importante en las conversiones de uso hacia tierras de uso agrícola.

Figura 32. Superficie de tierras que se convierten en tierras de cultivo en costa y sierra, para los periodos 2005–2010, 2010-2012, 2012-2014, 2014-2016, 2016-2019



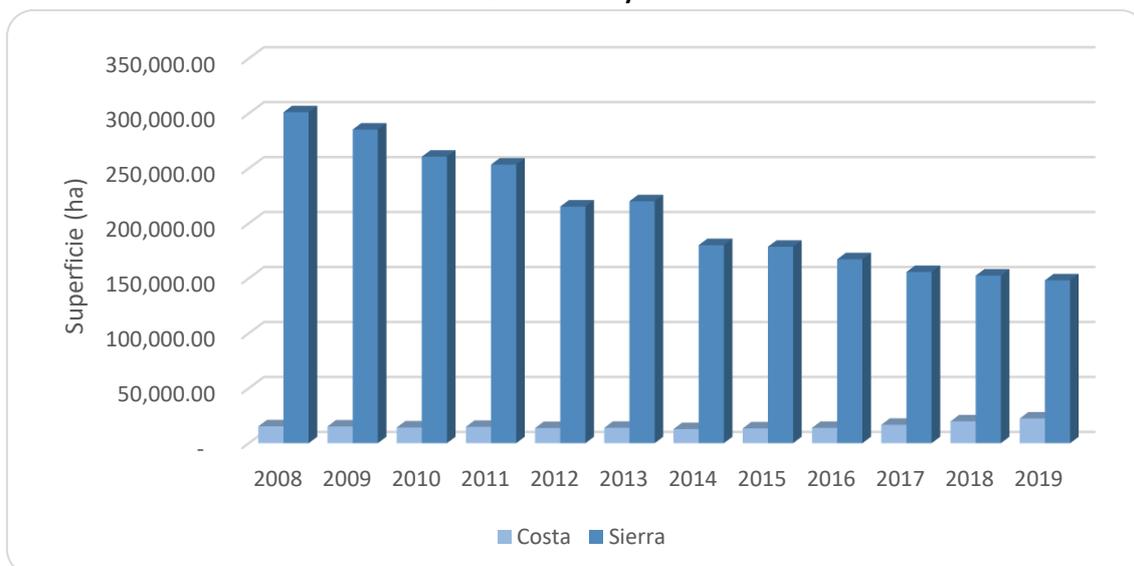
Fuente: Elaboración propia

B. Superficie acumulada de tierras convertidas en tierras de cultivo

De acuerdo con las Directrices del IPCC de 2006, para la estimación de las emisiones/remociones de Carbono Orgánico del Suelo todos los niveles requieren información sobre áreas convertidas en tierras de cultivo durante los 20 años anteriores al año de reporte (valor por defecto). Este análisis solo se ha realizado para las ecozonas costa y sierra. En el caso de las ecozonas amazónicas, no ha sido posible completar el análisis para un periodo de 20 años debido a falta de información.

En la Figura 33 se presenta la superficie acumulada en 20 años de tierras que se convierten en tierras de cultivo en la costa y sierra. En la costa, se observa una tendencia creciente ente los años 2014 y 2019. En el caso de la sierra, por el contrario, se presenta una tendencia decreciente en el periodo 2008 al 2019, lo que indica que los cambios de uso hacia tierras agrícolas están disminuyendo en esta ecozona.

Figura 33. Superficie acumulada en 20 años de tierras que se convierten en tierras de cultivo en las ecozonas costa y sierra



Fuente: Elaboración propia

6.2.2.3. Factores de emisión y conversión

A. Factores de emisión

Las Directrices del IPCC de 2006 brindan factores de emisión por defecto para todos los parámetros evaluados. La Tabla 32 brinda el detalle de los factores de emisión utilizados para los cálculos de variación de carbono en el reservorio de biomasa.

Tabla 32 Factores de emisión empleados para estimar emisiones de GEI en el reservorio biomasa

| Factores | Valor | Unidad | Fuente de información |
|---|--------|-----------|---|
| Contenido de biomasa aérea de tierras forestales – Selva alta accesible | 183.68 | t m.s./ha | Ministerio del Ambiente (2022). Nivel de referencia de emisiones forestales por deforestación bruta del Perú en el bioma amazónico. |
| Contenido de biomasa aérea de tierras forestales – Selva alta de difícil acceso | 188.74 | t m.s./ha | |
| Contenido de biomasa aérea de tierras forestales – Selva baja | 247.82 | t m.s./ha | |
| Contenido de biomasa aérea de tierras forestales – Zona hidromórfica | 167.46 | t m.s./ha | |
| Contenido de biomasa subterránea de tierras forestales – Selva alta accesible | 88.64 | t m.s./ha | |
| Contenido de biomasa subterránea de tierras forestales – Selva alta de difícil acceso | 89.94 | t m.s./ha | |
| Contenido de biomasa subterránea de tierras forestales – Selva baja | 113.41 | t m.s./ha | |
| Contenido de biomasa subterránea de tierras forestales – Zona hidromórfica | 73.26 | t m.s./ha | |
| Contenido de biomasa aérea de tierras forestales en tierras forestales – Costa | 6.61 | t m.s./ha | SERFOR 2020. Informe del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. Ecozona Costa. Panel 1 y 2. |

| Factores | Valor | Unidad | Fuente de información |
|---|-------|-------------|--|
| Contenido de biomasa aérea de tierras forestales – Sierra | 6.11 | t m.s./ha | SERFOR 2019. Informe del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. Panel 1. |
| Reservas de carbono en la biomasa de pastizales, clima tropical húmedo y muy húmedo | 16.10 | t m.s./ha | Directrices del IPCC de 2006, volumen 4, capítulo 6, cuadro 6.4 |
| Reservas de carbono en la biomasa de pastizales, clima tropical seco | 8.70 | t m.s./ha | |
| Fracción de carbono de la biomasa forestal aérea (t C /t m.s.) | 0.47 | t C/ t m.s. | Directrices del IPCC de 2006, volumen 4, capítulo 4, cuadro 4.3 |

Fuente: Varias fuentes

La Tabla 33 brinda el detalle de los factores de emisión utilizados para los cálculos de variación de carbono en el reservorio de materia orgánica muerta.

Tabla 33. Factores de emisión empleados para estimar emisiones de GEI en el reservorio materia orgánica muerta.

| Factores | Valor | Unidad | Fuente de información |
|---|-------|----------|---|
| Existencias de materia orgánica muerta (hojarasca y madera muerta) – Selva alta accesible | 9.22 | t C./ ha | Ministerio del Ambiente (2022). Nivel de referencia de emisiones forestales por deforestación bruta del Perú en el bioma amazónico. |
| Existencias de materia orgánica muerta (hojarasca y madera muerta) – Selva alta de difícil acceso | 14.54 | t C./ ha | |
| Existencias de materia orgánica muerta (hojarasca y madera muerta) – Selva baja | 15.93 | t C./ ha | |
| Existencias de materia orgánica muerta (hojarasca y madera muerta) – Zona hidromórfica | 8.11 | t C./ ha | |
| Existencias de materia orgánica muerta (hojarasca y madera muerta) – Costa | 0.67 | t C./ ha | SERFOR 2020. Informe del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. Ecozona Costa. Panel 1 y 2. |
| Existencias de materia orgánica muerta (hojarasca y madera muerta) – Sierra | 0.49 | t C./ ha | SERFOR 2019. Informe del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. Panel 1. |

Fuente: Varias fuentes

La Tabla 34 brinda el detalle de los factores de emisión utilizados para los cálculos de variación de carbono en el reservorio de carbono orgánico el suelo.

Tabla 34 Factores de emisión empleados para estimar emisiones de GEI en el reservorio carbono orgánico del suelo.

| Factores | Valor | Unidad | Fuente de información |
|---|----------------------|---------------|--|
| Valor de referencia de las reservas de carbono COS _{REF} , suelos AAA, región tropical seca | 21 | t C/ ha | Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006*, volumen 4, capítulo 2, cuadro 2.3 |
| Valor de referencia de las reservas de carbono COS _{REF} , suelos arenosos, región tropical seca | 9 | t C/ ha | |
| Valor de referencia de las reservas de carbono COS _{REF} , suelos AAA, región montañoso tropical | 51 | t C/ ha | |
| Factores por defecto de variación de las reservas: FLU, FMG, FI para tierras de cultivo | 0.83 1.10 0.92 | Sin dimensión | Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006*, volumen 4, capítulo 5, cuadro 5.10 |
| Factores por defecto de variación de las reservas: FLU, FMG, FI para pastizales | 1.00 1.00 1.00 | Sin dimensión | Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006*, volumen 4, capítulo 6, cuadro 6.2 |

* Se emplearon factores de emisión del Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006, por considerarse más adecuados a las circunstancias de Perú.

Fuente: Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006

6.2.2.4. Análisis de incertidumbres

Para el caso de la incertidumbre de los datos de actividad, para las ecozonas amazónicas el método de muestreo sistemático permitió la determinación del valor de incertidumbre asociado. Para la incertidumbre de los factores de emisión, se cuenta con la incertidumbre asociada a los factores de emisión de bosques amazónicos. En el caso de los demás usos de tierra, se utilizaron los valores por defecto de las Directrices del IPCC del 2006.

Los valores de incertidumbre combinada para la subcategoría tierras que se convierten en tierras de cultivo son presentados en la Tabla 35:

Tabla 35. Incertidumbre de las emisiones de CO₂ en tierras que se convierten en tierras de cultivo

| Código | Fuente | Gas | Estimaciones de GEI año t | Incertidumbre en los datos de nivel de actividad | Incertidumbre en el factor de emisión | Incertidumbre combinada |
|--------|---|-----------------|---------------------------------------|--|---------------------------------------|-------------------------|
| | | | Datos de entrada GgCO ₂ eq | Datos de entrada % | Datos de entrada % | $\sqrt{(E^2+F^2)}$ % |
| 3B2b | Tierras que se convierten en tierras de cultivo | CO ₂ | 62,555.94 | 18.64% | 2.67% | 18.83% |

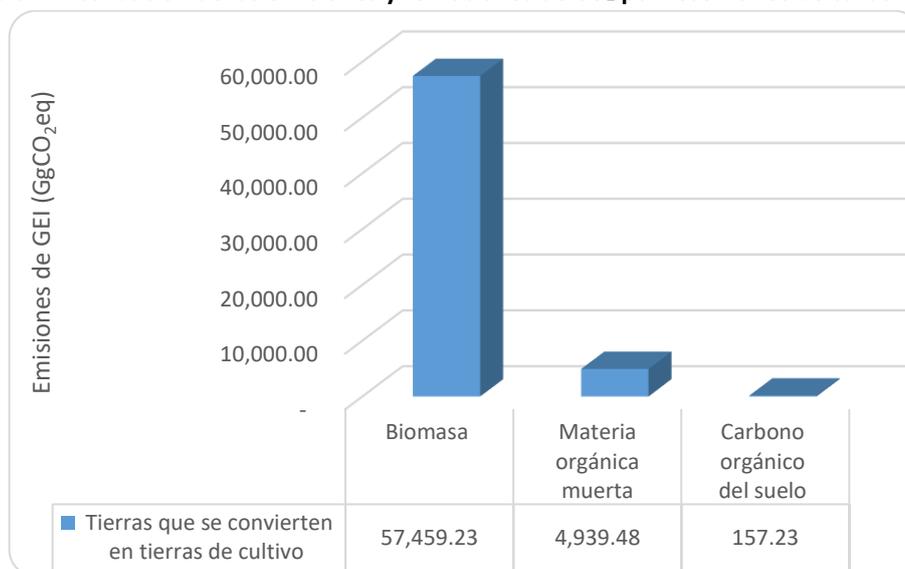
Fuente: Elaboración propia

6.2.2.5. Análisis de resultados

En el año 2019, las emisiones generadas en tierras convertidas en tierras de cultivo fueron 62,555.94 GgCO₂eq, que en términos absolutos representa el 59.73% de las emisiones del sector.

La Figura 34 presenta cómo se encuentran distribuidas las emisiones y remociones del año 2019 entre los reservorios de carbono, donde el 91.85% (57,459.23 GgCO₂eq) de las emisiones corresponden a los cambios en las existencias de carbono en la biomasa (biomasa aérea y subterránea). La materia orgánica muerta representa el 7.90% (4,939.48 GgCO₂eq) y el carbono orgánico del suelo representa el 0.25% (157.23 GgCO₂eq).

Figura 34. Distribución de las emisiones y remociones de CO₂ por reservorios de carbono, 2019

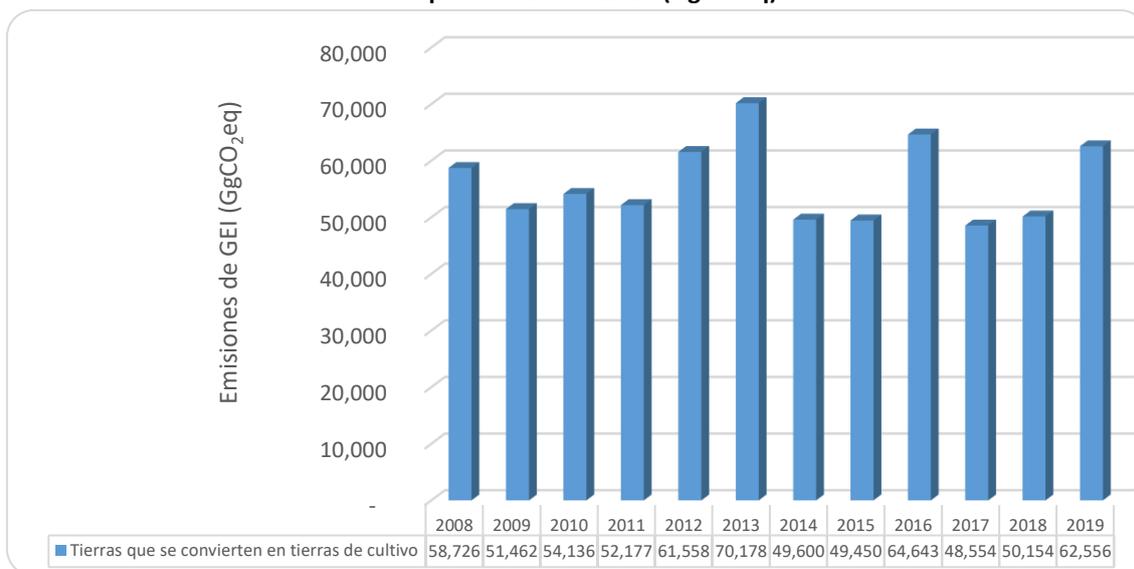


Fuente: Elaboración propia

6.2.2.6. Actualización de serie temporal

Respecto a la tendencia de las emisiones, en la Figura 35 se aprecia que las emisiones del año 2019 aumentaron en 12,402.29 GgCO₂eq respecto al año 2018, lo que representa un incremento de un 24.73%; y en 3,830.23 GgCO₂eq respecto al 2008, lo que representa un incremento de 6.52%. Asimismo, se observa una tendencia variable, con picos en los años 2013, 2016 y 2019, presentando un comportamiento similar a la tendencia de la superficie de conversiones hacia tierras de cultivo ocurridos en la Amazonía, por lo que las emisiones de esta subcategoría, están asociadas a actividades de deforestación.

Figura 35. Tendencia de emisiones de GEI para la subcategoría tierras convertidas en tierras de cultivo en el período 2008 – 2019 (GgCO₂eq).



Fuente: Elaboración propia

6.3. Pastizales (3B3)

Esta subcategoría comprende la estimación de las emisiones y remociones de GEI debido a cambios en la biomasa, en la materia orgánica muerta y en el carbono orgánico del suelo en los pastizales que permanecen como pastizales y las tierras convertidas en pastizales.

Para el presente RAGEI, los pastizales, así como las tierras en otros usos, se estratifican en seis ecozonas.

6.3.1. Pastizales que permanecen como pastizales (3B3a)

Las emisiones de GEI en los pastizales que permanecen como pastizales comprenden la estimación de los cambios producidos en las existencias de carbono en la biomasa aérea, biomasa subterránea, madera muerta, hojarasca y carbono orgánico del suelo.

6.3.1.1. Método de cálculo

A continuación, se describen los cambios en las existencias anuales en los depósitos correspondientes para la categoría analizada.

A. Biomasa

En el Nivel 1, se asume que las reservas de carbono en la biomasa son estacionarias, lo que significa que las remociones anuales son compensadas por las pérdidas anuales de carbono, por lo que el resultado en este componente es igual a cero.

B. Materia orgánica muerta

En el método de Nivel 1 se supone que las existencias de madera muerta y hojarasca no existen en los pastizales o se encuentran en equilibrio. Por lo tanto, no hay necesidad de estimar los cambios en las existencias de carbono de estos depósitos.

C. Carbono del suelo

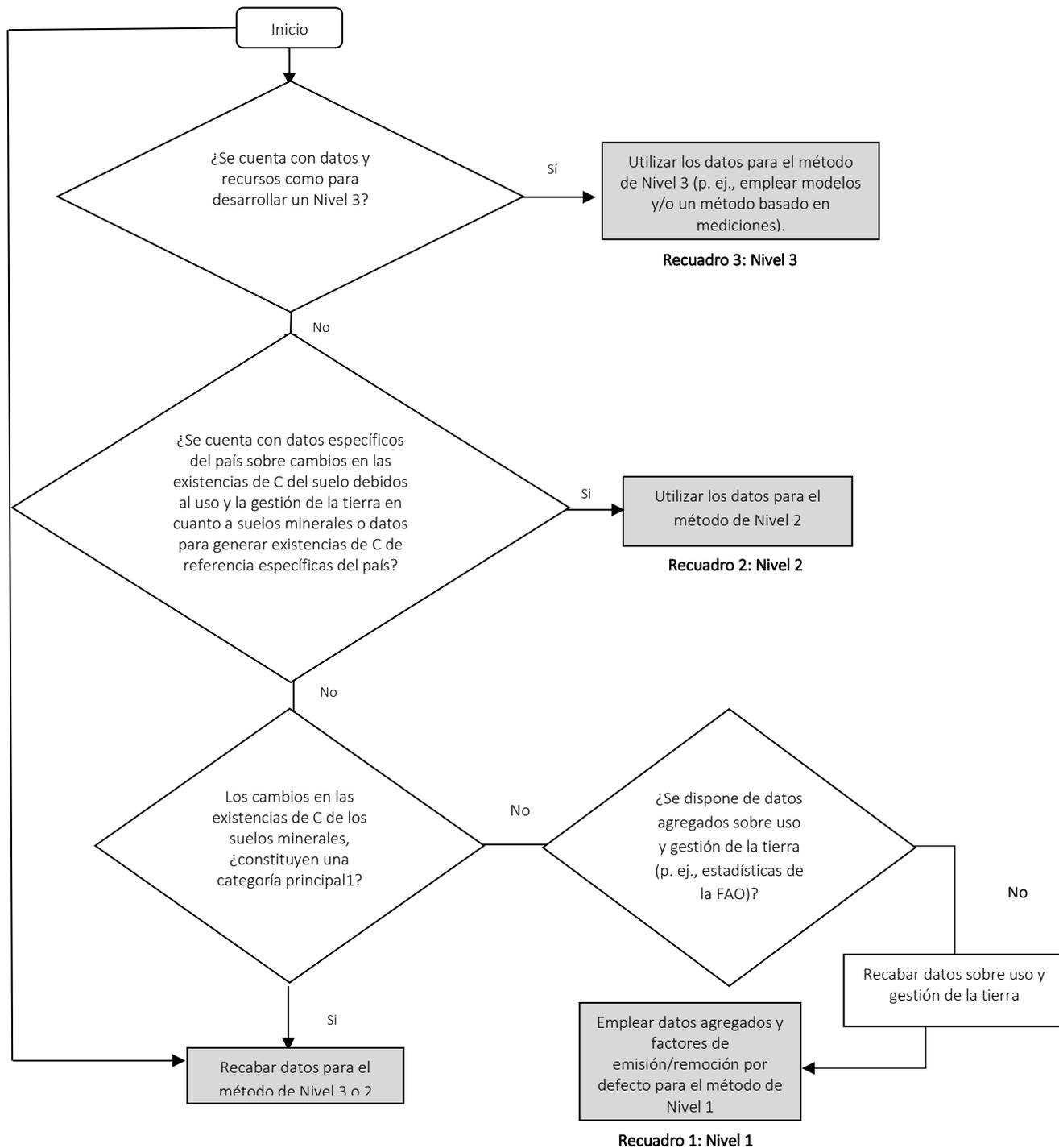
Suelos minerales

Según las Directrices del IPCC de 2006, la metodología de cálculo establece tres niveles de cálculo para estimar los cambios en las existencias de carbono en suelos minerales, cuyas características se describen a continuación:

- Nivel 1: Estima las emisiones empleando datos agregados y factores de emisión y/o remoción por defecto.
- Nivel 2: Estima las emisiones utilizando datos específicos del país sobre cambios en las existencias de C del suelo debidos al uso y la gestión de la tierra en cuanto a suelos minerales o datos para generar existencias de C de referencia específicas del país
- Nivel 3: Estima las emisiones utilizando datos detallados de basados en modelos y/o mediciones.

La Figura 36 presenta el árbol de decisiones de las Directrices del IPCC de 2006 que facilita la elección del nivel de cálculo apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en suelos minerales en una categoría de uso de la tierra.

Figura 36. Árbol de decisiones genérico para la identificación del nivel apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en suelos minerales por pastizales que permanecen como pastizales.



Fuente: Directrices del IPCC de 2006. volumen 4, capítulo 2, página 2.37

Para el análisis del árbol de decisiones se considera lo siguiente:

- No se cuenta con factores de emisión específicos del país.

Por lo anterior, las estimaciones de las emisiones cambios en las existencias de carbono en suelos minerales en pastizales que permanecen como pastizales, se realizan aplicando el método de cálculo de Nivel 1.

De acuerdo con las Directrices del IPCC de 2006 el método de estimación se basa en los cambios de las existencias de C orgánico del suelo durante un período finito, a consecuencia de cambios en la gestión que repercuten sobre el carbono orgánico del suelo. Se utiliza la Ecuación 2.25 de las Directrices del IPCC de 2006.

Ecuación 2.25. Cambio anual en las existencias de carbono orgánico en suelos minerales

$$\Delta C_{\text{Minerales}} = \frac{(SOC_o - SOC_{o-T})}{D}$$

$$SOC = \sum_{c,s,i} (SOC_{REF_{c,s,i}} \times F_{LU_{c,s,i}} \times F_{MG_{c,s,i}} \times F_{I_{c,s,i}} \times A_{c,s,i})$$

(Nota: En esta ecuación, se utiliza T en lugar de D cuando T es ≥ 20 años)

Donde:

- $\Delta C_{\text{Minerales}}$ = cambio anual en las existencias de carbono de los suelos minerales, t C año⁻¹
 - SOC_o = existencias de carbono orgánico en el suelo en el último año de un período de inventario, t C año⁻¹
 - SOC_{o-T} = existencias de carbono orgánico en el suelo al comienzo de un período de inventario, t C año⁻¹
 - SOC_o y SOC_{o-T} se calculan utilizando la ecuación del SOC del recuadro donde se asignan los factores de referencia para existencias y cambios de existencias de carbono según las actividades de uso y gestión de la tierra y las superficies respectivas en cada uno de los momentos (momento = 0 y momento = 0-T)
 - T = cantidad de años de un período de inventario dado, año
 - D = Dependencia temporal de los factores de cambio de existencias, que es el lapso por defecto para la transición entre los valores de equilibrio del SOC, año.
 - c,s,i = c representa las zonas climáticas, s los tipos de suelo, e i el conjunto de sistemas de gestión que se dan en un país dado.
 - F_{MG} = factor de cambio de existencias para sistemas de uso de la tierra o subsistemas de un uso de la tierra en particular, sin dimensión
 - F_{LU} = factor de cambio de existencias para el régimen de gestión, sin dimensión
 - F_I = factor de cambio de existencias para el aporte de materia orgánica, sin dimensión
- Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, capítulo 2, ecuación 2.25, página 2.34

Suelos orgánicos

No se dispone de información nacional sobre área de suelos orgánicos drenados, por lo que el RAGEI 2019 no incluye las emisiones por este reservorio.

6.3.1.2. Datos de actividad

La Tabla 36 presenta un resumen de los datos de actividad requeridos y las fuentes de información de donde fueron obtenidos, por cada reservorio de la subcategoría. Asimismo, se indican los reservorios que no fueron estimados en el presente inventario y el motivo de su no inclusión.

Tabla 36. Descripción de los datos de actividad para el cálculo de las emisiones en pastizales que permanecen como pastizales

| Reservorios | Nivel de actividad IPCC | Detalle de variaciones a Estimar | Datos de actividad IPCC | Dato Nacional | Fuente de información | Comentarios |
|----------------------------|---|--|---|--|---|--|
| Biomasa | Cambios de las existencias de carbono de los suelos en la biomasa | Cambio anual en las existencias de carbono en biomasa perenne (aérea y subterránea) | En el Nivel 1, se asume que las reservas de carbono en la biomasa son estacionarias, lo que significa que las remociones anuales son compensadas por las pérdidas anuales de carbono, por lo que el resultado en este componente es igual a cero. | | | |
| Materia orgánica muerta | Cambios de las existencias de carbono en materia orgánica muerta | Cambio anual en las existencias de carbono de la materia orgánica muerta (incluye madera muerta y hojarasca) | En el método de Nivel 1 se supone que las existencias de madera muerta y hojarasca no ocurren en los pastizales o están en equilibrio | | | |
| Carbono orgánico del suelo | Cambios de las existencias de carbono de los suelos | Cambio anual en las existencias de carbono orgánico de los suelos minerales | Superficie de pastizales que permanecen como pastizales | Superficie de pastizales que permanecen como pastizales (ha) | Ministerio del Ambiente (2022). Nivel de referencia de emisiones forestales por deforestación bruta del Perú en el bioma amazónico. | Superficies anuales de permanencia y conversión del uso de la tierra, para cuatro ecozonas amazónica, para todas las categorías de uso de la tierra en el año de reporte |
| | | Pérdida anual de carbono de suelos orgánicos drenados | No se dispone de información nacional sobre área de suelos orgánicos drenados | | | |

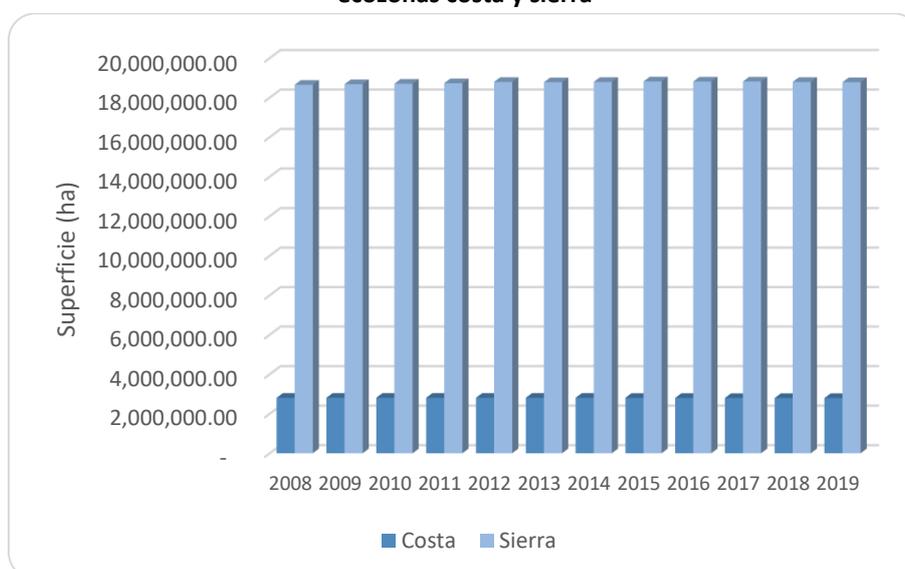
Fuente: Elaboración propia

A. Superficie acumulada de pastizales que permanecen como pastizales

De acuerdo con las Directrices del IPCC de 2006, todos los niveles requieren información sobre los pastizales que permanecen en la misma categoría durante los 20 años anteriores al año de evaluación (valor por defecto). Este análisis solo se ha realizado para las ecozonas costa y sierra. En el caso de las ecozonas amazónicas, no ha sido posible completar el análisis para un periodo de 20 años debido a falta de información.

En la Figura 37 se presenta la superficie de pastizales que permanecen como pastizales acumulada en 20 años en costa y sierra. En ambas ecozonas se observa que la superficie acumulada de pastizales no presenta variaciones significativas.

Figura 37. Superficie acumulada en 20 años de pastizales que permanecen como pastizales en las ecozonas costa y sierra



Fuente: Elaboración propia

6.3.1.3. Factores de emisión y conversión

A. Factores de emisión

Las Directrices del IPCC de 2006 brindan factores de emisión por defecto para todos los parámetros evaluados. La Tabla 37 brinda el detalle de los factores de emisión utilizados para los cálculos de variación de carbono en el reservorio de carbono orgánico del suelo.

Tabla 37 Factores de emisión empleados para estimar emisiones de GEI en el reservorio carbono orgánico del suelo.

| Factores | Valor | Unidad | Fuente de información |
|--|-------|---------|--|
| Valor de referencia de las reservas de carbono COS_{REF} , suelos AAA, región tropical húmeda | 40 | t C/ ha | Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006*, volumen 4. capítulo 2, cuadro 2.5. |
| Valor de referencia de las reservas de carbono COS_{REF} , suelos ABA, región tropical húmeda | 38 | t C/ ha | |
| Valor de referencia de las reservas de carbono COS_{REF} , suelos de humedal, región tropical húmeda | 68 | t C/ ha | |

| Factores | Valor | Unidad | Fuente de información |
|---|------------------------|------------------|---|
| Valor de referencia de las reservas de carbono COS _{REF} , suelos AAA, región tropical seca | 21 | t C/ ha | |
| Valor de referencia de las reservas de carbono COS _{REF} , suelos arenosos, región tropical seca | 9 | t C/ ha | |
| Valor de referencia de las reservas de carbono COS _{REF} , suelos AAA, región montañoso tropical | 51 | t C/ ha | |
| Factores por defecto de variación de las reservas: FLU, FMG, FI para tierras de cultivo | 0.83, 1.10, 0.92 | Sin dimensión | Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006*, volumen 4. capítulo 5, cuadro 5.10. |

* Se emplearon factores de emisión del Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006, por considerarse más adecuados a las circunstancias de Perú.

Fuente: Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006

6.3.1.4. Análisis de incertidumbres

No se ha realizado el análisis de incertidumbres, debido a que las emisiones de la subcategoría resultaron nulas.

6.3.1.5. Análisis de resultados

En el año 2019, las emisiones netas generadas en pastizales que permanecen como pastizales fue cero. En el método de cálculo Nivel 1, se asumió que las reservas de carbono en la biomasa son estacionarias, lo que significa que las remociones anuales fueron compensadas por las pérdidas anuales de carbono, por lo que el resultado en este componente fue igual a cero. Asimismo, se asumió que no hubo cambios en las existencias de carbono de la materia orgánica muerta.

Las estimaciones de las emisiones por cambios en las existencias de carbono en la materia orgánica del suelo se realizaron aplicando el método de cálculo de Nivel 1, teniendo como resultado que las emisiones netas generadas fue cero a lo largo de la serie temporal.

Por lo anterior, no se reportan emisiones en esta subcategoría.

6.3.2. Tierras convertidas en pastizales (3B3b)

Las emisiones de GEI en las tierras convertidas en pastizales comprenden la estimación de los cambios producidos en las existencias de carbono en la biomasa aérea, biomasa subterránea, madera muerta, hojarasca y materia orgánica del suelo.

6.3.2.1. Método de cálculo

A. Biomasa

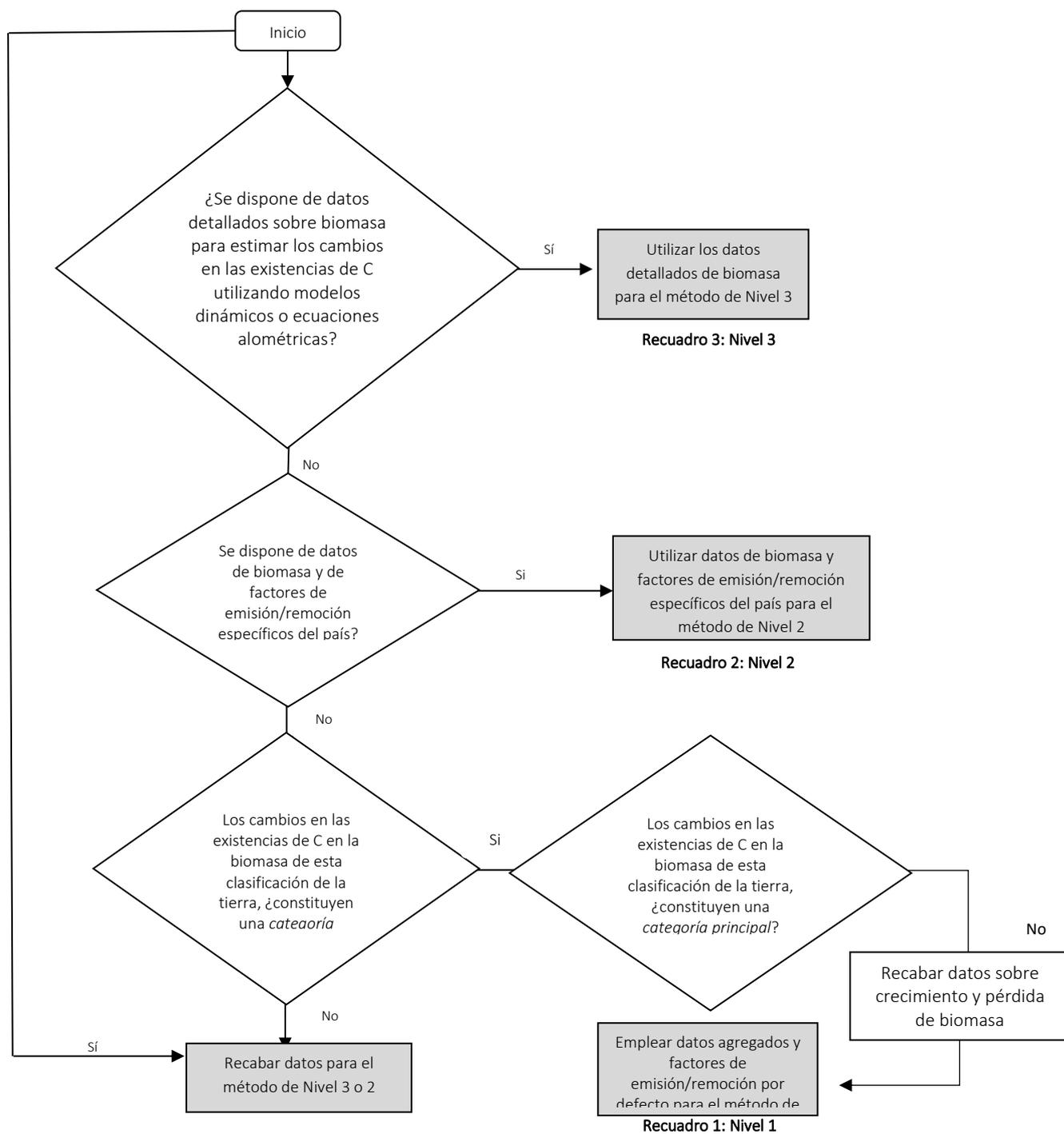
Según las Directrices del IPCC de 2006, la metodología de cálculo establece tres niveles de cálculo para estimar los cambios en las existencias de carbono en biomasa, cuyas características se describen a continuación:

- Nivel 1: Estima las emisiones empleando datos agregados y factores de emisión y/o remoción por defecto.

- Nivel 2: Estima las emisiones utilizando datos de biomasa y factores de emisión y/o remoción específicos del país.
- Nivel 3: Estima las emisiones utilizando datos detallados de biomasa.

La Figura 38 presenta el árbol de decisiones de las Directrices del IPCC de 2006 que facilita la elección del nivel de cálculo apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en biomasa en una categoría de uso de la tierra.

Figura 38. Árbol de decisiones genérico para la identificación del nivel apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en biomasa en tierras convertidas en pastizales.



Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, capítulo 2, página 2.15

Para el análisis del árbol de decisiones se considera lo siguiente:

- Es una categoría principal
- Se cuenta con datos de contenido de biomasa de tierras forestales específicos del país.
- No se cuenta con factores de emisión nacionales para los usos de la tierra diferentes de las tierras forestales.

Por lo anterior, las estimaciones de las emisiones cambios en las existencias de carbono en biomasa en tierras convertidas en pastizales, se realizan aplicando una combinación del Nivel 1 y Nivel 2, dependiendo de la disponibilidad de información nacional.

La estimación del cambio en las existencias de carbono en la biomasa se realiza aplicando la Ecuación 2.15.

Ecuación 2.15. Cambio anual en las existencias de carbono en biomasa en tierras convertidas en otra categoría de uso de la tierra

$$\Delta C_B = \Delta C_G + \Delta C_{CONVERSIÓN} + \Delta C_L$$

Donde:

- ΔC_B = cambio anual en las existencias de carbono de la biomasa en tierras convertidas en otra categoría de uso de la tierra, t C año⁻¹
- ΔC_G = incremento anual en las existencias de carbono de la biomasa debido a crecimiento en tierras convertidas en otra categoría de uso de la tierra, t C año⁻¹
- $\Delta C_{CONVERSIÓN}$ = cambio inicial en las existencias de carbono de la biomasa en tierras convertidas en otra categoría de uso de la tierra
- ΔC_L = reducción anual en las existencias de carbono de la biomasa debida a pérdidas producidas por cosechas, recogida de madera combustible y perturbaciones en tierras convertidas en otra categoría de uso de la tierra, t C año⁻¹

Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, capítulo 2, ecuación 2.15, página 2.22

La ecuación 2.16 de las Directrices del IPCC de 2006 es utilizada para estimar el incremento anual de las existencias de carbono en la biomasa.

Ecuación 2.16. Incremento anual de las existencias de carbono en biomasa en tierras que permanecen en la misma categoría de uso de la tierra.

$$\Delta C_{CONVERSIÓN} = \sum_i \{ (B_{DESPUES_i} - B_{ANTES_i}) \times \Delta A_{A_OTRAS} \} \times CF$$

Donde:

- $\Delta C_{CONVERSIÓN}$ = cambio inicial en las existencias de carbono de la biomasa en tierras convertidas en otra categoría de tierra, t C año⁻¹
- $B_{DESPUES}$ = existencias de biomasa en el tipo de tierra *i* después de la conversión, t m.s. ha⁻¹
- B_{ANTES} = existencias de biomasa en el tipo de tierra *i* antes de la conversión, t m.s. ha⁻¹
- ΔA_{A_OTRAS} = superficie de uso de la tierra *i* convertida a otra categoría de uso de la tierra en un año dado, ha año⁻¹
- CF = fracción de carbono de materia seca, t C (t m.s.)⁻¹

Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, capítulo 2, ecuación 2.15, página 2.22

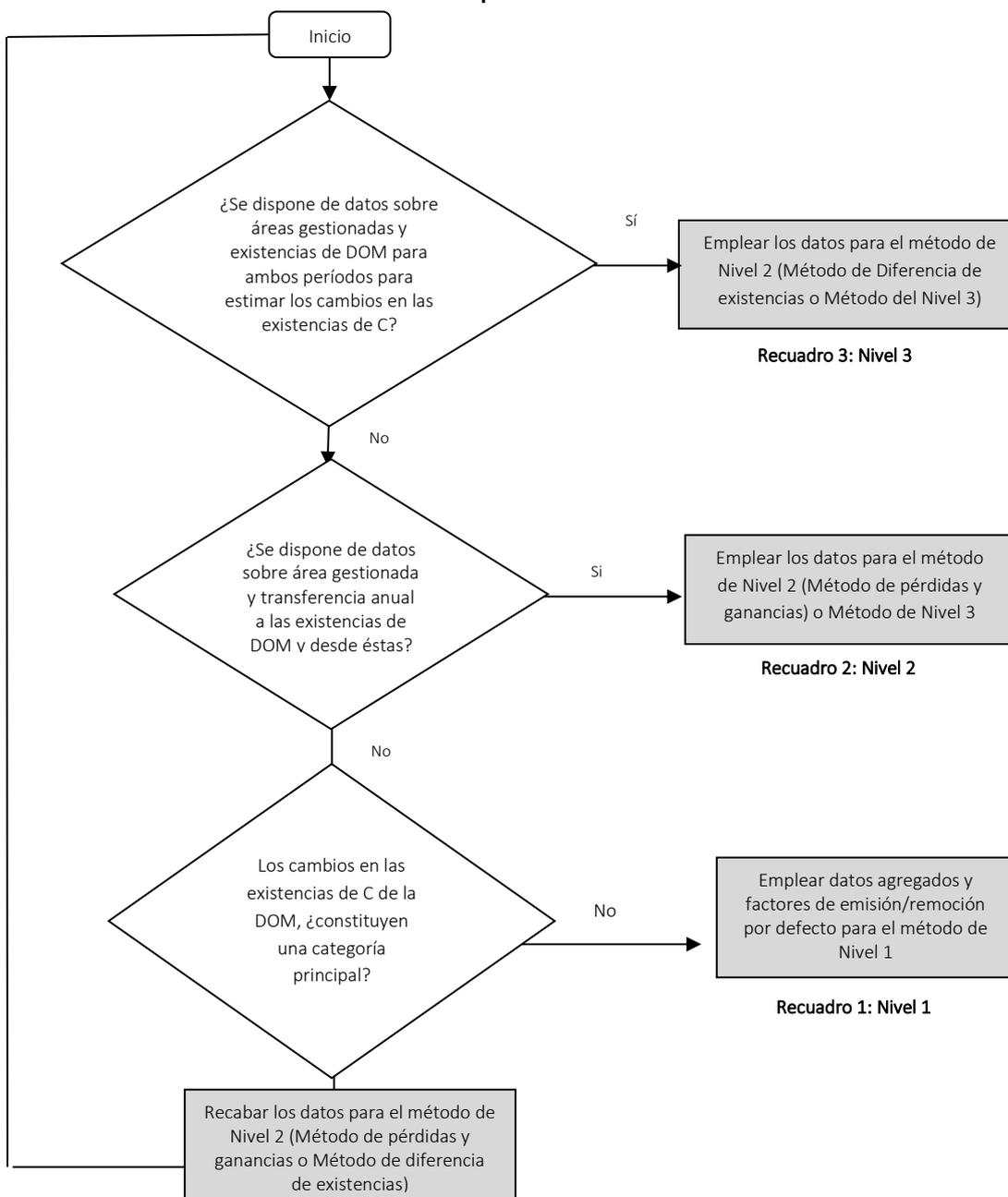
B. Materia orgánica muerta

Según las Directrices del IPCC de 2006, la metodología de cálculo establece tres niveles de cálculo para estimar los cambios en las existencias de carbono en la materia orgánica muerta, cuyas características se describen a continuación:

- Nivel 1: Estima las emisiones empleando datos agregados y factores de emisión y/o remoción por defecto.
- Nivel 2: Estima las emisiones utilizando datos sobre transferencia anual y factores de emisión/remoción específicos del país.
- Nivel 3: Estima las emisiones utilizando datos detallados de existencias de MOM.

La Figura 39 presenta el árbol de decisiones de las Directrices del IPCC de 2006 que facilita la elección del nivel de cálculo apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en materia orgánica muerta en una categoría de uso de la tierra.

Figura 39. Árbol de decisiones genérico para la identificación del nivel apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en materia orgánica muerta en tierras que se convierten en pastizales.



Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, capítulo 2, página 2.25

Para el análisis del árbol de decisiones se considera lo siguiente:

- No se cuenta con datos de transferencia anual de las existencias de carbono en la materia orgánica muerta.

Por lo anterior, las estimaciones de las emisiones cambios en las existencias de carbono en biomasa en tierras convertidas en pastizales, se realizan aplicando un Nivel 1.

La Ecuación 2.23 de las Directrices del IPCC de 2006, resume el cálculo para estimar los cambios anuales de las existencias de carbono en depósitos de materia orgánica muerta.

Ecuación 2.23. Cambio anual en las existencias de carbono en madera muerta y hojarasca debido a la conversión en el uso de la tierra

$$\Delta C_{DOM} = \frac{(C_o - C_n) \times A_{on}}{T_{on}}$$

Donde:

- ΔC_{DOM} = cambio en las existencias anuales de carbono en madera muerta u hojarasca, t C año⁻¹
- C_o = cambio en las existencias de carbono de la madera muerta, t C año⁻¹
- C_n = cambio en las existencias de carbono de la hojarasca, t C año⁻¹
- A_{on} = superficie sometida a la conversión de la vieja a la nueva categoría de uso de la tierra, ha
- T_{on} = lapso en el que se produce la transición de la vieja a la nueva categoría de uso de la tierra, año. El valor por defecto del Nivel 1 es de 20 años para los incrementos de existencias de carbono y de 1 año para las pérdidas de carbono.

Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, capítulo 2, ecuación 2.23, página 2.29

C. Carbono del suelo

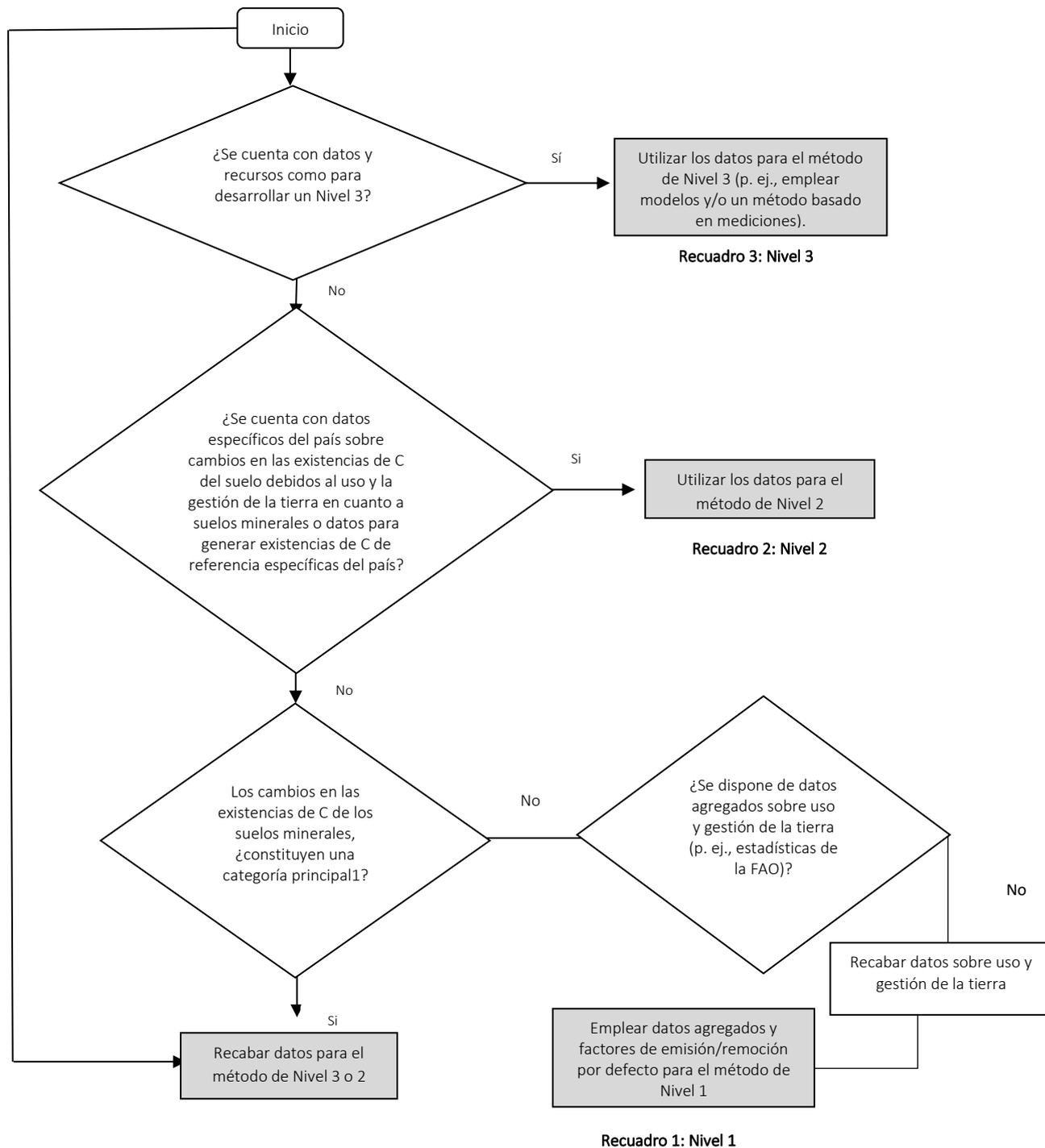
Suelos minerales

Según las Directrices del IPCC de 2006, la metodología de cálculo establece tres niveles de cálculo para estimar los cambios en las existencias de carbono en suelos minerales, cuyas características se describen a continuación:

- Nivel 1: Estima las emisiones empleando datos agregados y factores de emisión y/o remoción por defecto.
- Nivel 2: Estima las emisiones utilizando datos específicos del país sobre cambios en las existencias de C del suelo debidos al uso y la gestión de la tierra en cuanto a suelos minerales o datos para generar existencias de C de referencia específicas del país
- Nivel 3: Estima las emisiones utilizando datos detallados de basados en modelos y/o mediciones.

La Figura 40 presenta el árbol de decisiones de las Directrices del IPCC de 2006 que facilita la elección del nivel de cálculo apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en suelos minerales en una categoría de uso de la tierra.

Figura 40. Árbol de decisiones genérico para la identificación del nivel apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en suelos minerales en tierras convertidas en pastizales.



Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, capítulo 2, página 2.37

Para el análisis del árbol de decisiones se considera lo siguiente:

- No se cuenta con factores de emisión específicos del país.

Por lo anterior, las estimaciones de las emisiones cambios en las existencias de carbono en la materia orgánica del suelo en tierras convertidas en pastizales, se realizan aplicando el método de cálculo de Nivel 1.

Ecuación 2.25. Cambio anual en las existencias de carbono orgánico en suelos minerales

$$\Delta C_{\text{Minerales}} = \frac{(SOC_o - SOC_{0-T})}{D}$$

$$SOC = \sum_{c,s,i} (SOC_{REF_{c,s,i}} \times FLU_{c,s,i} \times FMG_{c,s,i} \times FI_{c,s,i} \times A_{c,s,i})$$

(Nota: En esta ecuación, se utiliza T en lugar de D cuando T es ≥ 20 años)

Donde:

- $\Delta C_{\text{Minerales}}$ = cambio anual en las existencias de carbono de los suelos minerales, t C año⁻¹
- SOC_o = existencias de carbono orgánico en el suelo en el último año de un período de inventario, t C año⁻¹
- SOC_{0-T} = existencias de carbono orgánico en el suelo al comienzo de un período de inventario, t C año⁻¹
- SOC_0 y $SOC(0-T)$ se calculan utilizando la ecuación del SOC del recuadro donde se asignan los factores de referencia para existencias y cambios de existencias de carbono según las actividades de uso y gestión de la tierra y las superficies respectivas en cada uno de los momentos (momento = 0 y momento = 0-T)
- T = cantidad de años de un período de inventario dado, año
- D = Dependencia temporal de los factores de cambio de existencias, que es el lapso por defecto para la transición entre los valores de equilibrio del SOC, año.
- c = representa las zonas climáticas, s los tipos de suelo, e i el conjunto de sistemas de gestión que se dan en un país dado.
- F_{MG} = factor de cambio de existencias para sistemas de uso de la tierra o subsistemas de un uso de la tierra en particular, sin dimensión
- F_{LU} = factor de cambio de existencias para el régimen de gestión, sin dimensión
- F_i = factor de cambio de existencias para el aporte de materia orgánica, sin dimensión

Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, capítulo 2, ecuación 2.25, página 2.34

Suelos orgánicos

No se dispone de información nacional sobre área de suelos orgánicos drenados, por lo que el RAGEI 2019 no incluye las emisiones por este reservorio.

6.3.2.2. Datos de actividad

Los datos de actividad de esta subcategoría han sido obtenidos a partir de dos insumos: las superficies de permanencias y cambios por categoría de uso de tierra para cuatro ecozonas amazónicas, para el periodo 2008-2019; y las matrices de uso y cambio de uso determinada entre dos años de inventarios consecutivos para costa y sierra, para los periodos para los periodos 2005–2010, 2010–2012, 2012–2014, 2014–2016, 2016–2019. Asimismo, para las ecozonas costa y sierra, se han elaborado las matrices de uso y cambio de uso de tierras que consideran un periodo de transición de 20 años.

La Tabla 38 presenta un resumen de los datos de actividad requeridos y las fuentes de información de donde fueron obtenidos, por cada reservorio estimado en la subcategoría. Asimismo, se indican los reservorios que no fueron estimados en el presente reporte y el motivo de su no inclusión.

Tabla 38. Descripción de los datos de actividad para el cálculo de las emisiones en tierras convertidas en pastizales.

| Reservorios | Nivel de actividad IPCC | Detalle de Variaciones a Estimar | Datos de actividad IPCC | Dato Nacional | Fuente de información | Comentarios |
|-------------------------|---|--|--|---|--|---|
| Biomasa | Cambios de las existencias de carbono de los suelos en la biomasa | Cambio anual en las existencias de carbono en biomasa | Superficie bajo conversión hacia una nueva categoría de uso de suelo | Superficie anual de tierras convertidas pastizales (ha) | Ministerio del Ambiente (2022). Nivel de referencia de emisiones forestales por deforestación bruta del Perú en el bioma amazónico. | Superficies anuales de permanencia y conversión del uso de la tierra, para cuatro ecozonas amazónica, para todas las categorías de uso de la tierra en el año de reporte |
| | | | | | Ministerio del Ambiente (2022). Informe de consultoría: "Análisis espacial con teledetección y elaboración de matrices de uso y cambio de uso de suelo para los biomas de Costa y Sierra". Documento interno | La información base para la construcción de las matrices de uso y cambio de uso de la tierra en los biomas de Costa y Sierra fue la información satelital descargada de la <i>European Space Agency</i> para los periodos 1994-2000, 2000-2005, 2005-2010, 2010-2012, 2012-2014, 2014 2016 y 2016-2019. |
| Materia orgánica muerta | Cambios de las existencias de carbono en materia orgánica muerta | Cambio anual en las existencias de carbono de la materia orgánica muerta (incluye madera muerta y hojarasca) | Superficie bajo conversión hacia una nueva categoría de uso de suelo | Superficie anual de tierras convertidas pastizales (ha) | Ministerio del Ambiente (2022). Nivel de referencia de emisiones forestales por deforestación bruta del Perú en el bioma amazónico. | Superficies anuales de permanencia y conversión del uso de la tierra, para cuatro ecozonas amazónica, para todas las categorías de uso de la tierra en el año de reporte |
| | | | | | Ministerio del Ambiente (2022). Informe de consultoría: "Análisis espacial con teledetección y elaboración de matrices de uso y cambio de uso de suelo para los biomas de Costa y Sierra". Documento interno | La información base para la construcción de las matrices de uso y cambio de uso de la tierra en los biomas de Costa y Sierra fue la información satelital descargada de la <i>European Space Agency</i> para los periodos 1994-2000, 2000-2005, 2005-2010, 2010-2012, 2012-2014, 2014 2016 y 2016-2019. |

| Reservorios | Nivel de actividad IPCC | Detalle de Variaciones a Estimar | Datos de actividad IPCC | Dato Nacional | Fuente de información | Comentarios |
|----------------------------|---|---|---|--|--|--|
| Carbono orgánico del suelo | Cambios de las existencias de carbono de los suelos | Cambio anual en las existencias de carbono orgánico de los suelos minerales | Superficie acumulada en 20 años bajo conversión hacia una nueva categoría de uso de suelo | Superficie acumulada de tierras convertidas en pastizales (ha) | Ministerio del Ambiente (2022). Informe de consultoría: "Análisis espacial con teledetección y elaboración de matrices de uso y cambio de uso de suelo para los biomas de Costa y Sierra". Documento interno | La información base para la construcción de las matrices de uso y cambio de uso de la tierra en los biomas de Costa y Sierra fue la información satelital descargada de la <i>European Space Agency</i> para los años 1994, 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019. |
| | | Pérdida anual de carbono de suelos orgánicos drenados | No se dispone de información nacional sobre área de suelos forestales orgánicos drenados | | | |

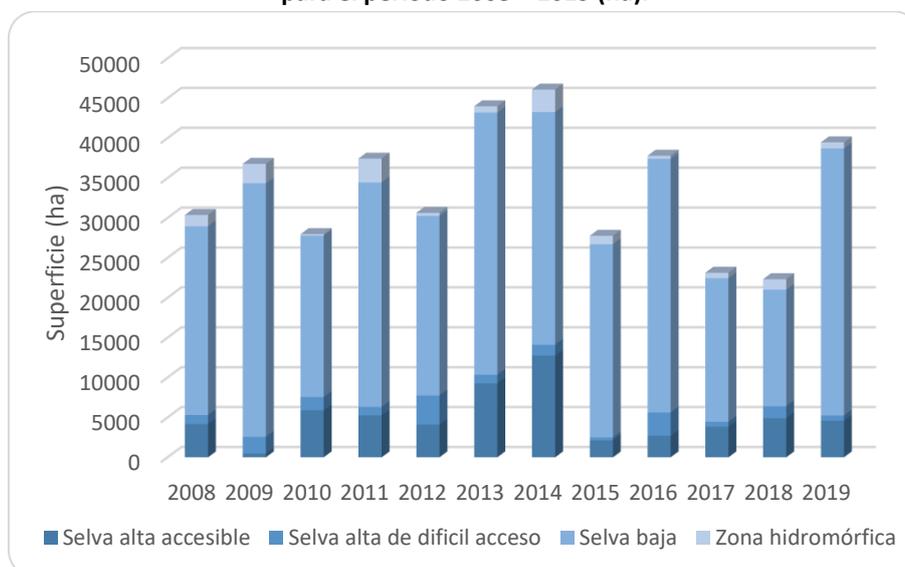
Fuente: Elaboración propia

Los principales datos de actividad provienen de la matriz de uso y cambio de uso de la tierra para cada ecozona.

A. Superficie anual de tierras convertidas en pastizales

En la Figura 41 se presenta la superficie anual de tierras que se convierten en pastizales en el periodo 2008 – 2019. Se observa que la ecozona selva baja presenta la mayor superficie de tierras convertidas en pastizales a lo largo de los años. Asimismo, de manera general, la tendencia de la superficie convertida en pastizales en la Amazonía es variable, con un pico en el año 2014. Estas conversiones están asociadas a las actividades de deforestación del bosque amazónico.

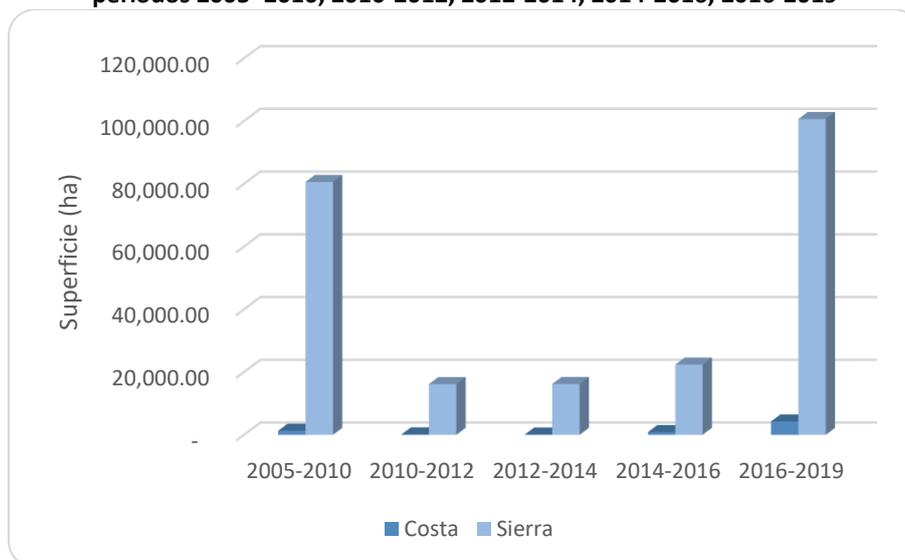
Figura 41. Superficie de anual de tierras convertidas en pastizales en cuatro ecozonas amazónicas, para el periodo 2008 – 2019 (ha).



Fuente: Elaboración propia

La Figura 42 presenta la superficie de tierras convertidas en pastizales, en las ecozonas costa y sierra, para los periodos 2005–2010, 2010-2012, 2012-2014, 2014-2016, 2016-2019. En el caso de la costa, se observan que el pico más alto con la mayor superficie de conversiones hacia pastizales ocurrió durante el periodo 2016-2019. Asimismo, en el caso de la sierra, se identifican dos picos en los periodos 2005-2010 y 2016-2019.

Figura 42. Superficie de anual de tierras que se convierten en pastizales en costa y sierra, para los periodos 2005–2010, 2010-2012, 2012-2014, 2014-2016, 2016-2019



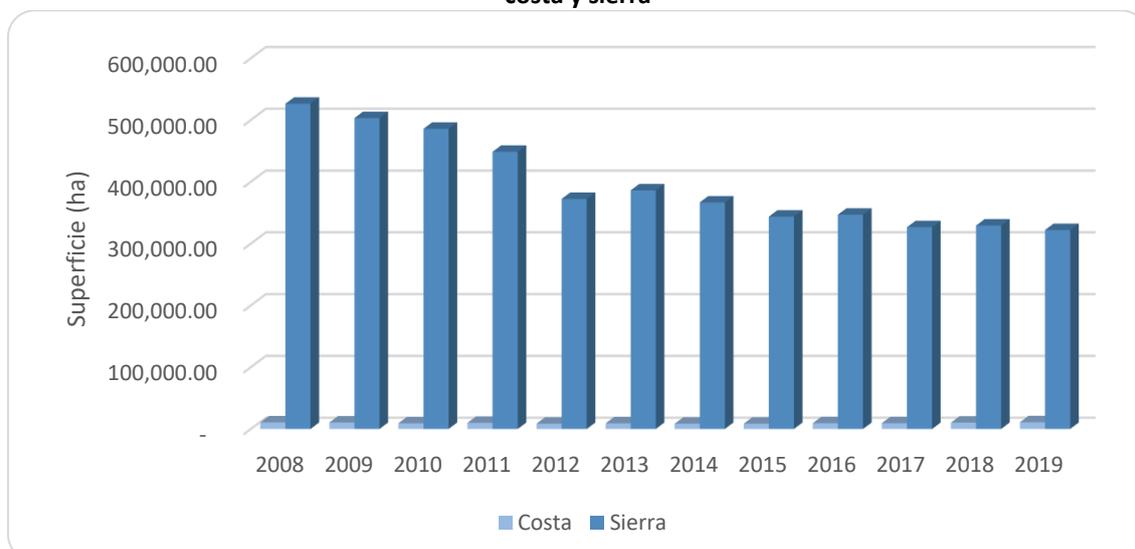
Fuente: Elaboración propia

B. Superficie acumulada de tierras convertidas en pastizales

De acuerdo con las Directrices del IPCC de 2006, para la estimación de las emisiones/remociones de carbono orgánico del suelo todos los niveles requieren información sobre áreas convertidas en pastizales durante los 20 años anteriores al año de reporte (valor por defecto). Este análisis solo se ha realizado para las ecozonas costa y sierra. En el caso de las ecozonas amazónicas, no ha sido posible completar el análisis para un periodo de 20 años debido a falta de información.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Figura 43 se presenta la superficie acumulada en 20 años de tierras que se convierten en pastizales en la costa y sierra. Se observa que las sierra presenta una mayor superficie acumulada de tierras en conversión hacia pastizales. Asimismo, en la sierra se presenta una tendencia decreciente en el periodo 2008 al 2019, lo que indica que los cambios de uso hacia pastizales están disminuyendo en esta ecozona.

Figura 43. Superficie acumulada en 20 años de tierras que se convierten en pastizales en las ecozonas costa y sierra



Fuente: Elaboración propia

6.3.2.3. Factores de emisión y conversión

A. Factores de emisión

Las Directrices del IPCC de 2006 brindan factores de emisión por defecto para todos los parámetros evaluados.

La Tabla 39 brinda el detalle de los factores de emisión utilizados para los cálculos de variación de carbono en el reservorio biomasa.

Tabla 39 Factores de emisión empleados para estimar emisiones de GEI en el reservorio biomasa

| Factores | Valor | Unidad | Fuente de información |
|---|--------|-------------|---|
| Contenido de biomasa aérea de tierras forestales – Selva alta accesible | 183.68 | t m.s./ha | Ministerio del Ambiente (2022). Nivel de referencia de emisiones forestales por deforestación bruta del Perú en el bioma amazónico. |
| Contenido de biomasa aérea de tierras forestales – Selva alta de difícil acceso | 188.74 | t m.s./ha | |
| Contenido de biomasa aérea de tierras forestales – Selva baja | 247.82 | t m.s./ha | |
| Contenido de biomasa aérea de tierras forestales – Zona hidromórfica | 167.46 | t m.s./ha | |
| Contenido de biomasa subterránea de tierras forestales – Selva alta accesible | 88.64 | t m.s./ha | |
| Contenido de biomasa subterránea de tierras forestales – Selva alta de difícil acceso | 89.94 | t m.s./ha | |
| Contenido de biomasa subterránea de tierras forestales – Selva baja | 113.41 | t m.s./ha | |
| Contenido de biomasa subterránea de tierras forestales – Zona hidromórfica | 73.26 | t m.s./ha | |
| Contenido de biomasa aérea de tierras forestales en tierras forestales – Costa | 6.61 | t m.s./ha | SERFOR 2020. Informe del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. Ecozona Costa. Panel 1 y 2. |
| Contenido de biomasa aérea de tierras forestales – Sierra | 6.11 | t m.s./ha | SERFOR 2019. Informe del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. Panel 1. |
| Reservas de carbono en la biomasa de cultivos anuales, clima tropical | 10.00 | t m.s./ha | Directrices del IPCC de 2006, volumen 4, capítulo 5, cuadro 5.1 |
| Fracción de carbono de la biomasa forestal aérea (t C/t m.s.) | 0.47 | t C/ t m.s. | Directrices del IPCC de 2006, volumen 4, capítulo 4, cuadro 4.3 |

Fuente: Varias fuentes

La Tabla 40 brinda el detalle de los factores de emisión utilizados para los cálculos de variación de carbono en el reservorio materia orgánica muerta.

Tabla 40. Factores de emisión empleados para estimar emisiones de GEI en el reservorio materia orgánica muerta

| Factores | Valor | Unidad | Fuente de información |
|---|-------|----------|---|
| Existencias de materia orgánica muerta (hojarasca y madera muerta) – Selva alta accesible | 9.22 | t C./ ha | Ministerio del Ambiente (2022). Nivel de referencia de emisiones forestales por deforestación bruta del Perú en el bioma amazónico. |
| Existencias de materia orgánica muerta (hojarasca y madera muerta) – Selva alta de difícil acceso | 14.54 | t C./ ha | |
| Existencias de materia orgánica muerta (hojarasca y madera muerta) – Selva baja | 15.93 | t C./ ha | |
| Existencias de materia orgánica muerta (hojarasca y madera muerta) – Zona hidromórfica | 8.11 | t C./ ha | |
| Existencias de materia orgánica muerta (hojarasca y madera muerta) – Costa | 0.67 | t C./ ha | SERFOR 2020. Informe del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. Ecozona Costa. Panel 1 y 2. |
| Existencias de materia orgánica muerta (hojarasca y madera muerta) – Sierra | 0.49 | t C./ ha | SERFOR 2019. Informe del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. Panel 1. |

Fuente: Varias fuentes

Los factores de emisión para estimar las emisiones/remociones en el carbono orgánico del suelo se presenta en la Tabla 41.

Tabla 41. Factores de emisión empleados para estimar emisiones de GEI en el reservorio carbono orgánico del suelo.

| Factores | Valor | Unidad | Fuente de información |
|--|----------------------|---------------|--|
| Valor de referencia de las reservas de carbono COS_{REF} , suelos AAA, región tropical seca | 21 | t C./ ha | Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006*, volumen 4, capítulo 2, cuadro 2.3 |
| Valor de referencia de las reservas de carbono COS_{REF} , suelos arenosos, región tropical seca | 9 | t C./ ha | |
| Valor de referencia de las reservas de carbono COS_{REF} , suelos AAA, región montañoso tropical | 51 | t C./ ha | |
| Factores por defecto de variación de las reservas: F_{LU} , F_{MG} , F_I para tierras de cultivo | 0.83 1.10 0.92 | Sin dimensión | Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006*, volumen 4, capítulo 5, cuadro 5.10 |
| Factores por defecto de variación de las reservas: F_{LU} , F_{MG} , F_I para pastizales | 1.00 1.00 1.00 | Sin dimensión | Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006*, volumen 4, capítulo 6, cuadro 6.2 |

* Se emplearon factores de emisión del Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006, por considerarse más adecuados a las circunstancias de Perú.

Fuente: Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006

6.3.2.4. Análisis de incertidumbres

Para el caso de la incertidumbre de los datos de actividad, para las ecozonas amazónicas el método de muestreo sistemático permitió la determinación del valor de incertidumbre asociado. Para la incertidumbre de los factores de emisión, se cuentan con la incertidumbre asociada a los factores de emisión de bosques. En el caso de los demás usos de tierra, se utilizaron los valores por defecto de las Directrices del IPCC del 2006.

Los valores de incertidumbre combinada para son presentados en la Tabla 42.

Tabla 42. Incertidumbre de las emisiones de CO₂ en tierras que se convierten en pastizales

| Código | Fuente | Gas | Estimaciones de GEI año t | Incetidumbre en los datos de nivel de actividad | Incetidumbre en el factor de emisión | Incetidumbre combinada |
|--------|---|-----------------|---------------------------------------|---|--------------------------------------|------------------------|
| | | | Datos de entrada GgCO ₂ eq | Datos de entrada % | Datos de entrada % | $\sqrt{(E^2+F^2)}$ % |
| 3B3b | Tierras que se convierten en pastizales | CO ₂ | 24,463.12 | 34.22% | 2.30% | 34.3% |

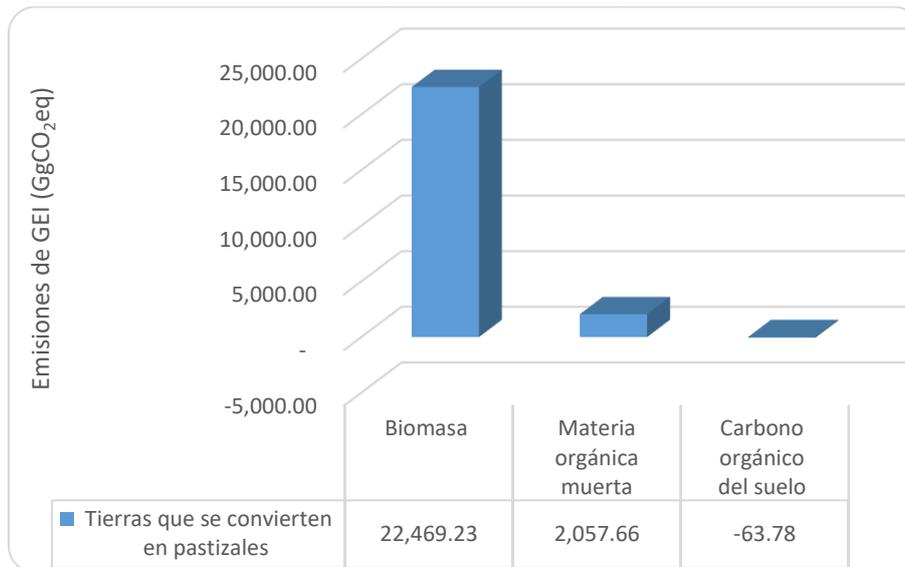
Fuente: Elaboración propia

6.3.2.5. Análisis de resultados

En el año 2019, las emisiones generadas en las tierras convertidas en pastizales fueron - 24,463.12 GgCO₂eq, que en términos absolutos representa el 23.35% de las emisiones del sector.

La Figura 44 presenta cómo se encuentran distribuidas las emisiones y remociones del año 2019 entre los reservorios de carbono, donde el 91.37% (22,469.23 GgCO₂eq) corresponden a los cambios en las existencias de carbono en la biomasa (biomasa aérea y subterránea). La materia orgánica muerta representa el 8.37% (2,057.66 GgCO₂eq) y el carbono orgánico del suelo representa, en términos absolutos, el 0.26% (-63.78 GgCO₂eq).

Figura 44. Distribución de las emisiones y remociones de CO₂ por reservorios de carbono, 2019.

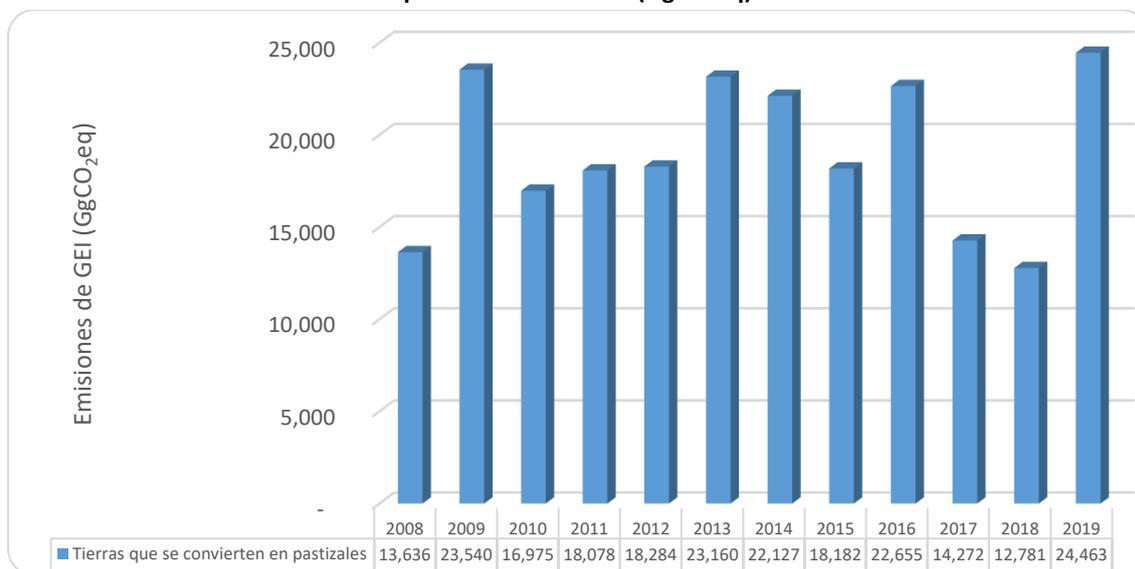


Fuente: Elaboración propia

6.3.2.6. Actualización de serie temporal

Respecto a la tendencia de las emisiones, en la Figura 45 se aprecia que las emisiones del año 2019 aumentaron en 11,681.83 GgCO₂eq respecto al año 2018, lo que representa un incremento de un 91.40%; y en 10.826.86 GgCO₂eq respecto al 2008, lo que representa un incremento de 79.40%. Asimismo, se observa una tendencia variable, con picos en los años 2009 y 2019.

Figura 45. Tendencia de emisiones de GEI para la subcategoría tierras convertidas en pastizales para el período 2008 – 2019 (GgCO₂eq)



Fuente: Elaboración propia

6.4. Humedales (3B4)

La subcategoría Humedales incluye a las tierras cubiertas o saturadas de agua durante todo o parte del año que no pueden clasificarse como tierras forestales, tierras de cultivo, pastizales o asentamientos.

Si bien se han determinado la superficie de esta categoría de tierra, no ha sido posible estimar las emisiones asociadas debido principalmente a la falta de información sobre superficies sujetas a extracción de turba o de superficies anegadas para la estratificación de suelos orgánicos y minerales.

Por este motivo, el RAGEI 2019 no incluye las emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O de esta subcategoría.

6.5. Asentamientos (3B5)

Esta subcategoría comprende la estimación de las emisiones y remociones de GEI debido a cambios en la biomasa, en la materia orgánica muerta y en el carbono orgánico del suelo en los asentamientos que permanecen como asentamiento y las tierras convertidas en asentamientos.

Para el presente RAGEI, los asentamientos, así como las tierras en otros usos, se estratifican en seis ecozonas.

6.5.1. Asentamientos que permanecen como asentamientos (3B5a)

Las emisiones de GEI en los asentamientos que permanecen como asentamientos comprenden la estimación de los cambios producidos en las existencias de carbono en la biomasa aérea, biomasa subterránea, madera muerta, hojarasca y materia orgánica del suelo.

En el método de cálculo Nivel 1, se asumió que no hay cambios en las existencias de carbono de la biomasa, materia orgánica muerta y carbono orgánico del suelo, debido a que estos reservorios están en equilibrio, por lo que no se reportan emisiones en esta subcategoría.

6.5.1.1. Método de cálculo

A. Biomasa

En el Nivel 1 se supone que no hay cambios en las existencias de carbono de la biomasa en asentamientos que permanecen como asentamientos; es decir, que está en equilibrio.

B. Materia orgánica muerta

En el Nivel 1, se supone que la materia muerta y los depósitos de hojarasca están en equilibrio y, por ende, no es necesario estimar los cambios en las existencias de carbono para este depósito.

C. Carbono del suelo

Suelos minerales

En el método del Nivel 1, se supone que las entradas son equivalentes a las salidas, por lo que las existencias de carbono en el suelo de los asentamientos no cambian.

Suelos orgánicos

No se dispone de información nacional sobre área de suelos orgánicos drenados, por lo que el RAGEI 2019 no incluye las emisiones por este reservorio.

6.5.2. Tierras convertidas en asentamientos (3B5b)

Las emisiones de GEI en las tierras convertidas en asentamientos comprenden la estimación de los cambios producidos en las existencias de carbono en la biomasa aérea, biomasa subterránea, madera muerta, hojarasca y materia orgánica del suelo.

6.5.2.1. Método de cálculo

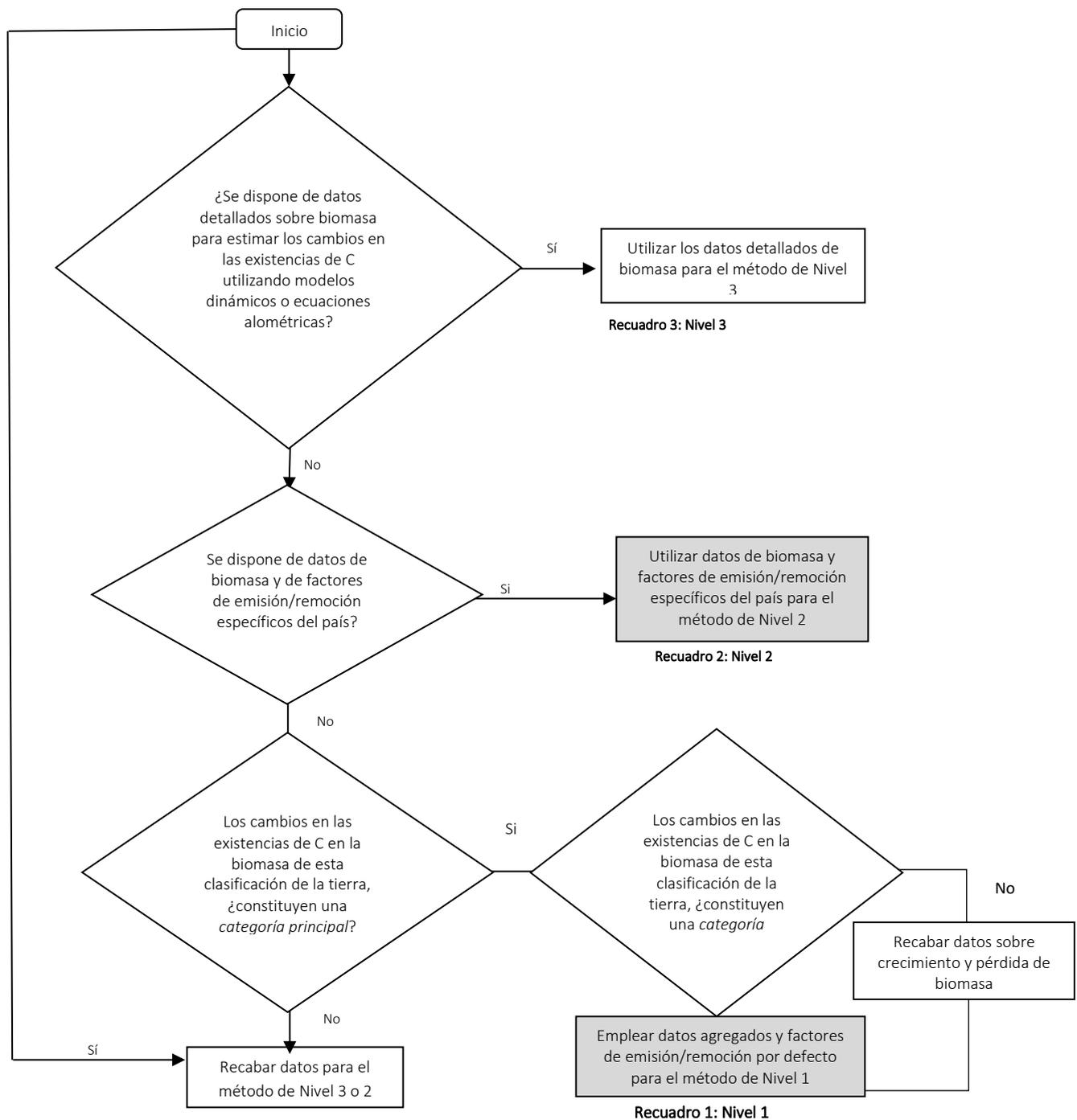
A. Biomasa

Según las Directrices del IPCC de 2006, la metodología de cálculo establece tres niveles de cálculo para estimar los cambios en las existencias de carbono en biomasa, cuyas características se describen a continuación:

- Nivel 1: Estima las emisiones empleando datos agregados y factores de emisión y/o remoción por defecto.
- Nivel 2: Estima las emisiones utilizando datos de biomasa y factores de emisión y/o remoción específicos del país.
- Nivel 3: Estima las emisiones utilizando datos detallados de biomasa.

La Figura 46 presenta el árbol de decisiones de las Directrices del IPCC de 2006 que facilita la elección del nivel de cálculo apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en biomasa en una categoría de uso de la tierra.

Figura 46. Árbol de decisiones genérico para la identificación del nivel apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en biomasa en tierras convertidas en asentamientos.



Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, capítulo 2, página 2.15

Para el análisis del árbol de decisiones se considera lo siguiente:

- Es una categoría principal.
- Se cuenta con datos de contenido de biomasa de tierras forestales específicos del país.
- No se cuenta con factores de emisión nacionales para los usos de la tierra diferentes de las tierras forestales.

Por lo anterior, las estimaciones de las emisiones cambios en las existencias de carbono en biomasa en tierras convertidas en asentamientos, se realizan aplicando una combinación del Nivel 1 y Nivel 2, dependiendo de la disponibilidad de información nacional.

La estimación del cambio en las existencias de carbono en la biomasa se realiza aplicando la Ecuación 2.15 de las Directrices del IPCC de 2006.

Ecuación 2.15. Cambio anual en las existencias de carbono en biomasa en tierras convertidas en otra categoría de uso de la tierra

$$\Delta C_B = \Delta C_G + \Delta C_{CONVERSIÓN} + \Delta C_L$$

Donde:

- ΔC_B = cambio anual en las existencias de carbono de la biomasa en tierras convertidas en otra categoría de uso de la tierra, t C año⁻¹
- ΔC_G = incremento anual en las existencias de carbono de la biomasa debido a crecimiento en tierras convertidas en otra categoría de uso de la tierra, t C año⁻¹
- $\Delta C_{CONVERSIÓN}$ = cambio inicial en las existencias de carbono de la biomasa en tierras convertidas en otra categoría de uso de la tierra
- ΔC_L = reducción anual en las existencias de carbono de la biomasa debida a pérdidas producidas por cosechas, recogida de madera combustible y perturbaciones en tierras convertidas en otra categoría de uso de la tierra, t C año⁻¹

Fuente: Directrices del IPCC de 2006, volumen 4, capítulo 2, ecuación 2.15, página 2.22

La ecuación 2.16 de las Directrices del IPCC de 2006 es utilizada para estimar el incremento anual de las existencias de carbono en la biomasa.

Ecuación 2.16. Incremento anual de las existencias de carbono en biomasa en tierras que permanecen en la misma categoría de uso de la tierra

$$\Delta C_{CONVERSIÓN} = \sum_i \{ (B_{DESPUES_i} - B_{ANTES_i}) \times \Delta A_{A_OTRAS} \} \times CF$$

Donde:

- $\Delta C_{CONVERSIÓN}$ = cambio inicial en las existencias de carbono de la biomasa en tierras convertidas en otra categoría de tierra, t C año⁻¹
- $B_{DESPUES}$ = existencias de biomasa en el tipo de tierra *i* después de la conversión, t m.s. ha⁻¹
- B_{ANTES} = existencias de biomasa en el tipo de tierra *i* antes de la conversión, t m.s. ha⁻¹
- ΔA_{A_OTRAS} = superficie de uso de la tierra *i* convertida a otra categoría de uso de la tierra en un año dado, ha año⁻¹
- CF = fracción de carbono de materia seca, t C (t m.s.)⁻¹

Fuente: Directrices del IPCC de 2006, volumen 4, capítulo 2, ecuación 2.16, página 2.22

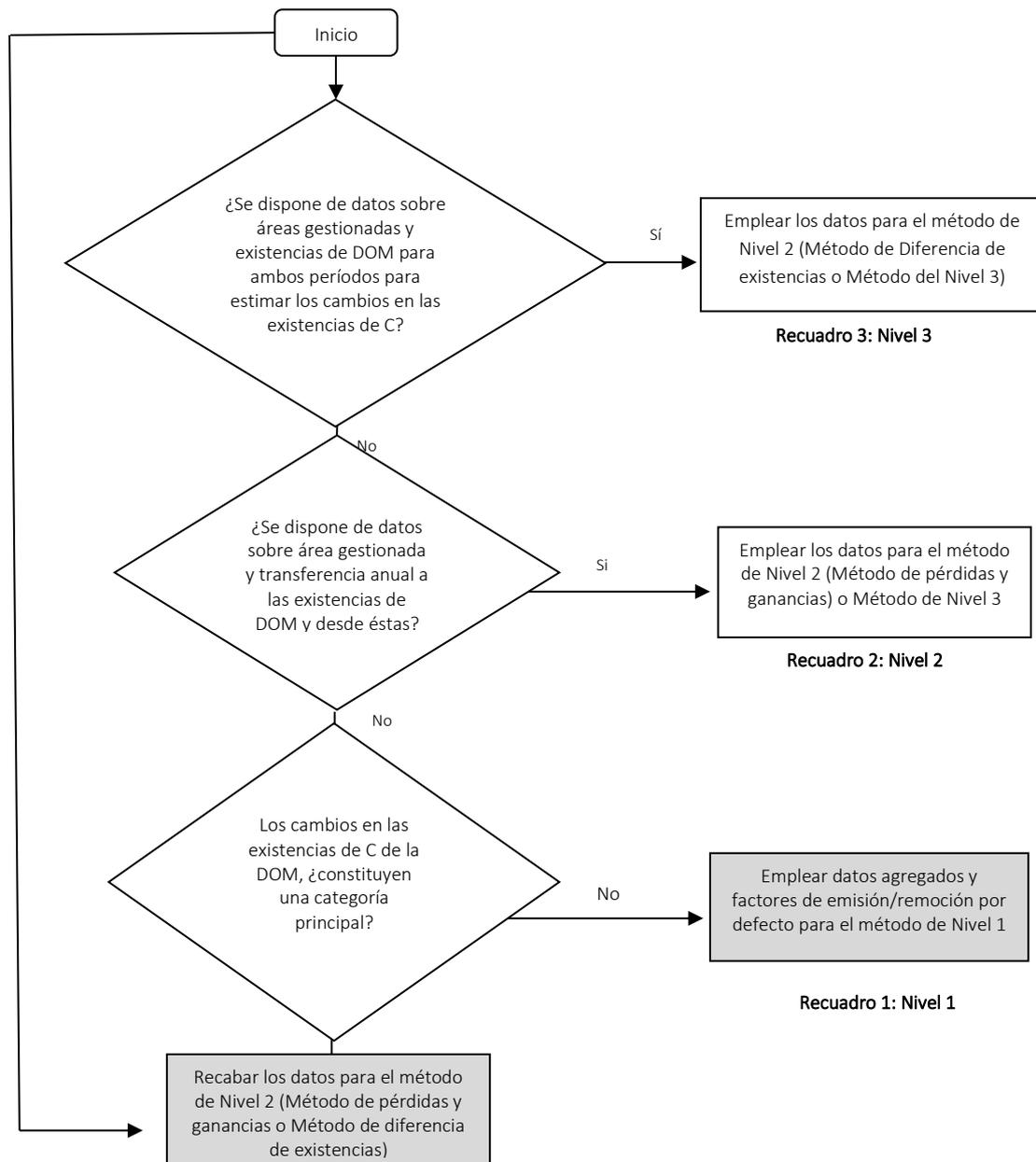
B. Materia orgánica muerta

Según las Directrices del IPCC de 2006, la metodología de cálculo establece tres niveles de cálculo para estimar los cambios en las existencias de carbono en la materia orgánica muerta, cuyas características se describen a continuación:

- Nivel 1: Estima las emisiones empleando datos agregados y factores de emisión y/o remoción por defecto.
- Nivel 2: Estima las emisiones utilizando datos sobre transferencia anual y factores de emisión y/o remoción específicos del país.
- Nivel 3: Estima las emisiones utilizando datos detallados de existencias de MOM.

La Figura 47 presenta el árbol de decisiones de las Directrices del IPCC de 2006 que facilita la elección del nivel de cálculo apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en materia orgánica muerta en una categoría de uso de la tierra.

Figura 47. Árbol de decisiones genérico para la identificación del nivel apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en materia orgánica muerta en tierras convertidas en tierras asentamientos.



Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, capítulo 2, página 2.25

Para el análisis del árbol de decisiones se considera lo siguiente:

- No se cuenta con datos de transferencia anual de las existencias de carbono en la materia orgánica muerta.

Por lo anterior, las estimaciones de las emisiones cambios en las existencias de carbono en biomasa en tierras convertidas en asentamientos, se realizan aplicando un Nivel 1.

La ecuación 2.23 de las Directrices del IPCC de 2006 resume el cálculo para estimar los cambios anuales de las existencias de carbono en depósitos de materia orgánica muerta.

Ecuación 2.23. Cambio anual en las existencias de carbono en madera muerta y hojarasca debido a la conversión en el uso de la tierra

$$\Delta C_{DOM} = \frac{(C_o - C_n) \times A_{on}}{T_{on}}$$

Donde:

- ΔC_{DOM} = cambio en las existencias anuales de carbono en madera muerta u hojarasca, t C año⁻¹
- C_o = cambio en las existencias de carbono de la madera muerta, t C año⁻¹
- C_n = cambio en las existencias de carbono de la hojarasca, t C año⁻¹
- A_{on} = superficie sometida a la conversión de la vieja a la nueva categoría de uso de la tierra, ha
- T_{on} = lapso en el que se produce la transición de la vieja a la nueva categoría de uso de la tierra, año. El valor por defecto del Nivel 1 es de 20 años para los incrementos de existencias de carbono y de 1 año para las pérdidas de carbono.

Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, capítulo 2, ecuación 2.23, página 2.29

C. Carbono del suelo

Suelos minerales

No se estimaron las emisiones de este reservorio, debido a que no se identificaron factores de cambio de existencias por defecto (F_{LU} , F_{MG} , F_i) apropiados para las circunstancias nacionales.

Suelos orgánicos

No se dispone de información nacional sobre área de suelos orgánicos drenados, por lo que el RAGEI 2019 no incluye las emisiones por este reservorio.

6.5.2.2. Datos de actividad

Los datos de actividad de esta subcategoría han sido obtenidos a partir de dos insumos: las superficies de permanencias y cambios por categoría de uso de tierra para cuatro ecozonas amazónicas, para el periodo 2008-2019; y las matrices de uso y cambio de uso determinada entre dos años de inventarios consecutivos para costa y sierra, para los periodos para los periodos 2005–2010, 2010-2012, 2012-2014, 2014-2016, 2016-2019.

La Tabla 43 presenta un resumen de los datos de actividad requeridos y las fuentes de información de donde fueron obtenidos, por cada reservorio estimado en la subcategoría. Asimismo, se indican los reservorios que no fueron estimados en el presente reporte y el motivo de su no inclusión.

Tabla 43. Descripción de los datos de actividad para el cálculo de las emisiones en tierras convertidas en asentamientos

| Reservorios | Nivel de actividad IPCC | Detalle de Variaciones a Estimar | Datos de actividad IPCC | Dato Nacional | Fuente de información | Comentarios |
|-------------------------|---|--|--|---|--|---|
| Biomasa | Cambios de las existencias de carbono de los suelos en la biomasa | Cambio anual en las existencias de carbono en biomasa | Superficie bajo conversión hacia una nueva categoría de uso de suelo | Superficie anual de tierras convertidas en asentamientos (ha) | Ministerio del Ambiente (2022). Nivel de referencia de emisiones forestales por deforestación bruta del Perú en el bioma amazónico. | Superficies anuales de permanencia y conversión del uso de la tierra, para cuatro ecozonas amazónica, para todas las categorías de uso de la tierra en el año de reporte |
| | | | | | Ministerio del Ambiente (2022). Informe de consultoría: “Análisis espacial con teledetección y elaboración de matrices de uso y cambio de uso de suelo para los biomas de Costa y Sierra”. Documento interno | La información base para la construcción de las matrices de uso y cambio de uso de la tierra en los biomas de Costa y Sierra fue la información satelital descargada de la <i>European Space Agency</i> para los periodos 1994-2000, 2000-2005, 2005-2010, 2010-2012, 2012-2014, 2014 2016 y 2016-2019. |
| Materia orgánica muerta | Cambios de las existencias de carbono en materia orgánica muerta | Cambio anual en las existencias de carbono de la materia orgánica muerta (incluye madera muerta y hojarasca) | Superficie bajo conversión hacia una nueva categoría de uso de suelo | Superficie anual de tierras convertidas en asentamientos (ha) | Ministerio del Ambiente (2022). Nivel de referencia de emisiones forestales por deforestación bruta del Perú en el bioma amazónico. | Superficies anuales de permanencia y conversión del uso de la tierra, para cuatro ecozonas amazónica, para todas las categorías de uso de la tierra en el año de reporte |
| | | | | | Ministerio del Ambiente (2022). Informe de consultoría: “Análisis espacial con teledetección y elaboración de matrices de uso y cambio de uso de suelo para los biomas de Costa y Sierra”. Documento interno | La información base para la construcción de las matrices de uso y cambio de uso de la tierra en los biomas de Costa y Sierra fue la información satelital descargada de la <i>European Space Agency</i> para los periodos 1994-2000, 2000-2005, 2005-2010, 2010-2012, 2012-2014, 2014 2016 y 2016-2019. |

| Reservorios | Nivel de actividad IPCC | Detalle de Variaciones a Estimar | Datos de actividad IPCC | Dato Nacional | Fuente de información | Comentarios |
|----------------------------|---|---|---|---------------|-----------------------|-------------|
| Carbono orgánico del suelo | Cambios de las existencias de carbono de los suelos | Cambio anual en las existencias de carbono orgánico de los suelos minerales | No se estimaron las emisiones de este reservorio, debido a que no se identificaron factores de cambio de existencias por defecto (F_{LU} , FM_G , F_i) apropiados para las circunstancias nacionales. | | | |
| | | Pérdida anual de carbono de suelos orgánicos drenados | No se dispone de información nacional sobre área de suelos forestales orgánicos drenados | | | |

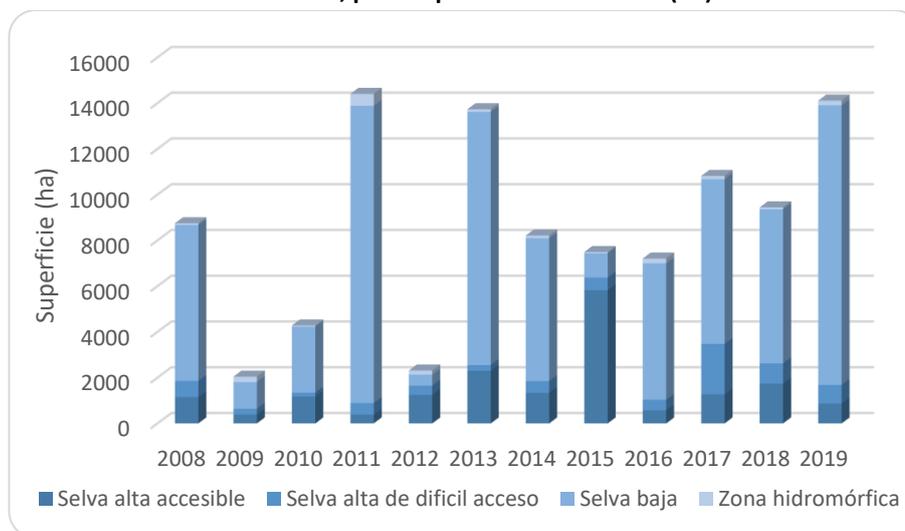
Fuente: Elaboración propia

Los principales datos de actividad provienen de la matriz de uso y cambio de uso de la tierra para cada ecozona.

A. Superficie anual de tierras convertidas en asentamientos

En la Figura 48 se presenta la superficie anual de tierras que se convierten en asentamientos en el periodo 2008 – 2019. Se observa que la ecozona selva baja presenta la mayor superficie de tierras convertidas en asentamientos a lo largo de los años. Asimismo, de manera general, la tendencia de la superficie convertida en asentamientos humanos o infraestructuras en la Amazonía es variable, con picos en los años 2011, 2013 y 2019.

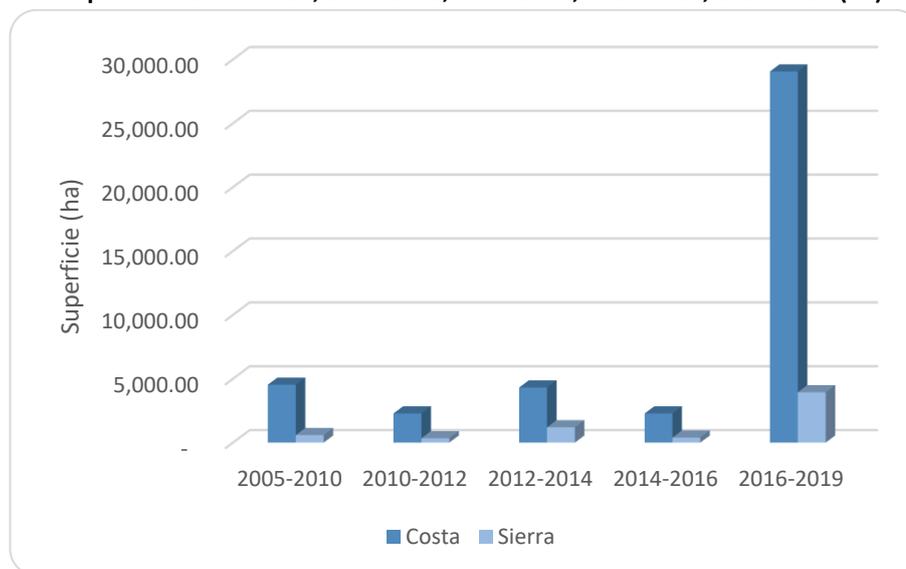
Figura 48. Superficie de anual de tierras convertidas en asentamientos en cuatro ecozonas amazónicas, para el periodo 2008 – 2019 (ha).



Fuente: Elaboración propia

La Figura 49 presenta la superficie de tierras convertidas en asentamientos, en las ecozonas costa y sierra, para los periodos 2005–2010, 2010-2012, 2012-2014, 2014-2016, 2016-2019. En el caso de la costa y sierra, se observa que el pico con la mayor superficie de conversiones hacia asentamientos ocurrió durante el periodo 2016-2019.

Figura 49. Superficie de anual de tierras que se convierten en asentamientos en costa y sierra, para los periodos 2005–2010, 2010-2012, 2012-2014, 2014-2016, 2016-2019 (ha)



Fuente: Elaboración propia

6.5.2.3. Factores de emisión y conversión

A. Factores de emisión

Las Directrices del IPCC de 2006 brindan factores de emisión por defecto para todos los parámetros evaluados.

La Tabla 44 brinda el detalle de los factores de emisión utilizados para los cálculos de variación de carbono en el reservorio biomasa.

Tabla 44 Factores de emisión empleados para estimar emisiones de GEI en el reservorio biomasa

| Factores | Valor | Unidad | Fuente de información |
|---|--------|-----------|---|
| Contenido de biomasa aérea de tierras forestales – Selva alta accesible | 183.68 | t m.s./ha | Ministerio del Ambiente (2022). Nivel de referencia de emisiones forestales por deforestación bruta del Perú en el bioma amazónico. |
| Contenido de biomasa aérea de tierras forestales – Selva alta de difícil acceso | 188.74 | t m.s./ha | |
| Contenido de biomasa aérea de tierras forestales – Selva baja | 247.82 | t m.s./ha | |
| Contenido de biomasa aérea de tierras forestales – Zona hidromórfica | 167.46 | t m.s./ha | |
| Contenido de biomasa subterránea de tierras forestales – Selva alta accesible | 88.64 | t m.s./ha | |
| Contenido de biomasa subterránea de tierras forestales – Selva alta de difícil acceso | 89.94 | t m.s./ha | |
| Contenido de biomasa subterránea de tierras forestales – Selva baja | 113.41 | t m.s./ha | |
| Contenido de biomasa subterránea de tierras forestales – Zona hidromórfica | 73.26 | t m.s./ha | |

| Factores | Valor | Unidad | Fuente de información |
|---|-------|------------|---|
| Contenido de biomasa aérea de tierras forestales en tierras forestales – Costa | 6.61 | t m.s./ha | SERFOR 2020. Informe del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. Ecozona Costa. Panel 1 y 2. |
| Contenido de biomasa aérea de tierras forestales – Sierra | 6.11 | t m.s./ha | SERFOR 2019. Informe del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. Panel 1. |
| Reservas de carbono en la biomasa de cultivos anuales, clima tropical | 10.00 | t m.s./ha | Directrices del IPCC de 2006, volumen 4, capítulo 5, cuadro 5.1 |
| Reservas de carbono en la biomasa de pastizales, clima tropical húmedo y muy húmedo | 16.10 | t m.s./ha | Directrices del IPCC de 2006, volumen 4, capítulo 6, cuadro 6.4 |
| Reservas de carbono en la biomasa de pastizales, clima tropical seco | 8.70 | t m.s./ha | |
| Fracción de carbono de la biomasa forestal aérea (t C/t m.s.) | 0.47 | t C/t m.s. | Directrices del IPCC de 2006, volumen 4, capítulo 4, cuadro 4.3 |

Fuente: Varias fuentes

La Tabla 45 brinda el detalle de los factores de emisión utilizados para los cálculos de variación de carbono en el reservorio materia orgánica muerta.

Tabla 45. Factores de emisión empleados para estimar emisiones de GEI en el reservorio materia orgánica muerta

| Factores | Valor | Unidad | Fuente de información |
|---|-------|--------|---|
| Existencias de materia orgánica muerta (hojarasca y madera muerta) – Selva alta accesible | 9.22 | t C/ha | Ministerio del Ambiente (2022). Nivel de referencia de emisiones forestales por deforestación bruta del Perú en el bioma amazónico. |
| Existencias de materia orgánica muerta (hojarasca y madera muerta) – Selva alta de difícil acceso | 14.54 | t C/ha | |
| Existencias de materia orgánica muerta (hojarasca y madera muerta) – Selva baja | 15.93 | t C/ha | |
| Existencias de materia orgánica muerta (hojarasca y madera muerta) – Zona hidromórfica | 8.11 | t C/ha | |
| Existencias de materia orgánica muerta (hojarasca y madera muerta) – Costa | 0.67 | t C/ha | SERFOR 2020. Informe del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. Ecozona Costa. Panel 1 y 2. |
| Existencias de materia orgánica muerta (hojarasca y madera muerta) – Sierra | 0.49 | t C/ha | SERFOR 2019. Informe del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. Panel 1. |

Fuente: Varias fuentes

6.5.2.4. Análisis de incertidumbres

Para el caso de la incertidumbre de los datos de actividad, para las ecozonas amazónicas el método de muestreo sistemático permitió la determinación del valor de incertidumbre asociado. Para la incertidumbre de los factores de emisión, se cuentan con la incertidumbre asociada a los factores de emisión de bosques amazónicos. En el caso de los demás usos de tierra, se utilizaron los valores por defecto de las Directrices del IPCC del 2006.

Los valores de incertidumbre combinada para la subcategoría tierras convertidas en asentamientos son presentados en la Tabla 46.

Tabla 46. Incertidumbre de las emisiones de CO₂ en tierras que se convierten en asentamientos

| Código | Fuente | Gas | Estimaciones de GEI año t | Incertidumbre en los datos de nivel de actividad | Incertidumbre en el factor de emisión | Incertidumbre combinada |
|--------|--------------------------------------|-----------------|--|--|---------------------------------------|-------------------------|
| | | | Datos de entrada GgCO ₂ eq | Datos de entrada % | Datos de entrada % | $\sqrt{(E^2+F^2)}$ % |
| 3B5b | Tierras convertidas en asentamientos | CO ₂ | 7,078.75 | 61.37% | 2.71% | 61.45% |

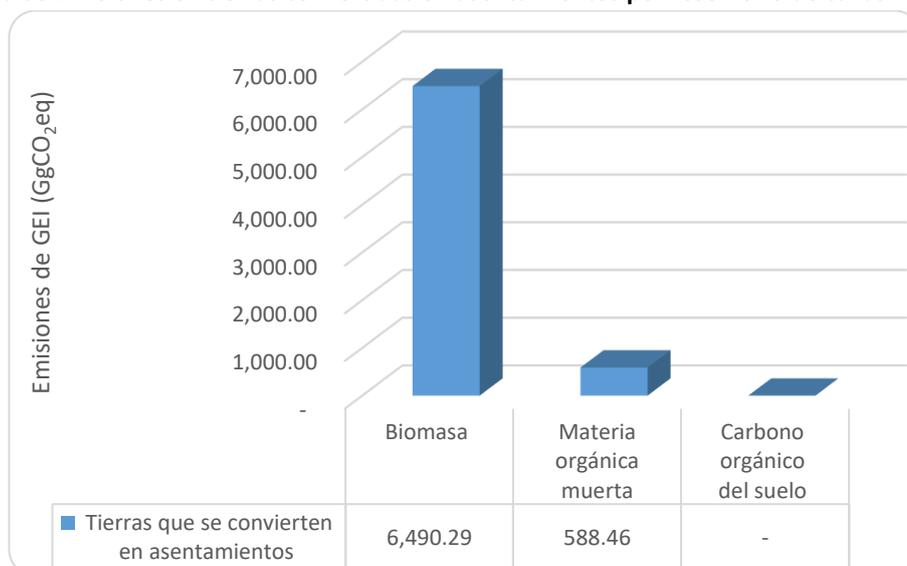
Fuente: Elaboración propia

6.5.2.5. Análisis de resultados

En el año 2019, las emisiones de la subcategoría tierras que se convierten en asentamientos fueron 7,078.75 GgCO₂eq, que en términos absolutos representa el 6.76% de las emisiones del sector.

La Figura 50 presenta cómo se encuentran distribuidas las emisiones y remociones del año 2019 entre los reservorios de carbono, donde el 91.69% de las emisiones (6,490.29 GgCO₂eq) corresponden a los cambios en las existencias de carbono en la biomasa (biomasa aérea y subterránea), mientras que la materia orgánica muerta representa el 8.31% restante (588.46 GgCO₂eq). No se estimaron emisiones del depósito carbono orgánico del suelo.

Figura 50 Emisiones en tierras convertidas en asentamientos por reservorio de carbono, 2019

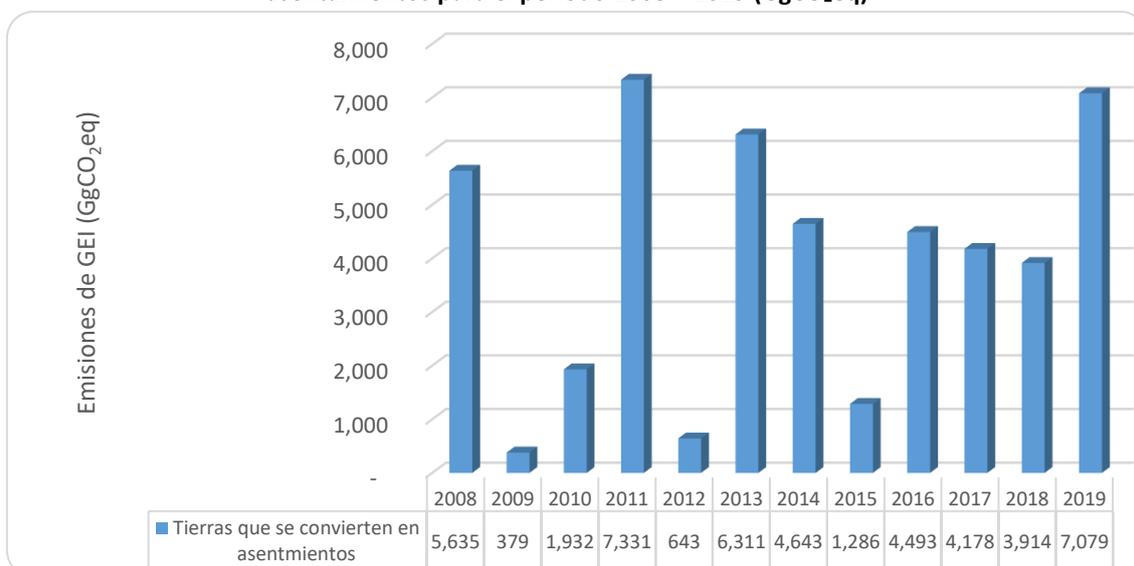


Fuente: Elaboración propia.

6.5.2.6. Actualización de serie temporal

Respecto a la tendencia de las emisiones, en la Figura 51 se aprecia que las emisiones del año 2019 aumentaron en 3,165.23 GgCO₂eq respecto al año 2018, lo que representa un incremento de un 80.88%; y en 1,433.70 GgCO₂eq respecto al 2008, lo que representa un incremento de 25.62%.

Figura 51. Tendencia de emisiones de GEI para la subcategoría tierras que se convierten en asentamientos para el período 2008 – 2019 (GgCO₂eq)



Fuente: Elaboración propia

6.6. Otras tierras (3B6)

La categoría otras tierras abarca las superficies de suelos desprovistos de vegetación, las rocas, el hielo, etc., y todo tipo de áreas de tierra no incluidas en ninguna de las demás categorías de uso de la tierra. Su inclusión responde a la necesidad de contabilizar la totalidad la superficie del país en que se dispone de datos.

Esta subcategoría comprende la estimación de las emisiones y remociones de GEI debido a cambios en la biomasa, materia orgánica muerta y carbono orgánico del suelo en las tierras convertidas en otras tierras.

Para el presente RAGEI, las otras tierras, así como las tierras en otros usos, se estratifican en seis ecozonas: Selva alta accesible, selva alta de difícil acceso, selva baja, zona hidromórfica, costa y sierra.

6.6.1. Otras tierras que permanecen como otras tierras (3B6a)

De acuerdo a las Directrices del IPCC del 2006, la subcategoría otras tierras, a menudo, no corresponde a tierras que están gestionadas, por lo cual, no se estiman los cambios en las existencias de carbono. Sin embargo, todas las superficies de otras tierras que permanecen como otras tierras han sido incluidas en las matrices de cambios en el uso de la tierra, como forma de verificación de la superficie total nacional.

Por lo anterior, no se reportan emisiones de esta subcategoría.

6.6.2. Tierras convertidas en otras tierras (3B6b)

Las emisiones de GEI en las tierras convertidas en otras tierras comprenden la estimación de los cambios producidos en las existencias de carbono en la biomasa aérea, biomasa subterránea, madera muerta, hojarasca y materia orgánica del suelo.

6.6.2.1. Método de cálculo

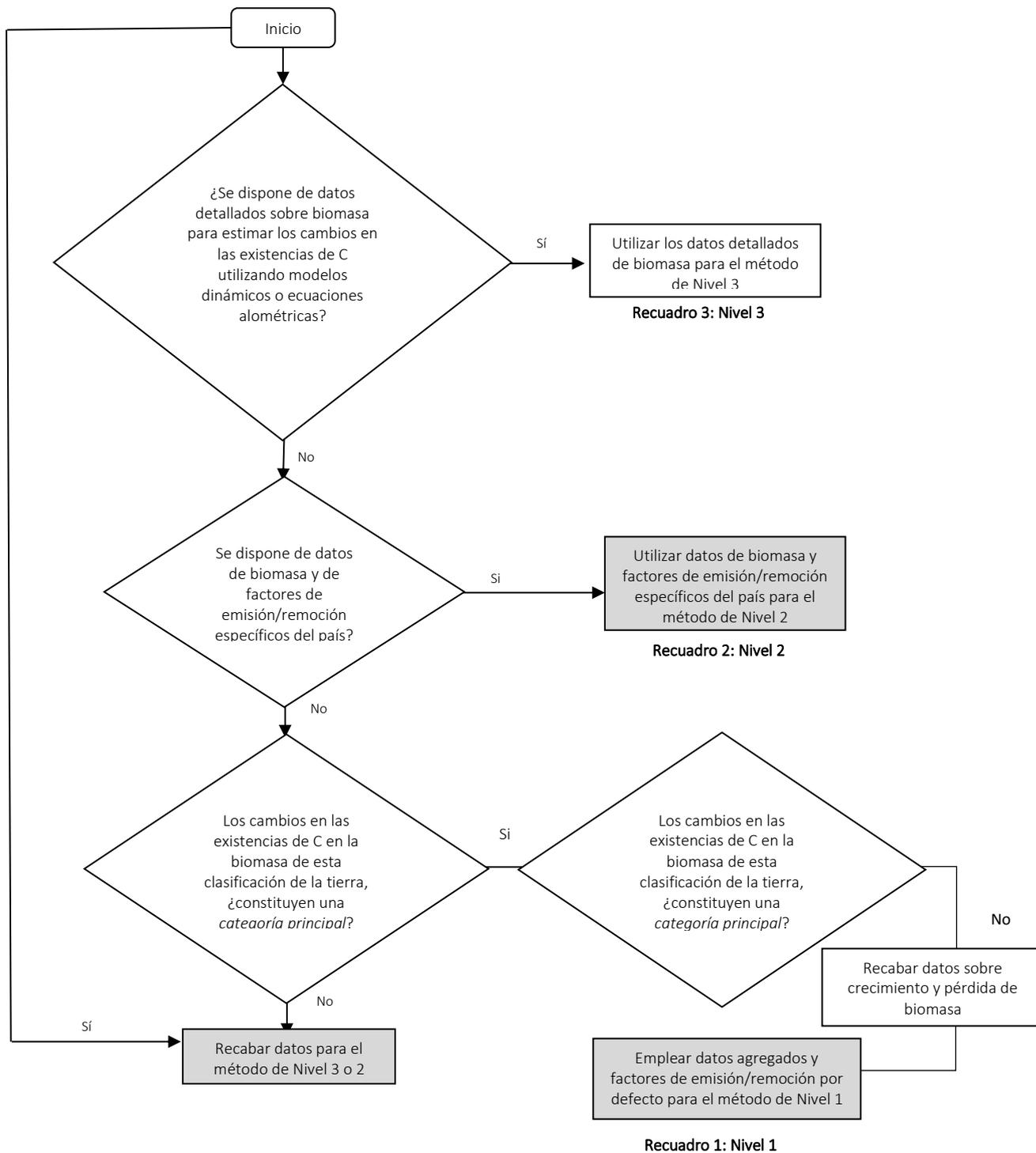
A. Biomasa

Según las Directrices del IPCC de 2006, la metodología de cálculo establece tres niveles de cálculo para estimar los cambios en las existencias de carbono en biomasa, cuyas características se describen a continuación:

- Nivel 1: Estima las emisiones empleando datos agregados y factores de emisión/remoción por defecto.
- Nivel 2: Estima las emisiones utilizando datos de biomasa y factores de emisión/remoción específicos del país.
- Nivel 3: Estima las emisiones utilizando datos detallados de biomasa.

La Figura 52 presenta el árbol de decisiones de las Directrices del IPCC de 2006 que facilita la elección del nivel de cálculo apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en biomasa en una categoría de uso de la tierra.

Figura 52. Árbol de decisiones genérico para la identificación del nivel apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en biomasa en tierras convertidas en otras tierras.



Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, capítulo 2, página 2.15

Para el análisis del árbol de decisiones se considera lo siguiente:

- No es una categoría principal

- Se cuenta con datos de contenido de biomasa de tierras forestales específicos del país.
- No se cuenta con factores de emisión nacionales para los usos de la tierra diferentes de las tierras forestales.

Por lo anterior, las estimaciones de las emisiones cambios en las existencias de carbono en biomasa en tierras convertidas en otras tierras, se realizan aplicando una combinación de metodología Nivel 1 y Nivel 2, dependiendo de la disponibilidad de información nacional.

La Ecuación 2.15 de las Directrices del IPCC de 2006 detalla la estimación del cambio en las existencias de carbono en la biomasa.

Ecuación 2.15. Cambio anual en las existencias de carbono en biomasa en tierras convertidas en otra categoría de uso de la tierra

$$\Delta C_B = \Delta C_G + \Delta C_{CONVERSIÓN} + \Delta C_L$$

Donde:

- ΔC_B = cambio anual en las existencias de carbono de la biomasa en tierras convertidas en otra categoría de uso de la tierra, t C año⁻¹
- ΔC_G = incremento anual en las existencias de carbono de la biomasa debido a crecimiento en tierras convertidas en otra categoría de uso de la tierra, t C año⁻¹
- $\Delta C_{CONVERSIÓN}$ = cambio inicial en las existencias de carbono de la biomasa en tierras convertidas en otra categoría de uso de la tierra
- ΔC_L = reducción anual en las existencias de carbono de la biomasa debida a pérdidas producidas por cosechas, recogida de madera combustible y perturbaciones en tierras convertidas en otra categoría de uso de la tierra, t C año⁻¹

Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, ecuación 2.15, página 2.22

La ecuación 2.16 de las Directrices del IPCC de 2006 es utilizada para estimar el incremento anual de las existencias de carbono en la biomasa.

Ecuación 2.16. Incremento anual de las existencias de carbono en biomasa en tierras que permanecen en la misma categoría de uso de la tierra

$$\Delta C_{CONVERSIÓN} = \sum_i \{ (B_{DESPUES_i} - B_{ANTES_i}) \times \Delta A_{A_OTRAS} \} \times CF$$

Donde:

- $\Delta C_{CONVERSIÓN}$ = cambio inicial en las existencias de carbono de la biomasa en tierras convertidas en otra categoría de tierra, t C año⁻¹
- $B_{DESPUES}$ = existencias de biomasa en el tipo de tierra *i* después de la conversión, t m.s. ha⁻¹
- B_{ANTES} = existencias de biomasa en el tipo de tierra *i* antes de la conversión, t m.s. ha⁻¹
- ΔA_{A_OTRAS} = superficie de uso de la tierra *i* convertida a otra categoría de uso de la tierra en un año dado, ha año⁻¹
- CF = fracción de carbono de materia seca, t C (t m.s.)⁻¹

Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, ecuación 2.16, página 2.22

B. Materia orgánica muerta

Según las Directrices del IPCC de 2006, con el Nivel 1, no se estima la MOM de las distintas categorías de uso de la tierra y, por ende, no hay que estimar emisiones ni remociones por parte de sumideros relacionados con la MOM con conversiones en Otras tierras.

C. Carbono del suelo

Suelos minerales

No se estimaron las emisiones de este reservorio, debido a que no se identificaron factores de cambio de existencias por defecto (F_{LU} , F_{MG} , F_I) apropiados para las circunstancias nacionales.

Suelos orgánicos

No se dispone de información nacional sobre área de suelos forestales orgánicos drenados, por lo que el RAGEI 2019 no incluye las emisiones para este reservorio.

6.6.2.2. Datos de actividad

Los datos de actividad de esta subcategoría han sido obtenidos a partir de dos insumos: las superficies de permanencias y cambios por categoría de uso de tierra para cuatro ecozonas amazónicas, para el periodo 2008-2019; y las matrices de uso y cambio de uso determinada entre dos años de inventarios consecutivos para costa y sierra, para los periodos 2005–2010, 2010-2012, 2012-2014, 2014-2016, 2016-2019.

La Tabla 47 presenta un resumen de los datos de actividad requeridos para cada reservorio y las fuentes de información de donde fueron obtenidos. Asimismo, se indican los reservorios que no fueron estimados en el presente reporte y el motivo de su no inclusión.

Tabla 47. Descripción de los datos de actividad para el cálculo de las emisiones en tierras convertidas en otras tierras

| Reservorios | Nivel de actividad IPCC | Detalle de Variaciones a Estimar | Datos de actividad IPCC | Dato Nacional | Fuente de información | Comentarios |
|-------------------------|---|--|--|---|--|---|
| Biomasa | Cambios de las existencias de carbono de los suelos en la biomasa | Cambio anual en las existencias de carbono en biomasa | Superficie bajo conversión hacia una nueva categoría de uso de suelo | Superficie anual de tierras convertidas en otras tierras (ha) | Ministerio del Ambiente (2022). Nivel de referencia de emisiones forestales por deforestación bruta del Perú en el bioma amazónico. | Superficies anuales de permanencia y conversión del uso de la tierra, para cuatro ecozonas amazónica, para todas las categorías de uso de la tierra en el año de reporte |
| | | | | | Ministerio del Ambiente (2022). Informe de consultoría: “Análisis espacial con teledetección y elaboración de matrices de uso y cambio de uso de suelo para los biomas de Costa y Sierra”. Documento interno | La información base para la construcción de las matrices de uso y cambio de uso de la tierra en los biomas de Costa y Sierra fue la información satelital descargada de la <i>European Space Agency</i> para los periodos 1994-2000, 2000-2005, 2005-2010, 2010-2012, 2012-2014, 2014 2016 y 2016-2019. |
| Materia orgánica muerta | Cambios de las existencias de carbono en materia orgánica muerta | Cambio anual en las existencias de carbono de la materia orgánica muerta (incluye madera muerta y hojarasca) | Superficie bajo conversión hacia una nueva categoría de uso de suelo | Superficie anual de tierras convertidas en otras tierras (ha) | Ministerio del Ambiente (2022). Nivel de referencia de emisiones forestales por deforestación bruta del Perú en el bioma amazónico. | Superficies anuales de permanencia y conversión del uso de la tierra, para cuatro ecozonas amazónica, para todas las categorías de uso de la tierra en el año de reporte |
| | | | | | Ministerio del Ambiente (2022). Informe de consultoría: “Análisis espacial con teledetección y elaboración de matrices de uso y cambio de uso de suelo para los biomas de Costa y Sierra”. Documento interno | La información base para la construcción de las matrices de uso y cambio de uso de la tierra en los biomas de Costa y Sierra fue la información satelital descargada de la <i>European Space Agency</i> para los periodos 1994-2000, 2000-2005, 2005-2010, 2010-2012, 2012-2014, 2014 2016 y 2016-2019. |

| Reservorios | Nivel de actividad IPCC | Detalle de Variaciones a Estimar | Datos de actividad IPCC | Dato Nacional | Fuente de información | Comentarios |
|----------------------------|---|---|---|---------------|-----------------------|-------------|
| Carbono orgánico del suelo | Cambios de las existencias de carbono de los suelos | Cambio anual en las existencias de carbono orgánico de los suelos minerales | No se estimaron las emisiones de este reservorio, debido a que no se identificaron factores de cambio de existencias por defecto (F_{LU} , F_{MG} , F_i) apropiados para las circunstancias nacionales. | | | |
| | | Pérdida anual de carbono de suelos orgánicos drenados | No se dispone de información nacional sobre área de suelos forestales orgánicos drenados | | | |

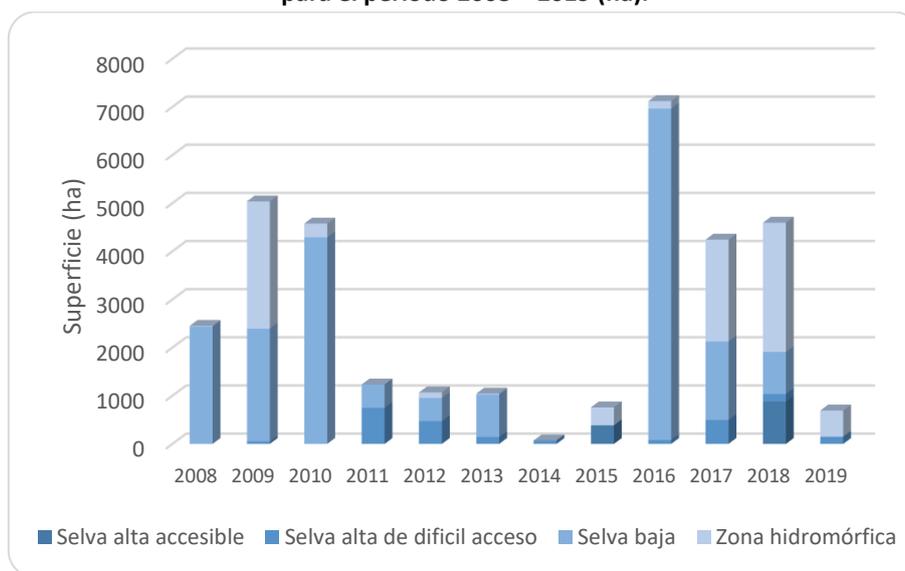
Fuente: Elaboración propia

Los principales datos de actividad provienen de la matriz de uso y cambio de uso de la tierra para cada ecozona.

A. Superficie anual de tierras convertidas en otras tierras

La Figura 53 presenta la superficie anual de tierras convertidas en otras tierras, en las cuatro ecozonas amazónicas, para el periodo 2008- 2019.

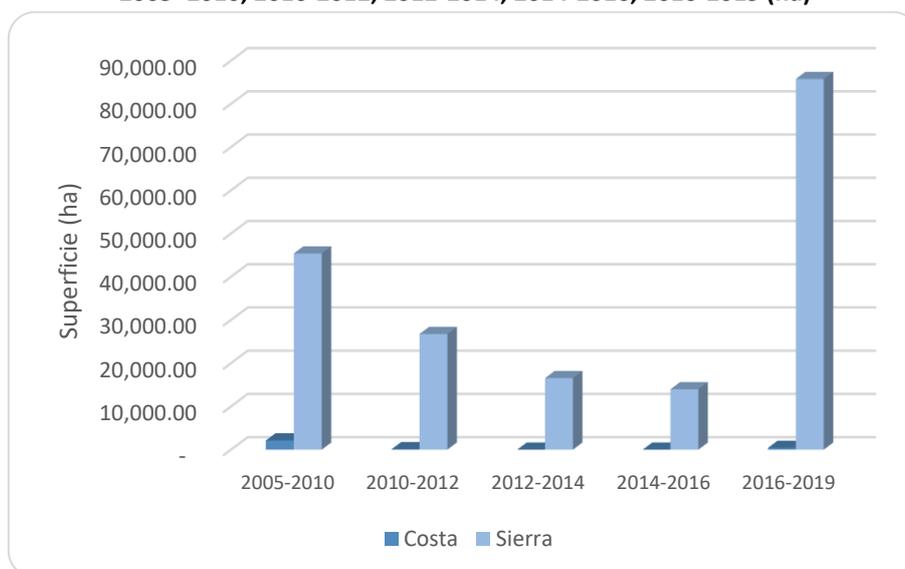
Figura 53. Superficie de anual de tierras convertidas en otras tierras en cuatro ecozonas amazónicas, para el periodo 2008 – 2019 (ha).



Fuente: Elaboración propia

Asimismo, la Figura 54 presenta la superficie de tierras convertidas en otras tierras, en las ecozonas costa y sierra, para los periodos 2005–2010, 2010-2012, 2012-2014, 2014-2016, 2016-2019.

Figura 54. Superficie de tierras que se convierten en otras tierras en costa y sierra, para los periodos 2005–2010, 2010-2012, 2012-2014, 2014-2016, 2016-2019 (ha)



Fuente: Elaboración propia

6.6.2.3. Factores de emisión y conversión

A. Factores de emisión

Las Directrices del IPCC de 2006 brindan factores de emisión por defecto para todos los parámetros evaluados. Se utilizan parámetros nacionales donde se encuentren disponibles. La Tabla 48 brinda el detalle de los factores de emisión utilizados para los cálculos de variación de carbono en la biomasa.

Tabla 48. Factores de emisión empleados para estimar emisiones de GEI en el reservorio biomasa

| Factores | Valor | Unidad | Fuente de información |
|---|-------|------------|---|
| Reservas de carbono en la biomasa de cultivos anuales, clima tropical | 10.00 | t m.s./ha | Directrices del IPCC de 2006, volumen 4, capítulo 5, cuadro 5.1 |
| Reservas de carbono en la biomasa de pastizales, clima tropical húmedo y muy húmedo | 16.10 | t m.s./ha | Directrices del IPCC de 2006, volumen 4, capítulo 6, cuadro 6.4 |
| Reservas de carbono en la biomasa de pastizales, clima tropical seco | 8.70 | t m.s./ha | |
| Fracción de carbono de la biomasa forestal aérea (t C/t m.s.) | 0.47 | t C/t m.s. | Directrices del IPCC de 2006, volumen 4, capítulo 4, cuadro 4.3 |

Fuente: Directrices del IPCC de 2006

6.6.2.4. Análisis de incertidumbres

Para el caso de la incertidumbre de los datos de actividad, para las ecozonas amazónicas el método de muestreo sistemático permitió la determinación del valor de incertidumbre asociado. Para la incertidumbre de los factores de emisión, se cuentan con la incertidumbre asociada a los factores de emisión de bosques. En el caso de los demás usos de tierra, se utilizaron los valores por defecto de las Directrices del IPCC del 2006.

Los valores de incertidumbre combinada para la subcategoría tierras que se convierten en otras tierras son presentados en la Tabla 49.

Tabla 49. Incertidumbre de las emisiones de CO₂ en tierras que se convierten en otras tierras

| Código | Fuente | Gas | Estimaciones de GEI año t | Incertidumbre en los datos de nivel de actividad | Incertidumbre en el factor de emisión | Incertidumbre combinada |
|--------|--|-----------------|---------------------------------------|--|---------------------------------------|-------------------------|
| | | | Datos de entrada GgCO ₂ eq | Datos de entrada % | Datos de entrada % | $\sqrt{(E^2+F^2)}$ % |
| 3B6b | Tierras que se convierten en otras tierras | CO ₂ | 428.31 | 50.52% | 74.08% | 89.67% |

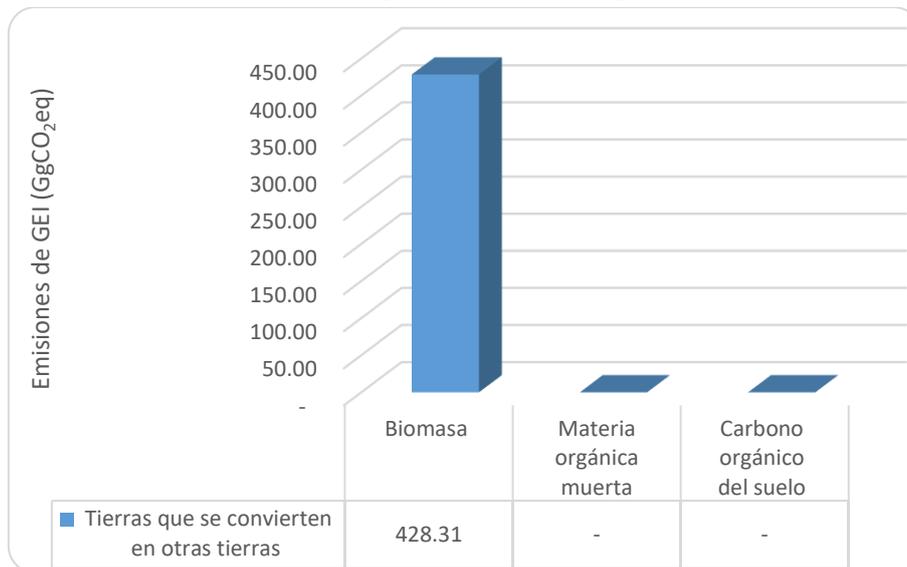
Fuente: Elaboración propia

6.6.2.5. Análisis de resultados

En el año 2019, las emisiones generadas en tierras que se convierten en otras tierras fueron 428.31 GgCO₂eq, que en términos absolutos representa el 0.41% de las emisiones del sector.

La Figura 55 presenta cómo se encuentran distribuidas las emisiones y remociones del año 2019 entre los reservorios de carbono, donde el 100.00% de las emisiones (428.31 GgCO₂eq) corresponden a los cambios en las existencias de carbono en la biomasa.

Figura 55. Distribución de las emisiones y remociones de CO₂ por reservorios de carbono, 2019.

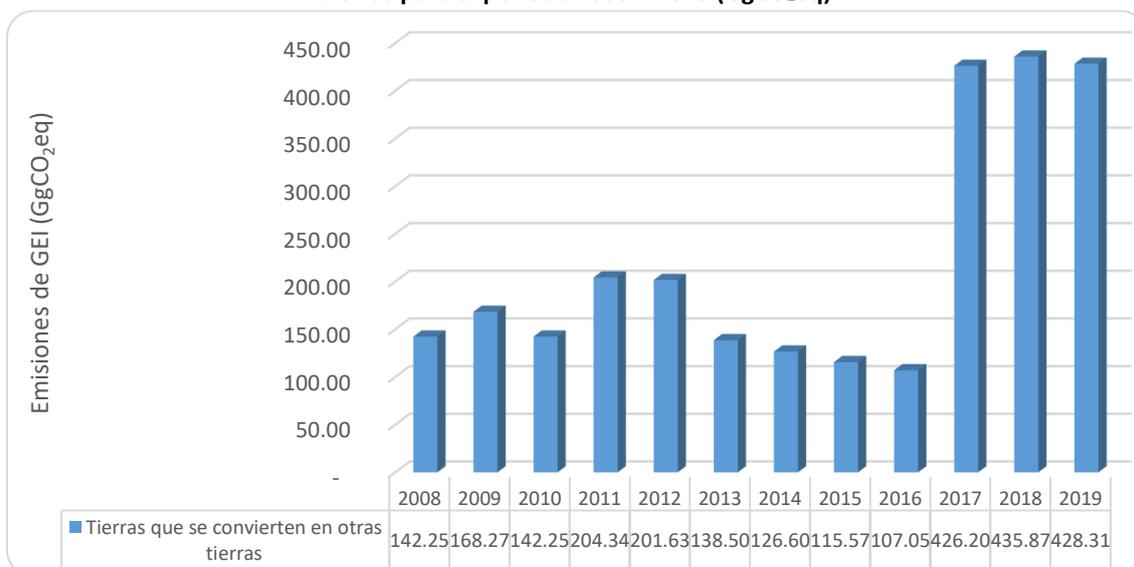


Fuente: Elaboración propia

6.6.2.6. Actualización de serie temporal

Respecto a la tendencia de las emisiones, se aprecia que las emisiones del año 2019 aumentaron en 7.56 GgCO₂eq respecto al año 2018, lo que representa una reducción porcentual de 1.74%. Por otro lado, respecto al 2008, las emisiones se incrementaron en 286.06 GgCO₂eq lo que representa un incremento de 201.10%. Asimismo, durante el periodo de análisis, se observa un incremento considerable en las emisiones de los años 2017, 2018 y 2019.

Figura 56. Tendencia de emisiones de GEI para la subcategoría tierras que se convierten en otras tierras para el período 2008 – 2019 (GgCO₂eq)



Fuente: Elaboración propia

6.7. Quemado de biomasa (3C1)

6.7.1. Quema de biomasa en tierras forestales (3C1a)

El sector UTCUTS incluye las emisiones de la quema de biomasa en tierras forestales (3.C.1.a). Sin embargo, durante el proceso de elaboración del RAGEI 2019, no se realizó esta estimación, ya que no se cuenta con información nacional de calidad para la serie anual de datos de actividad que se requieren para realizar las estimaciones de emisiones por quema de biomasa de tierras forestales. La recopilación de datos de calidad se incluye en el plan de mejora del presente RAGEI.

7. CONTROL DE CALIDAD Y GARANTÍA DE LA CALIDAD

7.1. Control de la calidad (CC)

Para el control de la calidad, se aplicaron procedimientos generales y específicos que establecen las Directrices del IPCC de 2006. El presente RAGEI fue sometido a un proceso de control de calidad con el procedimiento descrito en el ANEXO B.

En la Tabla 50 se presentan las acciones de control de calidad realizadas.

Tabla 50. Procedimientos de Control de la Calidad específicos aplicados

| Subcategoría | | Actividad de control de calidad | Procedimientos realizados |
|--------------|--------------------|---|--|
| 3B1 | Tierras forestales | Verificar que los datos de actividad se han estratificado adecuadamente por regiones climáticas y tipos de suelos | Se ha verificado que las superficies de tierras en permanencias y conversiones se encuentren estratificadas por ecozona (Selva alta accesible, Selva alta de difícil acceso, Selva Baja, Zona hidromórfica, Costa y Sierra) según corresponda. |
| | | Verificar que se han aplicado correctamente las clasificaciones/descripciones de la gestión | Se realizó la estratificación de la clase Tierras forestales que permanecen como tales, en áreas de bosque bajo manejo forestal, y otro bosque nativo. |
| | | Verificar que los factores de cambio de las existencias de C, las existencias de C del suelo de referencia, las estimaciones de residuos (carga de combustible) y los factores de combustión y emisión de la quema de biomasa se han asignado adecuadamente | Se verificó que la asignación de factores de emisión se realizará adecuadamente y de manera consistente entre todas las categorías de uso de la tierra. |
| | | Verificar que el total de la superficie permanezca constante durante el período de inventario y las superficies por estrato sólo varía por uso de la tierra o por clasificación de gestión (el clima y los tipos de suelos deben permanecer constantes) | Se ha verificado que el total de la superficie de cada ecozona reportado en las matrices de uso y cambio de uso de la tierra permanezca constante a lo largo de la serie temporal. |
| | | Si se emplean diferentes factores de emisión, parámetros y métodos para los distintos años, se debe verificar la documentarse las razones de tales cambios | Se han utilizado los mismos factores de emisión y parámetros para los distintos años. |
| 3B2 | Tierras de cultivo | Verificar que la acumulación de superficies por estratos en las hojas de trabajo sea coherente con las estadísticas sobre el uso de la tierra | Se ha verificado que la suma de las superficies de los estratos sea coherente con el total de la superficie de la categoría tierras de cultivo. |

| Subcategoría | | Actividad de control de calidad | Procedimientos realizados |
|--------------|---------------|---|---|
| 3B3. | Pastizales | Verificar que la acumulación de superficies por estratos en las hojas de trabajo sea coherente con las estadísticas sobre el uso de la tierra | Se ha verificado que la suma de las superficies de los estratos sea coherente con el total de la superficie de la categoría pastizales. |
| 3B5 | Asentamientos | Verificar que la acumulación de superficies por estratos en las hojas de trabajo sea coherente con las estadísticas sobre el uso de la tierra | Se ha verificado que la suma de las superficies de los estratos sea coherente con el total de la superficie de la categoría asentamientos. |
| 3B6. | Otras tierras | Efectuar un seguimiento permanente del total de la superficie de las tierras clasificadas como Otras Tierras dentro de las fronteras de cada país, y llevar registros transparentes sobre qué porciones se usan para estimar los cambios en las existencias de carbono. | Las matrices de uso y cambio de uso reportan la superficie de las permanencias y conversiones de la categoría Otras tierras. Asimismo, estas son incluidas para estimar los cambios de existencia de carbono en los reservorios correspondientes. |

Fuente: Elaboración propia

7.2. Garantía de la calidad (GC)

Durante el proceso de elaboración del RAGEI 2019 las estimaciones fueron sometidas a la revisión de la firma consultora *Gauss International Consulting*. Es así que, el informe de garantía de la calidad incluyó recomendaciones de acciones urgentes, recomendaciones para el próximo ciclo del inventario y recomendaciones a largo plazo.

En el ANEXO C se resumen las principales recomendaciones y mejoras propuestas, identificadas como resultado del proceso de garantía de calidad. Es importante mencionar que algunas de las sugerencias fueron acogidas para elaborar el presente reporte (Tabla 51), y otras recomendaciones serán integradas al plan de mejora del RAGEI.

Tabla 51. Hallazgos urgentes resultantes de la Garantía de la Calidad y acciones realizadas

| Subcategoría | Proposición de acciones urgentes | Acciones realizadas |
|------------------------|--|--|
| 3B1 Tierras forestales | Se recomienda corregir los valores de SOCref basándose en IPCC 2006, Capítulo 2, Tabla 2.3. | Se realizó la corrección del valor del SOCref en la planilla de cálculo. |
| 3B2 Tierras de cultivo | Se recomienda corregir los valores para el FE de barbecho maduro tropical y de entrada - alto con estiércol - tropical seco. | Se realizó el cambio en la planilla de cálculo de los factores de emisión factor de emisión de barbecho maduro tropical y de entrada - alto con estiércol - tropical seco. |

Fuente: Elaboración propia

8. PLAN DE MEJORA

La Tabla 52 presenta las oportunidades de mejora propuestas para la elaboración de futuros RAGEI:

Tabla 52. Acciones de mejora planificadas para futuros RAGEI

| N | Descripción de la acción de mejora propuesta | Impacto en la estimación de emisiones de la serie temporal u otros atributos del RAGEI | Nivel de avance en la implementación | Período de implementación |
|---|---|---|---|---------------------------|
| 1 | Incluir emisiones asociadas a quemas en tierras forestales. | Mayor exhaustividad en la estimación de emisiones de GEI en TTF. | MINAM viene trabajando el monitoreo de áreas quemadas en la Amazonía, para el periodo 2001-2018, en el marco de la actualización del NREF de degradación. Asimismo, el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, a través del Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, ha generado información sobre el monitoreo de cicatrices de incendios forestales a nivel nacional, y cuenta con información para el periodo 2016-2021. | Corto plazo |
| 2 | Generar información para la amazonia que complete el periodo histórico desde el 2000. | Incluir la estimación del Carbono Orgánico del suelo en todo el territorio nacional. Analizar las remociones de GEI debido a la contabilidad de la superficie acumulada de tierras convertidas en tierras forestales, en periodos de 20 años | Se espera completar el análisis desde el año 2000, utilizando el método de la malla sistemático, a fin de ampliar la serie temporal y actualizar toda la serie histórica de los RAGEI. | Corto Plazo |
| 3 | Estimar las emisiones de la categoría Productos de madera no recolectada | Mejorar la exhaustividad del inventario | No se han iniciado acciones de implementación. | Corto plazo |

| N | Descripción de la acción de mejora propuesta | Impacto en la estimación de emisiones de la serie temporal u otros atributos del RAGEI | Nivel de avance en la implementación | Período de implementación |
|---|---|---|--|---------------------------|
| 4 | Incorporar estimaciones de la subcategoría Humedales. | Mejorar la exhaustividad del inventario. | No se han iniciado acciones de implementación. | Largo plazo |
| 5 | Generar parámetros nacionales asociados a la estimación de contenidos de carbono en usos post deforestación, para la Amazonía. | Pasarse a un Nivel 2 en la estimación de las subcategorías tierras de cultivo y pastizales. | No se han iniciado acciones de implementación. | Largo plazo |
| 6 | Generar parámetros nacionales asociados al incremento de biomasa anual en plantaciones forestales y bosques secundarios. | Pasarse a un Nivel 2 en la estimación de la subcategoría tierras convertidas en tierras forestales. Cuantificar las remociones de GEI con mayor precisión. | No se han iniciado acciones de implementación. | Mediano plazo |
| 7 | Generar parámetros nacionales asociados a la estimación de cambios en las existencias del carbono orgánico del suelo, con énfasis en tierras de cultivo y pastizales. | Pasarse a un Nivel 2 en la estimación del carbono orgánico del suelo. | No se han iniciado acciones de implementación. | Largo plazo |

Fuente: Elaboración propia

9. BIBLIOGRAFIA

- CCI *Product Use Guideversion 2.0 Land Cover* (2015). Recuperado de: http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download/ESACCI-LC-Ph2-PUGv2_2.0.pdf
- Forest Stewardship Council (2022). Superficies de concesiones para aprovechamiento forestal maderable con certificación de Manejo Forestal. Lima-Perú. Recuperado de <https://pe.fsc.org/es-pe/nuestro-impacto/datos-y-cifras>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (s/f). Estadísticas de Población y Vivienda. Recuperado de <https://www.inei.gov.pe/estadisticas/indice-tematico/poblacion-y-vivienda/#url>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (s/f). Estadísticas de Población y Vivienda. Recuperado de <https://www.inei.gov.pe/estadisticas/indice-tematico/medio-ambiente/>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. Dirección General de Seguimiento y Evaluación de Políticas (2022). Superficie instalada de cultivos perennes por departamento. Enviado mediante EMAIL N.º 18-2022-MINAGRI-DGESEP/DEA-AD.
- Ministerio de Agricultura y Riego. SERFOR 2019. Informe del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre del Perú. Panel 1. Recuperado de: https://sniffs.serfor.gob.pe/inventarios/gestor/api/public/api/serfor/files/8767177466_05_informe_del_inventario_nacional_forestal_2.pdf
- Ministerio de Agricultura y Riego. SERFOR 2020. Informe del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. Ecozona Costa. Panel 1 y 2. Disponible en: https://sniffs.serfor.gob.pe/inventarios/gestor/api/public/api/serfor/files/9112653210_INFORME_COSTA_P_1_Y_2.pdf
- Ministerio de Agricultura y Riego. Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (2020). Anuario forestal y de fauna silvestre 2016. Recuperado de <https://sniffs.serfor.gob.pe/estadistica/es/tableros/publicaciones/anuarios>
- Ministerio del Ambiente. Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático. Módulo de Monitoreo de la Cobertura de Bosque. Recuperado de: <http://geobosques.minam.gob.pe:81/geobosque/view/>
- Ministerio del Ambiente. 2022. Nivel de referencia de emisiones forestales por deforestación bruta del Perú en el bioma amazónico Disponible en: https://redd.unfccc.int/files/nref_peru_281122_final_2.pdf
- Ministerio del Ambiente. 2022. Informe de consultoría: “Análisis espacial con teledetección y elaboración de matrices de uso y cambio de uso de suelo para los biomas de Costa y Sierra”. Documento interno.

- The Intergovernmental Panel on Climate Change (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Switzerland. Recuperado de: *The Intergovernmental Panel on Climate Change* <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>
- The Intergovernmental Panel on Climate Change (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Japón: IGES. Recuperado de: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
- The Intergovernmental Panel on Climate Change (1995). Segundo Reporte de Evaluación IPCC (AR2 por sus siglas en inglés). Potencial de calentamiento global (PCG) de metano y óxido nitroso. Tabla 4, página 22. Recuperado de: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_sar_wg_I_full_report.pdf

10. ANEXOS

ANEXO A: Datos del responsable del RAGEI

| Datos | Descripción |
|---------------------|---|
| Nombres y Apellidos | Milagros Sandoval Díaz |
| Cargo | Directora General |
| Correo Electrónico | msandovald@minam.gob.pe |
| Teléfono - Anexo | 51-209-8800 – Anexo 4101 |
| Dirección | Dirección General de Cambio Climático y Desertificación |
| Institución | Ministerio del Ambiente |

ANEXO B: Procedimiento de control de calidad

Tabla 53. Procedimientos generales de control de calidad

| Actividad de CC | Procedimientos |
|--|---|
| Verificar que las hipótesis y criterios para la selección de los datos de actividad y factores de emisión estén documentados. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Realizar verificaciones cruzadas de las descripciones de datos de actividad y factores de emisión con información sobre las categorías y asegurar que estos estén debidamente registrados y archivados. |
| Verificar si existen errores de transcripción en los datos de entrada y la referencia. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Confirmar que las referencias de datos bibliográficos estén debidamente citadas en la documentación interna. ▪ Efectuar verificaciones en muestras de datos de entrada de cada categoría (ya sean medidas o parámetros utilizados en las estimaciones) para detectar posibles errores de transcripción. ▪ Utilizar datos electrónicos siempre que sea posible para minimizar los errores de transcripción. ▪ Comprobar que las funciones de las hojas de cálculo se utilicen para minimizar los errores de entrada/usuario: ▪ Evitar la programación de factores como fórmulas. ▪ Crear tablas de referencia automáticas para los valores comunes que se utilizan en los cálculos. ▪ Usar la protección de celdas para que los datos fijos no sean modificados de manera accidental. ▪ Realizar controles automáticos, como los controles informáticos para cálculos o controles de rango de los datos de entrada. |
| Verificar que las emisiones/remociones se estimen correctamente. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Reproducir una muestra representativa de los cálculos de las emisiones/remociones. ▪ En el caso que se utilicen los modelos, imitar de forma selectiva los modelos de cálculos complejos con estimaciones abreviadas para juzgar la exactitud relativa. |
| Verificar que las unidades de emisiones/remociones y parámetros se registren correctamente y que los factores de conversión se utilicen de manera apropiada. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Verificar que las unidades estén correctamente etiquetadas en las hojas de cálculo. ▪ Verificar que las unidades se transporten correctamente desde el principio hasta el final de los cálculos. ▪ Verificar que los factores de conversión sean correctos. ▪ Verificar que los factores de ajuste temporal y espacial se utilicen correctamente. |
| Verificar la integridad de los archivos de base de datos. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Confirmar que los pasos de procesamiento de datos apropiados estén correctamente representados en la base de datos. ▪ Confirmar que las relaciones de datos estén correctamente representadas en la base de datos. ▪ Asegurar que los campos de datos estén correctamente etiquetados y cuenten con las correctas especificaciones de diseño. ▪ Asegurar que la documentación adecuada de la operación, la estructura del modelo y la base de datos sean archivadas. |

| Actividad de CC | Procedimientos |
|---|---|
| Verificar la coherencia de los datos entre las categorías. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Identificar los parámetros (p. ej., datos de actividad, constantes) que son comunes a múltiples categorías y confirmar que existe coherencia en los valores utilizados para estos parámetros en los cálculos de las emisiones/remociones. |
| Verificar que el movimiento de datos de inventario entre los pasos de procesamiento sea correcto. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Verificar que los datos de emisiones/remociones se agreguen correctamente de los niveles más bajos a los niveles más altos de información en la elaboración de resúmenes. ▪ Verificar que los datos de emisiones/remociones se transcriban correctamente en los diferentes productos intermedios. |
| Revisar el archivo y la documentación interna. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Verificar que existe documentación interna detallada para respaldar las estimaciones y permitir la duplicación de los cálculos. ▪ Verificar que cada elemento de datos básico tenga una referencia para la fuente de datos (a través de los comentarios de celda u otro sistema de anotación). ▪ Verificar que los datos de inventario, datos de respaldo y registros de inventarios sean archivados y almacenados para facilitar una revisión detallada. ▪ Verificar que el archivo sea cerrado y se conserve en un lugar seguro tras la finalización del inventario. ▪ Verificar la integridad de los arreglos relacionados al archivo de datos de las organizaciones externas que participan en la elaboración del inventario. |
| Verificar los cambios metodológicos y de datos que resultan en recálculo. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Verificar la coherencia temporal en los datos de entrada de la serie temporal para cada categoría. ▪ Verificar la coherencia en el método/algorithm utilizado para los cálculos en la serie temporal. ▪ Reproducir una muestra representativa de los cálculos de emisiones para garantizar su exactitud matemática. |
| Verificar la coherencia de la serie temporal. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Verificar la coherencia temporal en los datos de entrada de la serie temporal para cada categoría. ▪ Verificar la coherencia en el método/algorithm utilizado para los cálculos en la serie temporal. ▪ Verificar los cambios metodológicos y de datos que resultan en recálculo. ▪ Verificar que los efectos de las actividades de mitigación se reflejen adecuadamente en los cálculos de la serie temporal. |
| Verificar la exhaustividad. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Confirmar que las estimaciones se presenten para todas las categorías y todos los años desde el año base correspondiente durante el período del inventario actual. ▪ En relación con las subcategorías, confirmar que toda categoría sea cubierta. ▪ Facilitar una definición clara de las categorías de 'Otro' tipo. ▪ Verificar que los datos cuya indisponibilidad sea conocida, resultando en estimaciones incompletas de emisiones/remociones de una |

| Actividad de CC | Procedimientos |
|--------------------------|--|
| | <p>categoría, estén documentados, incluyendo la evaluación cualitativa de la importancia de la estimación en relación con el total de emisiones netas (p. ej., las subcategorías clasificadas como 'no estimadas').</p> |
| Revisiones de tendencias | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Comparar las estimaciones de inventario actuales con las estimaciones previas de cada categoría, en caso de estar disponibles. En el caso que existan cambios o desviaciones significativos de las tendencias esperadas, es necesario volver a revisar las estimaciones y explicar la diferencia. Los cambios significativos en las emisiones o remociones de años anteriores pueden indicar los posibles errores de entrada o de cálculo. ▪ Verificar el valor de los factores de emisión implícitos (emisiones/remociones agregadas, divididas por datos de actividad) a través de la serie temporal. ¿Se han reportado cambios en las emisiones o remociones? ▪ Verificar si existe alguna tendencia inusual o inexplicable reportada para los datos de actividad u otros parámetros a través de la serie temporal. |

Fuente: Elaboración propia

ANEXO C: Garantía de la Calidad

A continuación, se presentan las principales conclusiones de la revisión del sector UTCUTS, producto del proceso de Garantía de la Calidad del INGEI 2019,

Anexo C. 1. Conclusiones de la categoría tierras

| 3B Tierras |
|--|
| Observación |
| <p>La caracterización de la cubierta terrestre se basa en datos nacionales y en el enfoque 2 del IPCC, que permite identificar los cambios de uso del suelo entre tipos de uso del suelo y crear una matriz de cambio de uso del suelo. Las fuentes de los datos están bien identificadas para todas las ecozonas principales de Perú (Amazonia, Costa y Sierra).</p> <p>Los valores por defecto indicados para el SOCref de los suelos tropicales y montañosos no coinciden con los valores del IPCC 2006, Capítulo 2, Tabla 2.3. Ejemplo: Los suelos HAC tiene un valor de 21,00 en el INGEI 2019 cuando el valor por defecto es 38,00 (Tabla 2.3 del IPCC 2006).</p> <p>No se notificaron las emisiones/absorciones de la categoría 3D1 (productos de madera recolectada) y se indica una falta de disponibilidad de datos sobre los suelos orgánicos drenados.</p> <p>La matriz de uso de la tierra para el período de 20 años, requerida para cambios en las reservas de carbono del suelo, no está disponible para la ecozona amazónica.</p> |
| Proposición de acciones urgentes |
| Se recomienda corregir los valores de SOCref basándose en IPCC 2006, Capítulo 2, Tabla 2.3. |
| Recomendaciones para el próximo ciclo de inventario |
| Se recomienda estimar las emisiones de productos de madera recolectada. |
| Recomendaciones a largo plazo |
| A largo plazo, se recomienda recopilar datos de actividad para los suelos orgánicos drenados. |

Fuente: Gauss 2023

Anexo C. 2. Conclusiones de la subcategoría 3B1a

| 3B1a Tierras forestales que permanecen como tierras forestales |
|---|
| Observación |
| <p>Las emisiones y absorciones de la categoría forestal se presentan de forma muy transparente en el informe. Se incluyen todos los factores de emisión necesarios, lo que permitiría reproducir los cálculos.</p> <p>Los bosques se dividen según las 6 ecozonas de la clasificación de tierras del país, y los parámetros clave sobre existencias y crecimiento de la biomasa se basan en fuentes nacionales.</p> <p>No se cuenta con valores nacionales de tasas de crecimiento para un bosque aprovechado. La selección de la tasa de crecimiento utilizada (1 ms ha⁻¹ yr⁻¹) sigue un principio conservador.</p> <p>El inventario no parece recoger las emisiones derivadas de las perturbaciones en los bosques. Sin embargo, está demostrado que las perturbaciones representan una limitación importante para el potencial de eliminación de carbono de los bosques.</p> |
| Proposición de acciones urgentes |
| NA |
| Recomendaciones para el próximo ciclo de inventario |
| Se recomienda estimar el FE de Crecimiento medio anual de la biomasa aérea de bosques nativos en concesión con certificación de manejo forestal FSC al nivel nacional para obtener una mejor estimación de las absorciones nacionales. |

3B1a Tierras forestales que permanecen como tierras forestales

La recopilación de datos adecuados sobre las principales perturbaciones, como incendios y plagas, debería ser una prioridad para mejorar el inventario de GEI. Teniendo en cuenta la disponibilidad de información sobre el monitoreo de incendios forestales a nivel nacional para el periodo 2016-2021, la estimación de emisiones por incendios debería ser una prioridad por el próximo ciclo.

Recomendaciones a largo plazo

A largo plazo se recomienda una mayor desagregación de la clasificación de los usos del suelo dentro de cada tipo de uso del suelo. Aunque la clasificación actual se basa en ecozonas, sería beneficioso avanzar hacia una clasificación basada en los tipos de bosque dentro de cada ecozona, y desarrollar DA y FE específicos.

No fue posible obtener matrices de uso del suelo para el periodo de 20 años en la ecozona amazónica. Se recomienda mejorar la recopilación de datos para obtener dichas matrices y calcular el COS.

Fuente: Gauss 2023

Anexo C. 3. Conclusiones de la subcategoría 3B1b

3B1b Tierras que se convierten en tierras forestales

Observación

El incremento de biomasa anual en plantaciones forestales en las zonas Costa y Sierra no está basado en datos nacionales.

Proposición de acciones urgentes

NA

Recomendaciones para el próximo ciclo de inventario

Se recomienda estimar al nivel nacional al incremento de biomasa anual en plantaciones forestales de las zonas Costa y Sierra para mejorar la estimación de las remociones debido a la reforestación/forestación.

Recomendaciones a largo plazo

NA

Fuente: Gauss 2023

Anexo C. 4. Conclusiones de la subcategoría 3B2a

3B2a Tierras de cultivo que permanecen como tierras de cultivo

Observación

Esta categoría estima las emisiones y absorciones derivadas de la cultura de cultivos perennes. Los cálculos son transparentes, así como los DA y FE utilizados. El FE para el barbecho maduro tropical en el INGEI 2019 es 8,00 mientras que el valor correcto del 'Refinamiento del 2019 de las Directrices del IPCC de 2006. Volumen 4, capítulo 5, cuadro 5.10' es 0.8. El valor de Input - Alto con estiércol - Tropical Seco debe corregirse de 0,37 en el INGEI a 1,37 de acuerdo con el valor por defecto del IPCC 2006.

Los cálculos parten del supuesto de que toda la superficie con cultivos perennes está en crecimiento, ya que los cultivos se cosechan una vez alcanzan la madurez.

La superficie de tierras cosechadas es la superficie total dividida por el número de años de un ciclo de madurez (8 o 30 años).

Proposición de acciones urgentes

Se recomienda corregir los valores para el FE de barbecho maduro tropical y de entrada - alto con estiércol - tropical seco.

| |
|---|
| 3B2a Tierras de cultivo que permanecen como tierras de cultivo |
| Recomendaciones para el próximo ciclo de inventario |
| Se recomienda desglosar los cultivos entre zonas templadas y tropicales, porque los cultivos tienen ciclos de madurez diferentes. Esta información no debería requerir esfuerzos adicionales de recopilación de datos y podría mejorar las estimaciones de la categoría 3B1a. |
| Recomendaciones a largo plazo |
| NA |

Fuente: Gauss 2023

Anexo C. 5. Conclusiones de la subcategoría 3B2b

| |
|--|
| 3B2b Tierras que se convierten en tierras de cultivo |
| Observación |
| La ausencia de estimaciones nacionales de las reservas de biomasa de los humedales hace que la categoría de humedales convertidos en tierras de cultivo esté incompleta. |
| Proposición de acciones urgentes |
| NA |
| Recomendaciones para el próximo ciclo de inventario |
| NA |
| Recomendaciones a largo plazo |
| Se recomienda recopilar datos para estudiar la dinámica del carbono de los humedales nacionales (véase la categoría 3B4 más abajo). |

Fuente: Gauss 2023

Anexo C.6. Conclusiones de la subcategoría 3B4a

| |
|--|
| 3B4a Humedales que permanecen como humedales |
| Observación |
| La falta de estimaciones de los humedales se atribuye totalmente a la falta de datos nacionales sobre este tipo de uso del suelo. |
| Proposición de acciones urgentes |
| NA |
| Recomendaciones para el próximo ciclo de inventario |
| NA |
| Recomendaciones a largo plazo |
| Se recomienda recopilar DA pertinentes sobre los humedales, en particular sobre las reservas de carbono en la biomasa y las actividades relacionadas con la extracción de turba. |

Fuente: Gauss 2023

Anexo C. 6. Conclusiones de la subcategoría 3B4b

| |
|--|
| 3C1 Emisiones por quema de biomasa |
| Observación |
| La categoría proporciona estimaciones de no-CO ₂ para tierras de cultivo y pastizales, sin embargo, no se proporcionan las estimaciones para la conversión del uso de la tierra donde el fuego se utiliza para convertir la tierra en tierras de cultivo o pastizales. |
| Proposición de acciones urgentes |
| NA |
| Recomendaciones para el próximo ciclo de inventario |
| Se recomienda estimar la parte de la conversión de tierras No-TC a TC y No-P a P que se debe al fuego, si esto es relevante para el país. |
| Recomendaciones a largo plazo |
| Aunque no es una categoría principal del inventario, se recomienda mejorar la caracterización de datos y recopilar información nacional para poder utilizar un método de cálculo de nivel 2. Esto incluye desagregar los tipos de cultivos por zonas climáticas y realizar estimaciones de combustión y emisión específicas para Perú. |

Fuente: Gauss 2023

ANEXO D: Juicio de expertos

Proporción de plantaciones forestales instaladas dentro de las Tierras convertidas en Tierras Forestales

- Entrevista a Víctor Barrena, Docente de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNALM ybarrena@lamolina.edu.pe, Valor proporcional de representatividad de plantaciones forestales dentro de las tierras convertidas en tierras forestales.
- Entrevista a Ignacio Lombardi, Ex-Docente de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNALM ilombardi@lamolina.edu.oe, Valor proporcional de representatividad de plantaciones forestales dentro de las tierras convertidas en tierras forestales