



Ministerio de
Agricultura

Gobierno de Chile

CONAF
Ministerio de
Agricultura

Gobierno de Chile



ANEXO TÉCNICO DE **RESULTADOS REDD+**

ENCORV

ESTRATEGIA NACIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO Y RECURSOS VEGETACIONALES



Editores:

José Antonio Prado¹, Georgina Trujillo¹, Daniel Montaner¹, Yasna Rojas³, Jaeel Moraga¹, César Mattar¹, Andrea Choque¹, Manuel Carvajal¹

Autores:

Daniel Montaner¹, César Mattar¹, Georgina Trujillo¹, Jaeel Moraga¹, Javier Cano².

¹ Unidad de Cambio Climático y Servicios Ambientales. Gerencia de Desarrollo y Fomento Forestal. Corporación Nacional Forestal (CONAF) de Chile.

² Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

³ Instituto Forestal (INFOR) de Chile.



CHILE LO
HACEMOS
TODOS



Anexo técnico de resultados REDD+





Índice de contenidos

Índice de contenidos

| | |
|--|-----------|
| 1. Introducción | 11 |
| 2. Resumen de información del NREF/NRF Subnacional de Chile | 13 |
| 3. Descripción del sistema nacional de monitoreo forestal | 17 |
| 3.1. Arreglos y estructura institucional | 17 |
| 3.2. Funciones en la generación de información base | 18 |
| 3.3. Planificación de actividades | 21 |
| 3.4. Financiamiento y sostenibilidad | 24 |
| 4. Metodologías aplicadas | 27 |
| 4.1. Definición de Bosque y actividades REDD+ | 27 |
| 4.2. Niveles, enfoques utilizados, depósitos de carbono y GEI considerados | 29 |
| 4.3. Métodos para la estimación de emisiones y absorciones | 30 |
| 4.4. Metodología aplicada para la estimación de datos de actividad | 35 |
| 4.5. Métodos utilizados y factores de emisión aplicados | 46 |
| 5. Emisiones reducidas en el periodo de monitoreo | 51 |
| 5.1. Reducción de emisiones por deforestación | 51 |
| 5.2. Reducción de emisiones por degradación forestal | 52 |
| 5.3. Aumento de existencias de carbono forestal | 54 |
| 5.4. Conservación forestal | 55 |
| 5.5. Resultados por actividad REDD+ | 57 |
| 6. Estimación de incertidumbre | 61 |
| 6.1. Metodología | 61 |
| 6.2. Resultados | 64 |
| 6.3. Cuantificación de la incertidumbre | 71 |
| 7. Referencias | 78 |
| 8. Siglas | 81 |

Listado de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. NREF/NRF subnacional de Chile | 15 |
| Tabla 2. Regiones, periodos, actividades, reservorios y GEI considerados en NREF/NRF Subnacional | 15 |
| Tabla 3. Alcances de Anexo técnico de resultados REDD+ subnacional | 24 |
| Tabla 4. Estratificación de actividades | 29 |
| Tabla 5. Niveles, depósitos de carbono y GEI considerados para cada actividad de REDD+ en el NREF/NRF y en este Anexo de resultados REDD+..... | 30 |
| Tabla 6. Usos de la tierra registrados por el Catastro, reasignación de categorías y definición de actividad y sub-actividad REDD+..... | 36 |
| Tabla 7. Fechas de ventanas temporales utilizadas para la elaboración | 38 |
| Tabla 8. Comparación de métodos utilizados en la estimación de datos de actividad asociados a Cambios de Uso de la Tierra (CUT) en el NREF/NRF y este Anexo de Resultados de REDD+ | 40 |
| Tabla 9. Información histórica de Catastro Forestal utilizada en actividades y sub-actividades vinculadas a cambios de uso y sub-uso de la tierra | 40 |
| Tabla 10. Posibles cambios en el gráfico de densidad entre los dos períodos de tiempo y actividades REDD+ en las que son contabilizadas..... | 44 |
| Tabla 11. Factores de emisión regionales desglosados por reservorios de carbono considerados en el análisis..... | 46 |
| Tabla 12. Contenido de carbono de la materia orgánica muerta utilizado en el NREF/NRF, Anexo REDD+ e INGEI | 47 |
| Tabla 13. Incremento promedio anual por tipo de bosque | 47 |
| Tabla 14. Incremento promedio anual por Región | 47 |
| Tabla 15. Factores de emisión, combustión y conversión para emisiones noCO ₂ | 48 |
| Tabla 16. Emisiones por Deforestación Periodo de Referencia..... | 51 |
| Tabla 17. Emisiones por Deforestación Periodo de Monitoreo | 51 |
| Tabla 18. Reducción Emisiones por deforestación | 52 |
| Tabla 19. Emisiones por transformación de bosque nativo en plantación forestal Periodo Referencia | 52 |
| Tabla 20. Emisiones por transformación de bosque nativo en plantación forestal Periodo Monitoreo | 52 |
| Tabla 21. Emisiones reducidas por transformación de bosque nativo en plantación forestal | 53 |
| Tabla 22. Emisiones por degradación en bosque permanente y por incendios forestales en el periodo de referencia | 53 |
| Tabla 23. Emisiones por degradación en bosque permanente y por incendios forestales en el periodo de monitoreo..... | 53 |
| Tabla 24. Emisiones reducidas por degradación en bosque permanente y por incendios forestales | 54 |
| Tabla 25. Promedio de emisiones (capturas) de carbono durante el periodo de referencia 2001-2013 | 54 |
| Tabla 26. Promedio de capturas de carbono por conversión a bosque durante el periodo de monitoreo | 55 |
| Tabla 27. Promedio de las capturas de carbono durante el periodo de monitoreo en áreas convertidas a bosque durante el periodo de referencia | 55 |

Listado de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 28. Promedio de las capturas de carbono durante el periodo de monitoreo años 2010-2015 | 55 |
| Tabla 29. Emisiones reducidas por aumento de existencias de carbono forestal | 55 |
| Tabla 30. Emisiones y absorción por conservación forestal en el periodo de referencia | 56 |
| Tabla 31. Emisiones y absorción por conservación forestal en el periodo de monitoreo | 56 |
| Tabla 32. Reducción de emisiones de carbono por conservación forestal | 56 |
| Tabla 33. Emisiones y absorción por actividad durante el periodo de referencia | 57 |
| Tabla 34. Emisiones y absorción por actividad durante el periodo de monitoreo | 57 |
| Tabla 35. Resultado de REDD+ por actividad | 58 |
| Tabla 36. Número de polígonos y área mapeada por región | 65 |
| Tabla 37. Incertidumbre por tipo de cambio y región para el período 2013-2017 | 65 |
| Tabla 38. Estimación de la incertidumbre de bosque permanente por región | 65 |
| Tabla 39. Desempeño geométrico de Landsat 7 (Storey <i>et al.</i> , 2008) y Landsat 8 OLI (Storey <i>et al.</i> , 2014) | 66 |
| Tabla 40. SEE basado en mediciones de error corregida | 67 |
| Tabla 41. Relación entre DAP y número de árboles | 68 |
| Tabla 42. Variables en la estimación e incertidumbre relativa al uso funciones volumétricas | 69 |
| Tabla 43. Fuentes de incertidumbre relacionada con los factores de emisión | 70 |
| Tabla 44. Fuentes de incertidumbre relacionada con las tasas de incremento promedio anual | 71 |
| Tabla 45. Incertidumbre de factores de emisión de deforestación | 72 |
| Tabla 46. Incertidumbre de factores de emisión de deforestación para bosque nativo y bosque mixto por región | 72 |
| Tabla 47. Incertidumbre de datos de actividad de deforestación para el periodo 2013-2017 | 72 |
| Tabla 48. Incertidumbre por región para los datos de actividad de sustitución | 73 |
| Tabla 49. Incertidumbre de emisiones por sustitución por región | 73 |
| Tabla 50. Incertidumbre de la masa disponible para combustión por región | 73 |
| Tabla 51. Incertidumbre de emisiones GEI por incendios forestales y región | 74 |
| Tabla 52. Incertidumbre de los factores de combustión por región | 74 |
| Tabla 53. Factores de Incertidumbre en el mapeo de degradación | 74 |
| Tabla 54. Factores de incertidumbre en la estimación de reservas de carbono | 75 |
| Tabla 55. Incertidumbre de datos de actividad de No bosques convertidos a bosque por región | 75 |
| Tabla 56. Incertidumbre de las absorciones por región | 76 |
| Tabla 57. Incertidumbre total de los resultados | 76 |



Introducción

Introducción

De acuerdo a las directrices descritas en el anexo a la decisión 14/CP19¹, Chile ha elaborado el presente Anexo Técnico de Resultados de REDD+, donde se incluye la siguiente información:

01. Resumen del informe definitivo de la evaluación técnica, que contiene los niveles de referencia de Emisiones Forestales y Niveles de Referencia Forestal (NREF/NRF) estipulados por Chile, incluyendo:
 - a. El NREF/NRF establecido, expresado en toneladas de dióxido de carbono equivalente por año (tCO₂ e/año).
 - b. Actividades incluidas en el NREF/NRF.
 - c. La superficie forestal del territorio abarcado.
 - d. La fecha en que se presentó el NREF/NRF y la fecha de publicación del informe definitivo de evaluación técnica.
 - e. El periodo de referencia en años del NREF/NRF.
02. Los resultados, expresados en tCO₂e/año, de conformidad con los NREF/NRF.
03. La demostración de que las metodologías usadas para generar los resultados son coherentes con las utilizadas para establecer el NREF/NRF.
04. Una descripción del sistema nacional de monitoreo forestal y de las funciones y responsabilidades institucionales relativas a la medición, notificación y verificación de los resultados.
05. La información necesaria para la reconstrucción de los resultados.
06. Una descripción de como los elementos de la decisión 4/CP15², párrafo 1(c) y (d), de la CMNUCC, han sido considerados, incluyendo:
 - a. El uso de las más recientes guías del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, siglas en inglés), adoptadas por la Conferencia de las Partes (COP) como base para la estimación.
 - b. El establecimiento de un Sistema Nacional de Monitoreo Forestal (SNMF), que considere:
 - i. Utilizar una combinación de técnicas de teledetección con inventarios en terreno.
 - ii. Proveer estimaciones transparentes, consistentes y precisas, y que se reduzca la incertidumbre.
 - iii. Ser transparente y permita su revisión.



¹ <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2013/cop19/spa/10a01s.pdf>

² <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2009/cop15/spa/11a01s.pdf>

An aerial photograph of a steep, rocky mountain slope. The terrain is characterized by light-colored, layered rock formations with numerous cracks and fissures. Patches of dense green forest are scattered across the slope, particularly in the lower and middle sections. Several small, white, rectangular buildings are visible, nestled among the trees and on the rocky outcrops. The overall scene is a mix of rugged geology and natural vegetation.

Resumen de información del NREF/NRF subnacional de Chile



Resumen de información del NREF/NRF subnacional de Chile

Como respuesta a la invitación realizada por la COP y de conformidad con las disposiciones de los párrafos 7-15 de la decisión 12/CP.17³ y su anexo, Chile presentó de manera voluntaria, sus NREF/NRF⁴ el 4 de enero de 2016. Como resultado de las interacciones facilitadoras con el Equipo de Evaluación durante la sesión de Evaluación Técnica (AT, siglas en inglés), **el 31 de agosto de 2016** Chile consignó una propuesta de NREF/NRF modificados⁵, donde se consideraron los insumos técnicos realizados por el AT. El reporte de Evaluación Técnica⁶ sobre el NREF/NRF modificado, fue finalizado y publicado en la plataforma para REDD+ de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), el 3 de marzo de 2017.

Chile desarrolló sus NREF/NRF con un enfoque subnacional para cinco regiones administrativas, las cuales corresponden a Maule, Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos (Figura 1), con el objetivo de alcanzar un NREF/NRF de carácter nacional en los próximos años. Las cinco regiones seleccionadas abarcan un 22% de la superficie total de Chile y un 41% del área de bosque nativo.

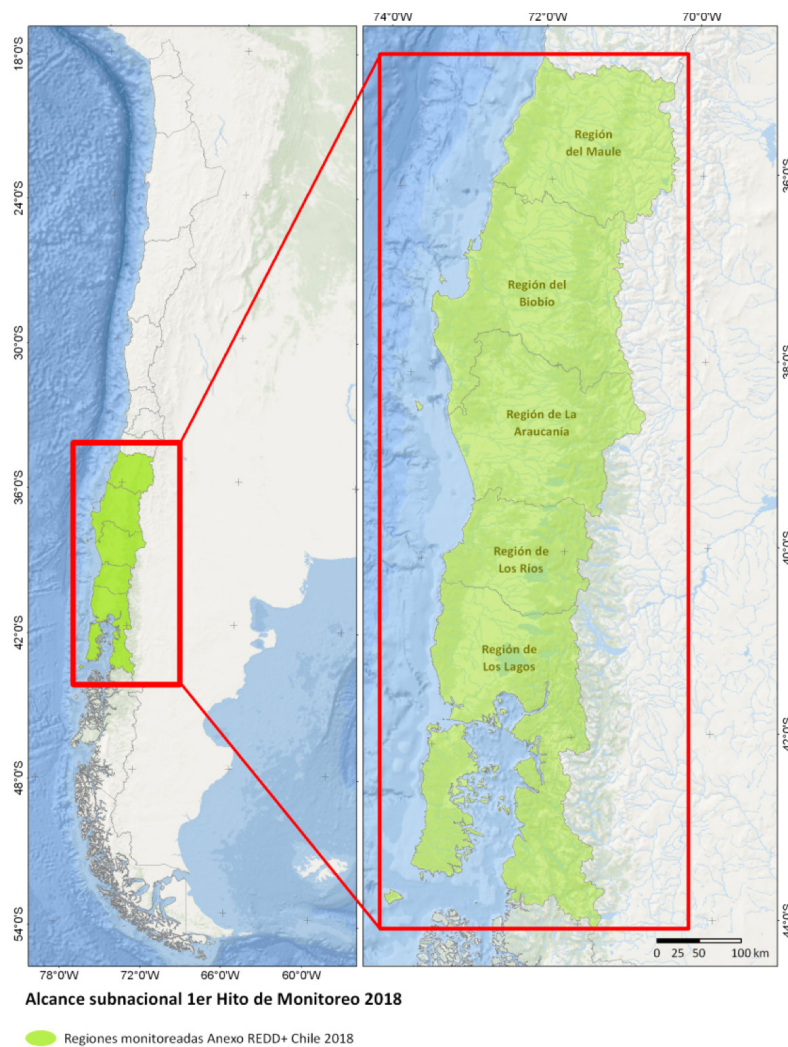


Figura 1. Área de cobertura NREF/NRF y Anexo REDD+.



¹ <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2011/cop17/spa/09a02s.pdf>

² http://redd.unfccc.int/files/2016_submission_frel_chile_spanish.pdf

³ http://redd.unfccc.int/files/chile_mod_sub_final_01032017_spanish.pdf

⁴ <http://unfccc.int/resource/docs/2016/tar/chl.pdf>

En términos absolutos, la superficie del área subnacional corresponde a 16.522.077 hectáreas y la superficie forestal representa 5.853.387 hectáreas. El área contiene ecosistemas forestales templados con presencia de 11 de los 12 tipos forestales definidos a nivel nacional, con el potencial de reducir y absorber emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), además de producir beneficios ambientales no asociados al carbono (Figura 2).

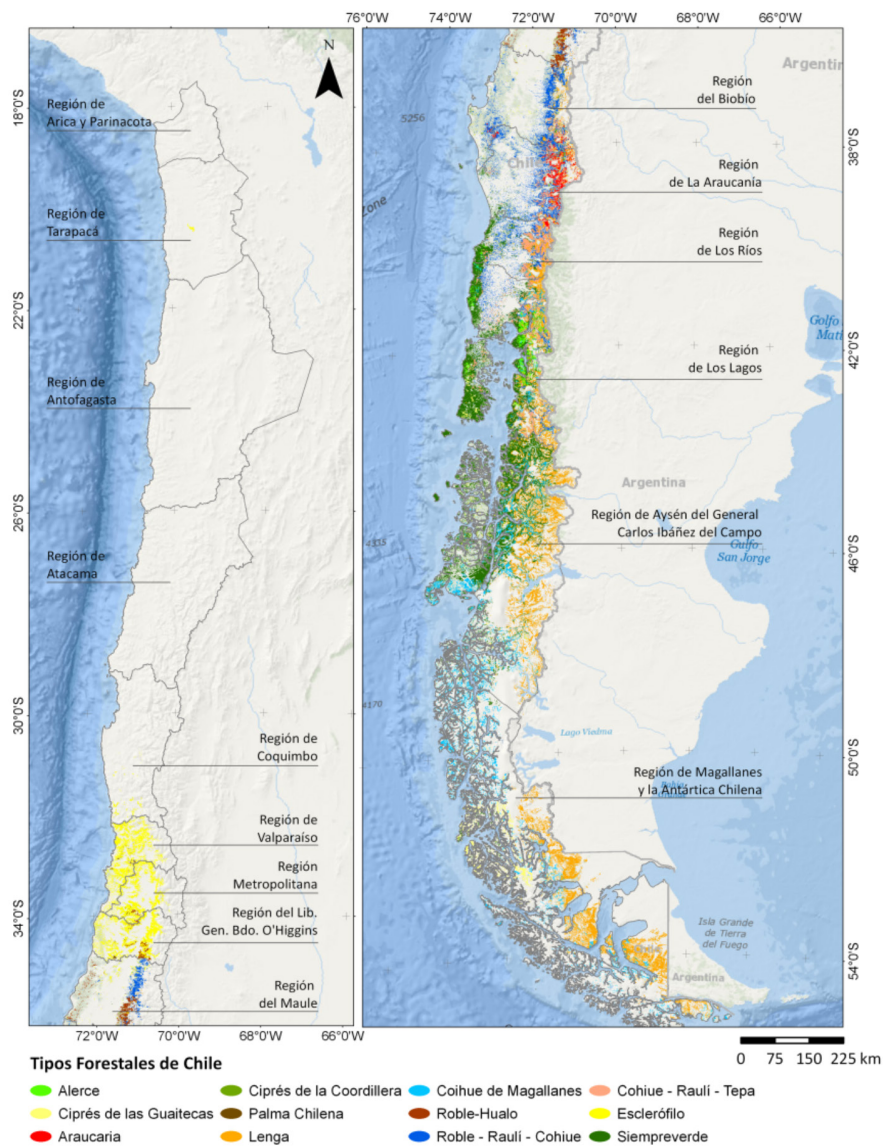


Figura 2. Distribución de Tipos Forestales de Chile.

Chile elaboró los NREF/NRF para cuatro de las cinco actividades mencionadas en el párrafo 70 de la decisión 1/CP.16⁷:

- a. Reducción de emisiones provenientes de la deforestación.
- b. Reducción de emisiones provenientes de la degradación forestal.
- c. Conservación de reservas forestales de carbono.
- d. Aumento de reservas forestales de carbono.

La actividad **manejo sustentable de bosques** no fue incluida debido a la falta de información espacialmente explícita necesaria para su cuantificación. Sin embargo, los cambios de reservas de carbono resultantes de esta actividad, fueron considerados de forma agregada en la actividad de reducción de emisiones provenientes de la degradación forestal si el resultado es una emisión, o bajo la mejora de reservas forestales de carbono, si el resultado es absorción.

Los NREF/NRF presentados para las cuatro actividades, son los siguientes:

- Emisiones de 3.452.885 tCO₂e/año, provenientes de la deforestación;
- Emisiones de 9.149.392 tCO₂e/año, provenientes de la degradación forestal;
- Absorción de 2.430.438 tCO₂e/año de conservación de reservas forestales de carbono; y,
- Absorción de 10.012.012 tCO₂e/año de aumento de las reservas forestales de carbono (Tabla 1)

Tabla 1. NREF/NRF subnacional de Chile

| Actividad REDD+ | Deforestación (tCO ₂ e/año) | Degradación (tCO ₂ e/año) | Conservación (tCO ₂ e/año) | Aumentos (tCO ₂ e/año) |
|----------------------|--|--------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| NREF/NRF Subnacional | 3.452.884 | 9.149.392 | -2.430.438 | -10.012.012 |

Los NREF/NRF propuestos por Chile se basan en el promedio anual de emisiones y/o absorción de CO₂. Además, la actividad de reducción de emisiones provenientes de la degradación forestal incluye emisiones de metano (CH₄) y de óxido de nitrógeno (N₂O) proveniente de incendios forestales.

El NREF/NRF establecido aplica desde el final del periodo de referencia definido para su estimación, hasta el año 2025, de acuerdo a la fecha de vigencia establecida para la Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales (ENCCRV) de Chile. Sin embargo, de acuerdo con el enfoque escalonado (stepwise approach) aplicado en su construcción, el NREF/NRF podrá ser actualizado y expandido, una vez se disponga de mejores datos y metodologías.

El periodo de referencia utilizado para la estimación del NREF/NRF de Chile está determinado por la disponibilidad de información necesaria para su construcción y por las diferentes metodologías aplicadas para estimar las emisiones y absorciones de las actividades y sub-actividades. El NREF/NRF considera dos periodos diferenciados, uno para actividades o sub-actividades relacionadas con cambio de uso de la tierra, y otro para actividades o sub-actividades que ocurren en bosque permanente (Tabla 2).

- Las actividades que presentan cambios de uso de la tierra corresponden a reducción de emisiones por deforestación, emisiones por degradación por conversión de bosque nativo en plantaciones forestales, incremento de absorciones por la conversión de plantaciones forestales en bosque nativo y el aumento de la superficie forestal. Estas actividades consideran un periodo de referencia de 12 años, entre 2001 y 2013.
- Las actividades en bosque que permanece como bosque corresponden a emisiones por degradación en bosque permanente, emisiones de gases no CO₂ producto de incendios forestales, el aumento de existencias de carbono por la recuperación de bosques degradados y la conservación forestal. Estas actividades consideran un periodo de referencia de 9 años entre 2001 y 2010.

Tabla 2. Regiones, periodos, actividades, reservorios y GEI considerados en NREF/NRF Subnacional

| NREF/NRF SUBNACIONAL | | |
|---------------------------------|---|-----------|
| Regiones | Maule, Biobío, Araucanía, Los Ríos, Los Lagos | |
| Año final de elaboración | 2016 | |
| Periodo | Cambios de uso | 2001/2013 |
| | Bosque permanente | 2001/2010 |
| Actividades | Deforestación | ✓ |
| | Degradación Forestal | ✓ |
| | Aumento de Existencias | ✓ |
| | Conservación Forestal | ✓ |
| | Manejo Sustentable de los Bosques | ✗ |
| Reservorio | Biomasa aérea | ✓ |
| | Biomasa subterránea | ✓ |
| | Materia orgánica muerta | ✓ |
| | Hojarasca | ✗ |
| | Carbono Orgánico del Suelo | ✗ |
| Gases | CO ₂ | ✓ |
| | CH ₄ | ✓ |
| | N ₂ O | ✓ |



⁷ <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2010/cop16/spa/07a01s.pdf>



Descripción del Sistema Nacional de Monitoreo Forestal

Descripción del Sistema Nacional de Monitoreo Forestal

Arreglos y estructura institucional

De acuerdo a la Iniciativa Global de Observación Forestal (2016), GFOI por sus siglas en inglés, se considera que los elementos primordiales para el funcionamiento adecuado de un sistema institucional, incluyen una red de instituciones sólidas y sostenibles, con la gama de conocimientos necesarios y la descripción de roles y responsabilidades claramente documentados con un sólo órgano asignado para la coordinación general.

En base a la decisión 10/CP19 de la CMNUCC, donde se invita a los países a nominar Puntos Focales Nacionales o Entidades Nacionales Designadas para REDD+, se designó como Punto Focal de REDD+ ante la CMNUCC a la Corporación Nacional Forestal (CONAF) de Chile, institución dependiente del Ministerio de Agricultura (MINAGRI). Esta nominación fue realizada a través de la Carta Oficial N°99 del 19 de febrero de 2014 del Ministro de Agricultura dirigida a su par del Ministerio de Relaciones Exteriores, quien oficializó esta designación ante la Secretaría de la Convención.

CONAF cumple el rol de Punto Focal para REDD+ a través de la Unidad de Cambio Climático y Servicios Ambientales (UCCSA) de la Gerencia de Desarrollo y Fomento Forestal (GEDEFF), siendo el organismo encargado de coordinar la generación y reporte de los elementos vinculados a REDD+. Se incluye implícitamente la coordinación del Sistema Nacional de Monitoreo Forestal (SNMF), la generación y reporte del NREF/NRF y del Anexo Técnico de resultados de REDD+.

Por su parte, el Departamento de Monitoreo de Ecosistemas Forestales (DMEF) de la Gerencia de Fiscalización y Evaluación Ambiental (GEF), también de CONAF, cuenta con un rol primordial para la generación de información base para el SNMF. El DMEF es el responsable de ejecutar el mandato establecido en el Artículo 4° de la Ley N°20.283 de 2008 sobre la Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal⁸, que establece que CONAF *“mantendrá un catastro forestal de carácter permanente, en el que deberá identificar y establecer, a lo menos cartográficamente, los tipos forestales existentes en cada región del país, su estado y aquellas áreas donde existan ecosistemas con presencia de bosques nativos de interés especial para la conservación o preservación según los criterios que se establezcan en el reglamento de esta ley. El catastro forestal deberá ser actualizado a lo menos cada diez años y su información tendrá carácter público”*.

Junto con CONAF, el Instituto Forestal (INFOR), institución dependiente del MINAGRI, tiene un rol de alta relevancia en el ámbito forestal de Chile y en el SNMF. Dentro de su misión, tiene el mandato de llevar a cabo los inventarios de los recursos de los bosques del país, para lo que cuenta con la asignación de financiamiento público del MINAGRI en el diseño, desarrollo tecnológico, implementación y ejecución del Inventario Forestal Nacional que promueve la generación de información por medio de datos recolectados de forma periódica en terreno.

Si bien a la fecha no existen acuerdos formales que sean vinculantes en el marco del SNMF, CONAF e INFOR desarrollan actividades conjuntas en el marco de un trabajo cooperativo y voluntario.

Adicionalmente, el MINAGRI institucionalizó una estructura Intraministerial que permite la organización adecuada para acciones en el ámbito de mitigación y adaptación al cambio climático, la cual se oficializó el 4 de diciembre de 2017 a través del Decreto Exento N° 360 del MINAGRI⁹, que *“Crea el Comité Técnico Intraministerial de Cambio Climático (CTICC)”*.

El CTICC es presidido por el (la) Director(a) Nacional de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), donde se integran además de CONAF e INFOR, la Subsecretaría de Agricultura, el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP), la Comisión Nacional de Riego (CNR), el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN), y la Fundación de Comunicaciones, Capacitación y Cultura del Agro (FUCOA), entre otros (Figura 3).

Dentro de los objetivos del CTICC se incluye, según el Artículo 2° literal iv. *“Favorecer y propiciar la generación de sistemas de información y soporte de las decisiones ministeriales que se adopten...”*, en apoyo al seguimiento y evaluación de políticas sobre cambio climático, y la promoción de instrumentos para generar mejoras estructurales y organizacionales en materia de cambio climático, lo que permite entregar un soporte explícito para la organización y la estructuración institucional, para fines como el Sistema de Medición y Monitoreo (SMM) de la ENCCRV referido en el presente documento.



⁸ http://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1368741650LibroLey_Bosque_NativoReglamentos.pdf

⁹ <http://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/Dex-360.pdf>

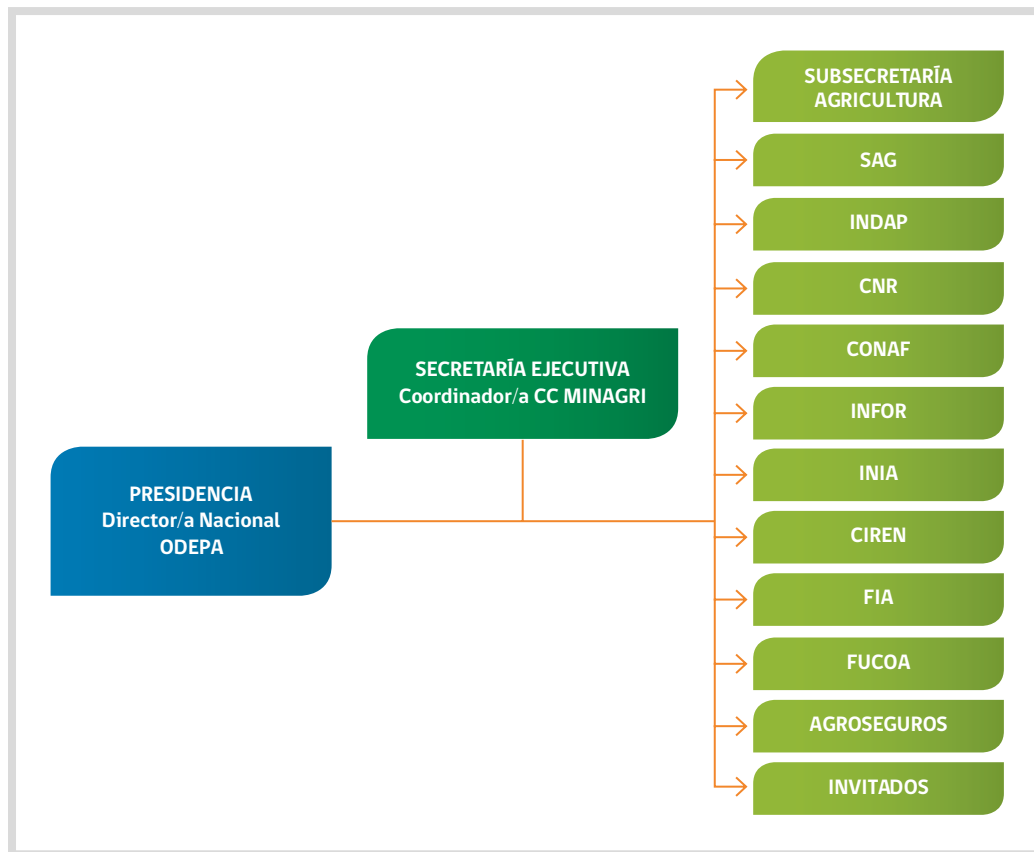


Figura 3. Estructura Comité Técnico Intraministerial de Cambio Climático

Funciones en la generación de información base

El SNMF requiere de fuentes de información que provean los datos para estimar la cuantificación de los siguientes parámetros:

- Superficies de las clases de uso de la tierra y superficies de cambios de uso de la tierra asociados a los bosques.
- Contenidos de carbono y variaciones de contenidos de carbono de los bosques.

Estos dos elementos son generados mediante dos insumos oficiales básicos, respectivamente:

- Catastro Forestal de usos del suelo y vegetación, desarrollado por CONAF.
- Inventario Forestal Nacional, desarrollado por INFOR.

El **Catastro de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile** (en adelante Catastro Forestal), genera la información oficial del país referente al uso y cambio de uso de la tierra. Desde el año 1997, con la publicación de los resultados de la superficie de los distintos usos de la tierra, se han desarrollado actualizaciones a nivel regional que permiten identificar, entre otros aspectos, la siguiente información:

- Área de bosque permanente, referido a la superficie de bosque que se mantiene como tal entre el catastro inicial y las diferentes actualizaciones.
- Área de deforestación, referido a la transformación desde área de bosque hacia otro uso de la tierra de forma permanente.
- Área de transformación de bosque nativo en plantación forestal.
- Área de transformación de plantación forestal a bosque nativo.
- Área de incremento de superficie forestal, referido a la superficie de usos de la tierra diferentes a bosque, que se han transformado a bosque nativo
- Área de conservación forestal (Figura 4), referida a la superficie de bosque nativo bajo procesos formales de conservación pública a través del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE).

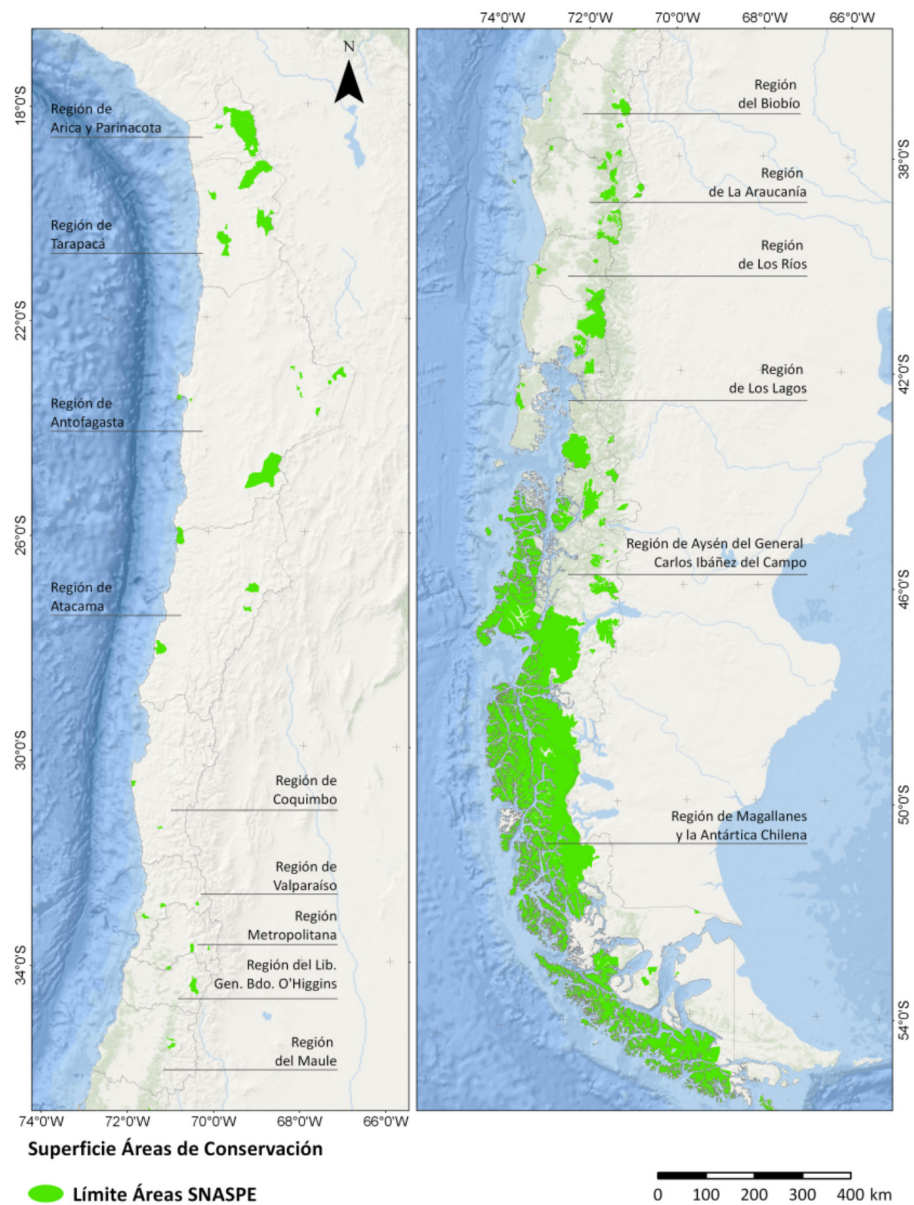


Figura 4. Distribución Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado.

Por su parte, el **Inventario Forestal Nacional**, contempla la realización de mediciones periódicas de parámetros dasométricos en parcelas permanentes, distribuidas entre las regiones de Coquimbo y Magallanes. El primer ciclo del Inventario se desarrolló entre 2001 y 2010, incluyendo la medición base y la primera actualización. INFOR actualmente ejecuta el inventario en ciclos de 4 años, realizando mediciones del 25% de las parcelas en forma anual, más una proyección del 75% restante. A través del inventario, se genera la información base que permite realizar las siguientes actividades:

- Desarrollo y actualización de valores de existencias de biomasa por tipos de bosque.
- La interpolación de datos referentes a existencias de carbono para la estimación de emisiones/absorciones en bosque permanente.

Otras fuentes de información secundaria de relevancia para la estimación de emisiones y absorciones vinculadas a REDD+, son la información sobre incendios forestales y la información sobre Iniciativas de Conservación Privada (ICP).

CONAF es la institución responsable a nivel nacional de generar las estadísticas oficiales de superficie por tipo de cobertura forestal afectada por incendios, a través de la Gerencia de Protección contra Incendios Forestales (GEPRIF). Esta información se actualiza de forma permanente a través del Sistema de Información Digital para Control de Operaciones (SIDCO), reportándose de forma anual para cada temporada, la que abarca desde el 1 de julio al 30 de junio del año siguiente.

Por su parte las Iniciativas de Conservación Privada, definidas como "porción de tierra de cualquier tamaño que: i) está gestionada con el fin primordial de conservar la biodiversidad, ii) está protegida con o sin reconocimiento formal del gobierno, y iii) está gestionada por, o a través de, personas individuales, comunidades, corporaciones u organizaciones no gubernamentales (Langholz, J., & Krug, 2003)¹⁰. Además, están incluidas en el Registro Nacional de Áreas Protegidas que mantiene el Ministerio de Medio Ambiente (MMA)¹¹.

La Figura 5, describe gráficamente la participación de cada fuente de información indicada en la generación de información para la estimación de emisiones y absorción de carbono forestal.

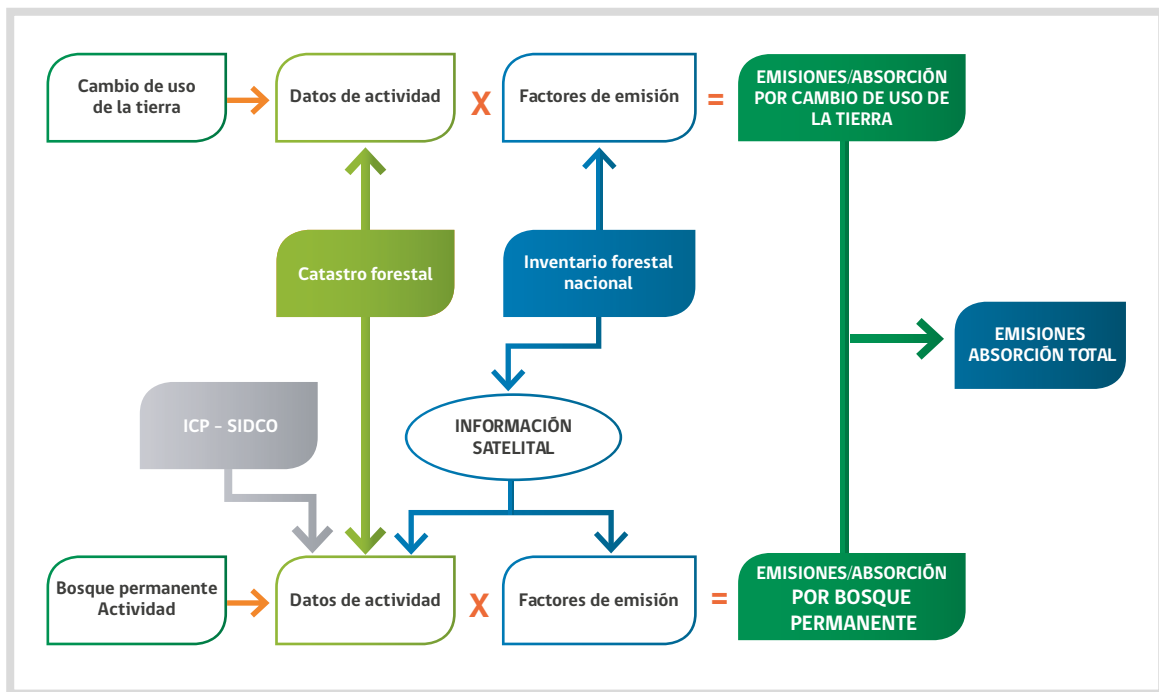


Figura 5. Fuentes de información para las estimaciones de emisiones y absorción de carbono forestal.

Un aspecto relevante en relación a las fuentes de información y arreglos institucionales, es destacar que tanto la CONAF a través de la UCCSA y del DMEF, como INFOR, forman parte del Sistema Nacional de Inventarios de GEI de Chile (SNiChile)¹², coordinado por el MMA (Figura 6). Ambas instituciones participan en la generación de los Inventarios de GEI, que recopila información utilizada para la estimación de datos paramétricos incluidos en el SNMF, tales como la relación raíz-tallo, contenidos de carbono para diferentes usos de la tierra y reservorios, densidad básica de la madera, entre otros. Estos datos proceden de diferentes fuentes, principalmente académicas y científicas, nacionales e internacionales.



¹⁰ Langholz, J. and Krug, W., 2003. Áreas protegidas privadas. Plan de acción para áreas naturales privadas. Disponible en: <http://www.europarces.org>

¹¹ <http://areasprotegidas.mma.gob.cl/>

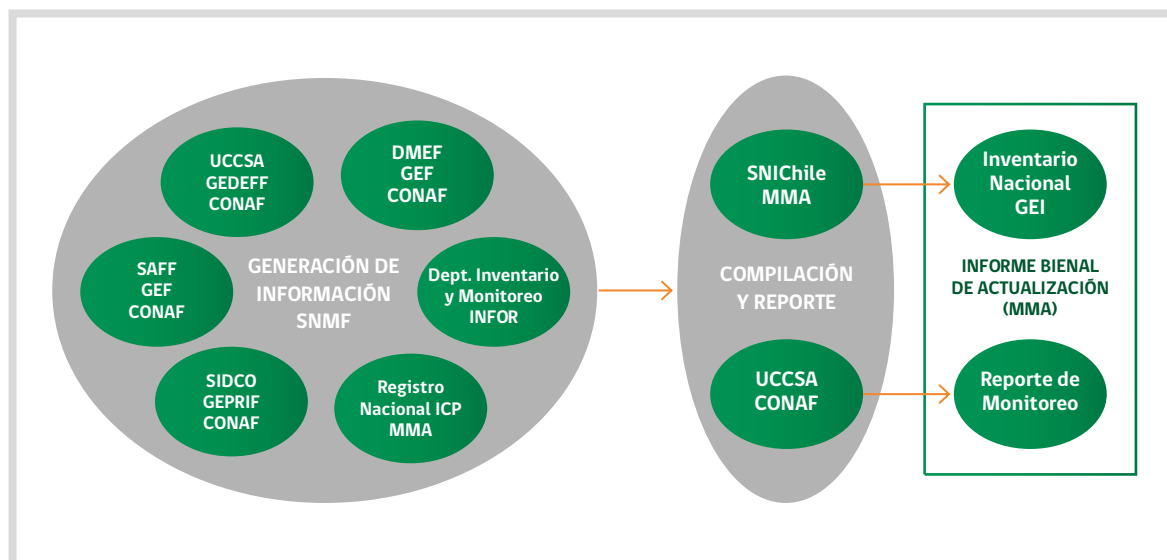


Figura 6. Estructura institucional para la generación de Anexo técnico de resultados REDD+ e interrelación interinstitucional para la generación del INGEI.

Planificación de actividades

La planificación de actividades a desarrollar en el marco del SNMF tiene objetivos interrelacionados que permitirán desarrollar las mejoras necesarias a los sistemas existentes y fortalecer la institucionalidad. Lo anterior, con el fin de contar con un NREF/NRF nacional a partir de datos 2019 y ejecutar acciones de monitoreo que deriven en la preparación de reportes de resultados de REDD+. La periodicidad sería bienal a una escala subnacional hasta el reporte en 2020, y a escala nacional a partir de ese entonces, contando con el apoyo de financiamiento internacional inicial que permita la reducción de brechas y la sostenibilidad del sistema.

Desarrollo de mejoras transversales

El NREF/NRF subnacional de Chile fue desarrollado por CONAF con el apoyo de un consorcio conformado por Winrock International, el INFOR y la Universidad Austral de Chile (UACH). Mediante este trabajo fueron identificadas las principales brechas de información sobre las actividades relacionadas con la expansión a escala nacional del Nivel de Referencia, así como también, para la ejecución de las futuras acciones de monitoreo. Entre las necesidades de mejora detectadas, se destacan las siguientes:

- Necesidad de creación de capacidades técnicas institucionales a nivel nacional, formando una masa crítica que pueda enfrentar los compromisos, tanto en CONAF con especial énfasis en el DMEF y la UCCSA, como en otras instituciones vinculadas a los recursos naturales, pertenecientes al Gobierno de Chile y al ámbito académico.
- Necesidad de mejora en los procesos de almacenamiento y gestión de la información, orientada al aumento de transparencia, generación semi-automatizada de reportes, visualización de resultados y difusión de información, tanto espacial como de bases de datos.
- Necesidad de reducir la heterogeneidad regional y extensión temporal en la periodicidad de actualización del Catastro Forestal, como fuente de información primaria para la estimación de datos de actividad vinculados a Cambios de Uso de la Tierra.
- Reducir la incertidumbre en la estimación de emisiones y absorción de GEI en bosque permanente, como consecuencia de la aplicación generalizada del diagrama de densidad desarrollado para el tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe al resto de tipos forestales¹³.



¹² La estructura institucional y roles de las instituciones se describen en el capítulo correspondiente al INGEI.

¹³ La propagación ponderada de errores reduce la influencia de la alta incertidumbre de aplicar el diagrama de densidad de Roble-Raulí-Coigüe en otros tipos forestales en los resultados finales obtenidos.

- Mejorar las metodologías aplicadas en base a metodologías contrastadas y aplicables de acuerdo a la información disponible, a las características geográficas y limitaciones meteorológicas para la estimación de emisiones y absorción de GEI, producto de la degradación forestal y del aumento de existencias en bosque permanente, con el objeto de expandir el NREF/NRF a las regiones de Aysén y Magallanes.
- Reducir o eliminar los vacíos de información referentes a factores de emisión y datos de actividad vinculados a los flujos de carbono orgánico del suelo.

En este sentido, durante 2017 se iniciaron una serie de actividades, orientadas a reducir las brechas identificadas, algunas de las cuales están aún en desarrollo y otras pendientes de desarrollar. Entre las actividades, se puede destacar las siguientes:

✓ **Desarrollo de talleres de consulta y sociabilización con expertos e instituciones nacionales e internacionales para el diseño participativo del SNMF.**

Entre sus resultados, se busca aumentar la masa crítica nacional de especialistas y difundir entre expertos de instituciones públicas, sociedad civil y academia, las propuestas para el desarrollo y validación de una estructura institucional del sistema y la generación de un comité de apoyo de expertos externos y su vinculación con el medio.

✓ **Desarrollo de una plataforma de gestión de la información de la ENCCRV para facilitar el uso, transparencia y difusión de la información.**

Compuesta por bases de datos espaciales y alfanuméricos, incluyendo una herramienta de integración semiautomática de la información y un visualizador webmapping. La plataforma contará con diferentes perfiles de usuario, que permitan: 1) desarrollar los reportes; 2) reconstruir la información; 3) realizar consultas específicas de forma semiautomática; y 4) difundir la información generada en forma clara y transparente. Se espera que la Plataforma permita el almacenamiento y presentación adecuada de la información generada en el marco del SNMF, además de contar con herramientas para optimizar las labores de integración de información y reconstrucción, herramientas para la generación de reportes a diferentes escalas y bajo diferentes necesidades, respondiendo tanto a los requerimientos de índole internacional, como a aquellas solicitudes puntuales desde las instancias ejecutivas de la institución o consultas de la ciudadanía.

✓ **Desarrollo de mapas de uso y cambio de uso de la tierra con periodicidad bienal, consistentes con el Catastro Forestal.**

Este trabajo está siendo desarrollado por el DMEF de CONAF con el apoyo financiero del Fondo para el Medioambiente Mundial (FMAM) para los proyectos Sistema Integrado de Monitoreo de Ecosistemas Forestales (SIMEF) y Manejo Sustentable de la Tierra (MST); el Fondo Cooperativo del Carbono Forestal (FCPF, siglas en inglés) y el Programa Nacional de la Organización de las Naciones Unidas para REDD+ (ONU REDD). Considera, entre sus resultados, la elaboración de mapas de uso y cambio de uso de la tierra, vinculados al bosque, para las regiones incluidas en el NREF/NRF subnacional de Chile entre el periodo 2013/2017, los cuales han sido utilizados en la estimación de emisiones del presente Anexo técnico de resultados REDD+. Los siguientes pasos buscarán obtener resultados de cambios de uso entre todas las categorías de uso de la tierra con un enfoque nacional.

✓ **Elaboración de diagramas de densidad para los principales tipos forestales.**

Esta actividad comienza por la aplicación del diagrama de densidad del Tipo Forestal Lengua, elaborado durante 2017 por el INFOR con el soporte financiero de CONAF a través del Fondo de Investigación de la Ley de Bosque Nativo y la actualización de las herramientas dasométricas necesarias para los diagramas de densidad del Tipo Forestal Siempreverde, que será financiado por CONAF para su ejecución a lo largo de 2018 e implementación en 2019. Durante el mismo año, se pretende elaborar los diagramas de densidad para los Tipos Forestales Roble-Hualo y Coigüe-Raulí-Tepa, mientras que durante 2019 y 2020 se elaborarán e incorporarán diagramas de densidad para los Tipos Forestales Esclerófilo, Coigüe de Magallanes y Ciprés de la Guaitecas. De esta forma, se contará con diagramas de densidad, específicos por Tipo Forestal, para el 96% de la superficie de bosque nativo de Chile. Para todos los casos deberá aplicarse la metodología propuesta por Gingrich (1967) y ajustada por Bahamóndez *et al.* (2009), Bahamóndez *et al.* (2016) y Martin y Müller-Using (2012) para el Tipo Forestal Roble-Raulí-Coigüe.

✓ **Análisis y aplicación de metodologías para la estimación de emisiones y absorción de GEI producto de la degradación forestal y del aumento de existencias en bosque permanente para las regiones de Aysén y Magallanes.**

Esta actividad está planificada para ser desarrollada durante 2019 a través de un concurso público que permita contar con el apoyo técnico de instituciones nacionales y/o internacionales. Para su desarrollo, se deben considerar las características geográficas, climáticas y forestales de estas regiones, además de la disponibilidad de información de terreno y satelital incluyendo, el análisis de datos de sensores satelitales activos, debido a la alta probabilidad de cobertura nubosa en dichas regiones.

✓ Mejora en la disponibilidad de datos para la estimación de cambio en el reservorio de carbono orgánico en el suelo, donde existen diversos avances.

En el ámbito forestal, el Inventario Forestal Nacional recopila datos de profundidad del suelo, profundidad del humus, pH, color, textura, estructura y condición de humedad entre otros, lo que permitiría tener estimaciones iniciales de emisiones y absorción en los próximos años.

Ejecución de acciones de monitoreo

La ejecución de acciones de monitoreo permite demostrar los resultados de la implementación del enfoque REDD+ en el territorio, los cuales serán reflejados en los Anexos de resultados REDD+ y posteriormente consignados para el proceso de Análisis y Consulta Internacional (ICA) de la Convención, a través de los correspondientes Informes Bienales de Actualización (IBA).

Considerando los avances realizados hasta la fecha, está planificado que las dos primeras acciones de monitoreo sean desarrolladas y reportadas con un enfoque subnacional, abarcando las regiones del Maule, Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos, que cuentan con el NREF/NRF evaluado por la CMNUCC.

Además, estas dos acciones de monitoreo tienen un periodo de análisis cuya extensión temporal se diferencia en las actividades vinculadas a cambios de uso de la tierra y las actividades que se producen en bosque permanente (Figura 7). En ambos casos, la estimación de emisiones se realizará bajo un enfoque subnacional de forma consistente, incluyendo las mismas actividades, reservorios y gases.

La primera acción de monitoreo, cuyos resultados se exponen en el presente documento, abarca los años 2014, 2015 y 2016 para las actividades vinculadas a cambios de uso de la tierra y los años 2011, 2012, 2013, 2014 y 2015 para las actividades que suceden en bosque permanente.

La segunda acción de monitoreo abarca los años 2017 y 2018 para actividades vinculadas a cambios de uso de la tierra y los años 2016, 2017 y 2018 para las actividades que suceden en bosque permanente. Los resultados de la segunda acción de monitoreo serán reportados en 2020.

A partir de 2022 los reportes de monitoreo tendrán un enfoque nacional, a escala regional y serán comparados con el NREF/NRF nacional actualizado. Este reporte de monitoreo informará los años 2019 y 2020 para las actividades vinculadas a cambios de uso de la tierra y de bosque permanente (Figura 7).

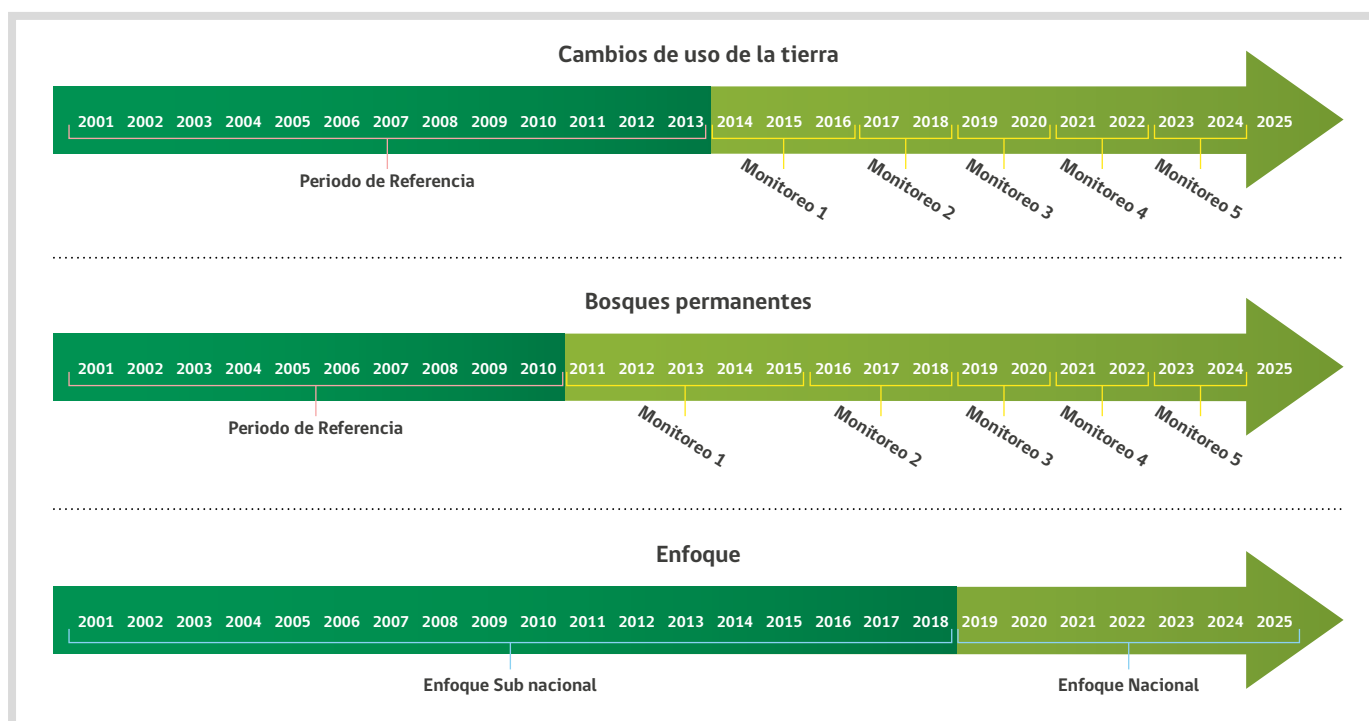


Figura 7. Línea temporal de monitoreo REDD+

La Tabla 3 describe los diferentes periodos a abarcar, actividades, reservorios y gases que serán considerados en los Anexos técnicos de monitoreo a reportar en el marco del tercer IBA de Chile en 2018 y del cuarto IBA de Chile en 2020.

Tabla 3. Alcances de Anexo técnico de resultados REDD+ subnacional

| ANEXO TÉCNICO DE RESULTADOS REDD+ | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| Regiones | | Maule, Biobío, Araucanía, Los Ríos, Los Lagos |
| Año final de elaboración | | 2018 & 2020 |
| Periodo | Cambios de uso | 2013/2016 & 2016/2018 |
| | Bosque permanente | 2010/2015 & 2015/2018 |
| Actividades | Deforestación | ✓ |
| | Degradación Forestal | ✓ |
| | Aumento de Existencias | ✓ |
| | Conservación Forestal | ✓ |
| | Manejo Sustentable de los Bosques | ✗ |
| Reservorio | Biomasa aérea | ✓ |
| | Biomasa subterránea | ✓ |
| | Materia orgánica muerta | ✓ |
| | Hojarasca | ✗ |
| | Carbono Orgánico del Suelo | ✗ |
| Gases | CO ₂ | ✓ |
| | CH ₄ | ✓ |
| | N ₂ O | ✓ |

Financiamiento y sostenibilidad

Para el periodo comprendido entre 2017 y 2020, el SNMF cuenta con un financiamiento internacional orientado a la generación de insumos específicos para la reducción de brechas de información, junto a un financiamiento nacional destinado principalmente a la generación de insumos base como el Catastro Forestal y el Inventario Forestal Nacional, además de la gestión y administración del SMM.

El financiamiento internacional para el SNMF cuenta con varias fuentes principales de recursos. A continuación, se detalla el aporte individual junto con las principales orientaciones de cada fuente:

✓ **Programa Nacional de ONU-REDD, a través de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), realiza un aporte total de US\$248.000 destinados para:**

- Apoyo para la generación del primer reporte de Anexo de resultados de REDD+.
- Apoyo al fortalecimiento del Sistema Nacional de Monitoreo Forestal.
- Aplicación de metodologías y desarrollo de herramientas semiautomáticas para estimación de incertidumbre de los Anexos de resultados REDD+.
- Desarrollo de talleres de sociabilización del SMM de la ENCCRV.

✓ **Fondo Cooperativo de Carbono Forestal, cuya agencia implementadora es el Banco Mundial, aporta un total de US\$900.000 destinados para:**

- Actualización del NREF/NRF a escala subnacional.
- Ampliación y actualización a escala nacional de Mapas de flujos de carbono forestal en bosque permanente.
- Desarrollo de diagramas de densidad para los tipos forestales de mayor relevancia nacional.
- Creación de la Plataforma de Gestión de la Información de la ENCCRV como elemento transversal clave para el almacenamiento, manejo de datos y generación de reportes.

✓ **Proyecto del FMAM SIMEF aporta un total de US\$1.550.000, destinando a una importante fracción del monto total, para:**

- Desarrollo del Mapa Subnacional de cambios de uso de la tierra.
- Actualización de la línea base de Catastro Forestal a nivel de usos de la tierra según las categorías de IPCC.
- Actualizaciones bienales de los mapas de cambios de uso de la tierra.

✓ **Proyecto FMAM MST, realiza un aporte total de US\$800.000, destinando parte del presupuesto para:**

- Contratación de profesionales para el diseño y operación del SNMF.
- Desarrollo del Sistema de Priorización.

Respecto del financiamiento nacional disponible por glosa presupuestaria, para la generación de información base para el SNMF, se registran dos presupuestos principales:

✓ **CONAF dispone de un presupuesto asignado para el desarrollo del Catastro Forestal, sus actualizaciones, mejoras y la gestión del DMEF, que asciende aproximadamente a US\$500.000 anuales.**

✓ **INFOR dispone de un presupuesto aproximado de US\$400.000 anuales para efectuar las actividades vinculadas al Inventario Forestal Nacional.**

La Figura 8 muestra la distribución del aporte porcentual internacional y nacional para el período 2017-2020, según la institución correspondiente.

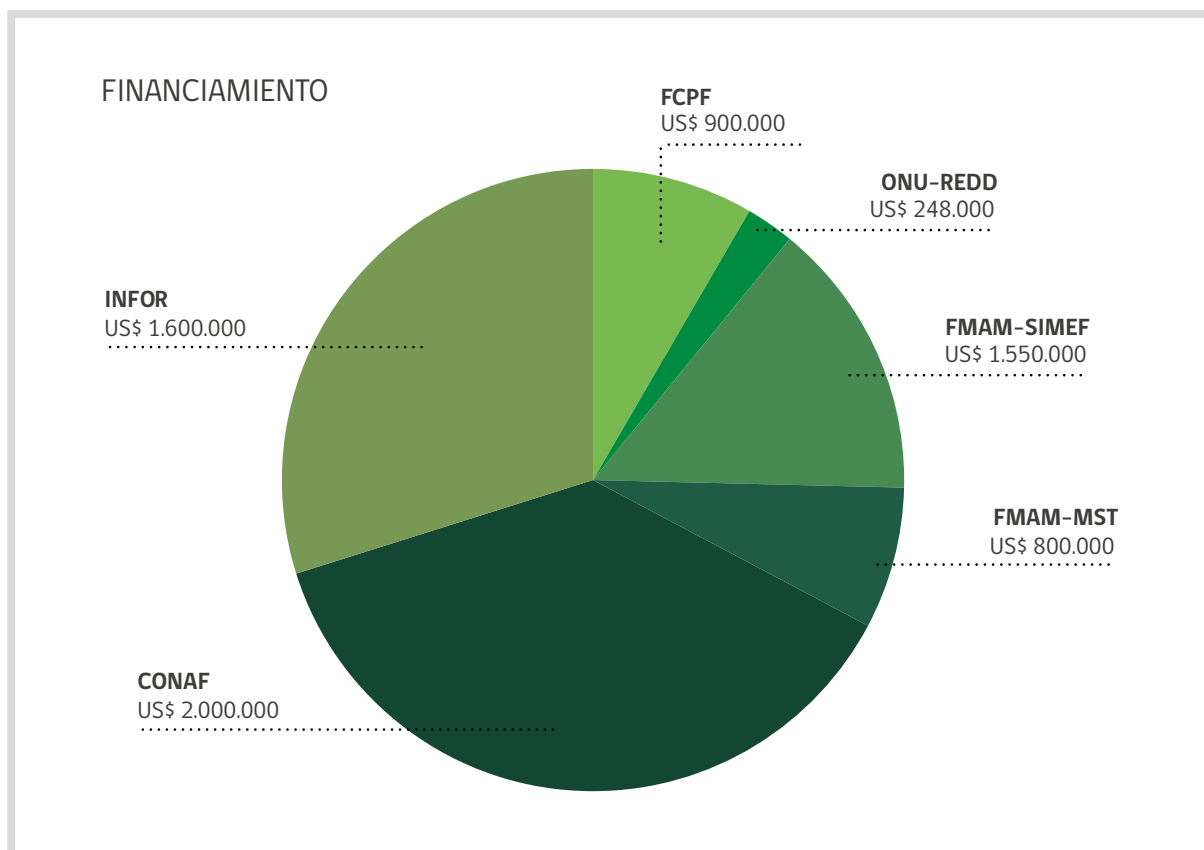


Figura 8. Origen y participación de financiamiento



Metodologías aplicadas

Metodologías aplicadas

Definición de Bosque y actividades REDD+

El NREF/NRF incluye la definición de bosque aplicada y las definiciones operativas de las actividades consideradas. Durante la estimación de resultados, las definiciones aplicadas son las mismas utilizadas en el NREF/NRF.

La definición de la Ley N°20.283 sobre recuperación de Bosque Nativo y Fomento Forestal define **Bosques** como “sitio poblado con formaciones vegetales en las que predominan árboles y que ocupa una superficie de por lo menos 5.000 metros cuadrados, con un ancho mínimo de 40 metros, con cobertura de copa arbórea que supere el 10% de dicha superficie total en condiciones áridas y semiáridas y el 25% en circunstancias más favorables”.

La misma Ley establece la siguiente definición de **Bosque Nativo**: “bosque formado por especies autóctonas, provenientes de generación natural, regeneración natural, o plantación bajo dosel con las mismas especies existentes en el área de distribución original, que pueden tener presencia accidental de especies exóticas distribuidas al azar”.

Bajo el contexto REDD+ se considerará como bosque todas las tierras que están definidas como Bosque Nativo bajo la actual legislación nacional de Chile, manteniendo las siguientes consideraciones de carácter operativo:

01. Bajo el concepto de operatividad de este documento se considerará como bosque aquellas tierras definidas por el Catastro, como Bosque Nativo o Bosque Mixto.
02. En línea con las metas medioambientales que se pretenden promover a través de la ENCCRV, el nivel de referencia no considerará en su contabilidad los flujos de carbono producidos en las áreas consideradas como Plantaciones forestales por el Catastro, las cuales están asociadas a bosques de especies exóticas plantados con un objetivo maderero de carácter industrial.
03. Para cumplir con el concepto de completitud, los flujos de carbono en plantaciones forestales seguirán siendo reportados en el Inventario Nacional de GEI (INGEI).
04. Las nuevas plantaciones forestales serán incluidas en los cálculos futuros, en el caso que estas plantaciones estén destinadas al mantenimiento de la cobertura permanente y sean consistentes con las metas establecidas en la Contribución Nacionalmente Determinada (NDC, siglas en inglés).

A continuación se presenta una definición operativa de las actividades REDD+ consideradas, con el objetivo de aumentar la transparencia.

Deforestación

Transformación de áreas de bosque, en otro uso de suelo de forma permanente o donde no se tenga certeza de cómo y cuándo ocurriría la restitución del bosque.

Consideraciones:

01. No se considerará Deforestación el cambio de uso de suelo de bosque (según la definición expuesta anteriormente) a plantación. Este cambio de uso de suelo se reportará bajo la actividad de Degradación, manteniendo la consistencia con el INGEI.
02. No se considerará como deforestación las áreas desprovistas temporalmente de stock o donde se han extraído árboles, siempre y cuando esté planificada, reportada y documentada una actividad regenerativa natural o asistida.

Degradación Forestal

Toda aquella reducción del contenido de Carbono de un bosque, inducida por el hombre con una intensidad que recomienda el cese de la actividad silvícola pero que no provoca un cambio de uso de la tierra. Adicionalmente, se considerará como degradación forestal todo cambio de uso de la tierra de Bosque a Plantación Forestal.

Consideraciones:

01. Tanto en el NREF/NRF como en el periodo de monitoreo de resultados, el contenido de carbono de las plantaciones después de la transformación desde bosque nativo, será considerado "0" como consecuencia del proceso de eliminación de la vegetación, necesario para el establecimiento de una plantación. La contabilidad de los flujos de carbono en las plantaciones no será incluida en la contabilidad para REDD+, pero sí en el INGEL.
02. Las emisiones de gases No CO₂, producto de incendios forestales se consideran en la actividad de Degradación.
03. No se considerará en la contabilidad de emisiones de la actividad reducción de emisiones por degradación forestal, aquellas emisiones producidas en bosques permanentes bajo procesos formales de conservación. Dichas emisiones se contabilizan en la actividad de conservación forestal.

Aumento de Existencias de Carbono Forestal

Absorción de carbono forestal en áreas sujetas a un cambio de uso de la tierra de no bosque a bosque, Absorción de carbono forestal producto de la recuperación de bosques degradados.

Consideraciones:

01. No se considerará como aumento de existencias de carbono forestal la absorción producida en áreas transformadas de bosque a plantación forestal, pues se considera en la definición de degradación según lo expuesto precedentemente.
02. Se considerará como aumento de existencias de carbono forestal todo cambio de uso de plantación forestal a bosque nativo, permitiendo mantener la consistencia con el concepto de sustitución aplicado a la degradación forestal. Considerando que dicha actividad es un proceso que sucede después de la cosecha de la plantación, se debe considerar que el contenido de carbono previo a la restitución es "0".
03. No se considerarán en la actividad aumento de existencias de carbono forestal, aquellos producidos en bosques que permanecen bosques sujetos a procesos formales de conservación, pues se contabilizan en otras de las actividades.

Conservación Forestal

Contabilidad de emisiones de carbono por degradación forestal en bosque permanente y absorción de carbono por recuperación de bosques degradados en áreas de bosque nativo sujeto a procesos formales de conservación.

Consideraciones:

01. Para la aplicación práctica y bajo la condicionante de la información disponible, se considerarán como bosque nativo sujeto a procesos formales de conservación aquellos identificados por Tipos Forestales de Preservación (Palma Chilena, Alerce y Araucaria), además de las superficies forestales que forman parte del SNASPE y aquellas registradas como Áreas Protegidas de Propiedad Privada (APP) de carácter de Conservación Forestal.

Consideraciones generales sobre la definición de actividades

La reducción de emisiones y absorción producto de las actividades REDD+ , han sido estimadas utilizando metodologías IPCC diferenciadas, entre aquellas que provocan un cambio de uso y subuso de la tierra, y aquellas que se producen en bosques que permanecen como bosques.

La información base disponible y los métodos utilizados, consideran datos de actividad estimados a partir del catastro forestal para actividades de cambio de uso, y la evaluación de mejora o empeoramiento de las condiciones de bosque estimada con un método combinado de técnicas de Teledetección y datos del Inventario Forestal Nacional, para aquellas actividades que se producen en bosque permanente.

Para mantener mayor claridad en este documento, las metodologías serán descritas a nivel sub-actividad, en caso de que sea aplicable, para posteriormente agruparse en la actividad REDD+ correspondiente.

Las actividades relacionadas con cambios de uso o sub-uso de la tierra incluyen:

- **Deforestación:** Transformación de bosque nativo a otros usos de la tierra.
- **Degradación por sustitución:** Transformación de bosque nativo a plantación forestal.
- **Aumento de existencias de carbono por conversión a bosque de otros usos de la tierra:** Transformación de otros usos de la tierra a bosque nativo y transformación de plantación forestal a bosque nativo.

Las actividades y sub-actividades que ocurren en bosque permanente son:

- **Degradación en bosque permanente:** Emisiones en bosque permanente producidas por degradación, incluyendo incendios forestales, extracción de madera y productos no madereros y otras.
- **Aumento de existencias de carbono por recuperación de bosques degradados:** incremento del stock de carbono resultante de la recuperación de bosques degradados.
- **Conservación forestal:** Flujo neto de emisiones en bosque permanente, considerando emisiones por degradación y absorción por la recuperación de bosques degradados, en áreas de conservación formal.

Tabla 4. Estratificación de actividades

| Actividad | Cambio de uso | Bosque permanente |
|------------------------|--|--|
| Deforestación | Transformación de bosque nativo a otros usos de la tierra. | Transformación de bosque nativo a otros usos de la tierra. |
| Degradación Forestal | Transformación de bosque nativo a plantación forestal | Degradación de bosque permanente |
| Aumento de Existencias | Transformación de otros usos de la tierra a bosque nativo | Recuperación de bosques degradados |
| | Trasformación de plantación forestal a bosque nativo | |
| Conservación | | Flujo neto de emisiones en bosque permanente por Degradación de bosque permanente y Recuperación de bosques degradados |

Niveles, enfoques utilizados, depósitos de carbono y GEI considerados

Todas las actividades del NREF/NRF y de este Anexo de resultados de REDD+ utilizan información derivada de datos obtenidos bajo un Enfoque 3 de IPCC, es decir, datos geográficamente explícitos.

Los Niveles utilizados son a menudo una mezcla del nivel 2 y 3, dado que no se cuenta con la información necesaria que permita alcanzar los requerimientos específicos para el Nivel 3. Algunos parámetros utilizados proceden de datos por defecto, Nivel 1.

En cuanto a los depósitos, la biomasa aérea y subterránea es considerada para todas las actividades de REDD+ incluidas en el NREF/NRF y en este Anexo de resultados. La materia orgánica muerta se incluye en las actividades de deforestación, degradación y conservación. No se incluye en el aumento de existencias de carbono forestal porque no se dispone de información sobre la tasa de acumulación de materia orgánica muerta en las zonas convertidas en tierras forestales. Los valores de materia orgánica muerta después de un período de transición (20 años, de acuerdo a IPCC 2006) se incluyen en el bosque permanente.

Tanto en el NREF/NRF, como en este Anexo de resultados REDD+ no se consideran las emisiones de carbono orgánico del suelo debido a la ausencia de datos confiables y estandarizados a nivel nacional, y la inexactitud de las fuentes de información existentes a nivel mundial. La decisión de excluir este reservorio se refuerza en el hecho de que el contenido de carbono del suelo depende de las condiciones locales (en relación con el clima, el tipo de suelo y los factores de gestión), y como resultado, los valores por defecto más generales no son realistas. Además, el país carece de información georreferenciada oficial que permita estimar la relación entre las actividades y el suelo.

No obstante, de acuerdo a la decisión 12/CP.17¹⁵ los reservorios y/o actividades significantes no deben ser excluidas, de igual forma se realizó una estimación de las emisiones de carbono orgánico del suelo causadas por la deforestación, utilizando una metodología basada en datos por defecto (Nivel 1). A través de este ejercicio se determinó que, las emisiones de esta fuente representan el 7,7% del total de las emisiones de biomasa viva y materia orgánica muerta resultantes de la Deforestación¹⁶.



¹⁵ <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2011/cop17/spa/09a02s.pdf>

¹⁶ La herramienta utilizada para estimar las emisiones del Carbono Orgánico del Suelo se encuentra disponible en el link: <http://www.enccrv-chile.cl/index.php/descargas/nivel-de-referencia/62-Anexo-Justificaci%C3%B3n-SOC/file>

Considerando que Chile forma parte de los países participantes en el Fondo de Carbono del FCPF, la exclusión de este grupo se justifica adicionalmente con respecto al cumplimiento del Criterio 4, Indicador 4.1.i del Marco Metodológico del FCPF. Adicionalmente, esta decisión se fundamenta en el indicador 4.2.ii; "el reservorio excluido subestima la reducción de emisiones"¹⁷.

En la Tabla 5 se describen las actividades, sub-actividades, niveles, reservorios y GEI incluidos en las estimaciones del NREF/NRF y de este Anexo de resultados REDD+.

Tabla 5. Niveles, depósitos de carbono y GEI considerados para cada actividad de REDD+ en el NREF/NRF y en el Anexo de resultados REDD+.

| Actividad REDD+ | Sub-actividad | Nivel | Depósito de Carbono | GEI Incluido |
|--|------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|-----------------|
| Deforestación | | 3 | Biomasa Aérea | CO ₂ |
| | N/A | 2 | Biomasa Subterránea | |
| | | 3 | Materia Orgánica Muerta | |
| Degradación Forestal | Degradación en Bosque Permanente | 3 | Biomasa Aérea | CO ₂ |
| | | 2 | Biomasa Subterránea | |
| | | 3 | Materia Orgánica Muerta | |
| | Sustitución | 3 | Biomasa Aérea | CO ₂ |
| | | 2 | Biomasa Subterránea | |
| | | 3 | Materia Orgánica Muerta | |
| Incendios Forestales | 1 | Emisiones por combustión | CH ₄ - N ₂ O | |
| Conservación Forestal | N/A | 3 | Biomasa Aérea | CO ₂ |
| | | 2 | Biomasa Subterránea | |
| | | 3 | Materia Orgánica Muerta | |
| Aumento de las Existencias de Carbono Forestal | Rehabilitación de Bosque Degradado | 3 | Biomasa Aérea | CO ₂ |
| | | 3 | Biomasa Subterránea | |
| | Restitución | 3 | Biomasa Aérea | |
| | | 3 | Biomasa Subterránea | |
| | Incremento de área forestal | 3 | Biomasa Aérea | |
| | | 3 | Biomasa Subterránea | |

Métodos para la estimación de emisiones y absorciones

De acuerdo con la estructura de actividades y sub-actividades, la construcción de este Anexo de resultados REDD+, así como del NREF/NRF, se ha desarrollado a través de dos metodologías diferentes:

01. Actividades que impliquen un cambio de uso o sub-uso de la tierra, donde aplica el método de ganancias y pérdidas, y
02. Actividades que ocurren en bosques permanente, donde se aplica el método de cambio de reservas de carbono (stock change).



¹⁷ <https://www.forestcarbonpartnership.org/sites/fcp/files/2016/July/FCPF%20Carbon%20Fund%20Methodological%20Framework%20revised%202016.pdf>

Cambios de uso o sub-uso de la tierra¹⁸

→ Deforestación

La metodología para calcular las emisiones de deforestación de Chile se basa en las ecuaciones del IPCC 2006¹⁹ para tierras forestales convertidas a otras tierras, que también son utilizadas en el INGEI para el cálculo de emisiones de bosques convertidos a otros usos de la tierra. Se incluye los reservorios de biomasa aérea, biomasa subterránea y materia orgánica muerta.

Para la estimación en tCO₂e, se usa la siguiente ecuación:

$$EmGEI_{Def} = \frac{\sum_t \Delta C_{B_t,Def}}{p} * \frac{44}{12}$$

Ec. 1

Dónde:

$EmGEI_{Def}$ = Promedio anual de pérdidas de existencias de carbono de bosque convertido a otros usos de la tierra (Deforestación: Def) durante el periodo de análisis, en tCO₂e año⁻¹.

$C_{B_t,Def}$ = Cambio en las existencias de carbono en bosque convertido a otros usos de la tierra en año t del periodo de análisis, en t C.

p = Años del periodo de análisis.

$\frac{44}{12}$ = Factor para convertir carbono a dióxido de carbono equivalente, tCO₂e t C⁻¹.

Como se recomienda en el IPCC (2006), la Ecuación 2 (Ec. 2.15 IPCC, 2006) es utilizada para calcular el cambio anual de existencias de carbono en bosque convertido a otras categorías de uso de la tierra en la biomasa (en el caso de deforestación, cualquier área de bosque convertida a no bosque):

$$\Delta C_{B_t,Def} = \Delta C_{G_t} + \Delta C_{CONVERSION_t} - \Delta C_{L_t}$$

Ec. 2 (Ec. 2.15 IPCC, 2006)

Dónde:

$\Delta C_{B_t,Def}$ = Cambio en las existencias de carbono en bosque convertido a otros usos de la tierra en año t del periodo de análisis, en ton C.

ΔC_{G_t} = Aumento anual de existencias de carbono debido a la absorción en áreas de bosque convertido a otros usos de la tierra en el año t, en ton C

$\Delta C_{CONVERSION_t}$ = Cambio inicial en existencias de carbono en biomasa por la conversión de bosque a otros usos de la tierra en el año t, en ton C.

ΔC_{L_t} = Pérdida anual de existencias de carbono en la biomasa producto de disturbios en áreas tierras forestales convertidas a no bosque en el año t, en ton C.

En esta ecuación, se suman los cambios en existencias de carbono de las ganancias y pérdidas debidos a cualquier actividad aparte de la conversión (ΔC_G y ΔC_L) y la ganancia o pérdida neta, debida directamente a la conversión para calcular el cambio total de existencias de carbono ($\Delta C_{CONVERSION}$); en el caso de deforestación, generalmente resulta en un valor negativo dado la pérdida de existencias de carbono del bosque.

Para la estimación de emisiones de deforestación de Chile, el parámetro ΔC_G que representa las capturas de carbono de los usos no bosque después de la conversión (agrícola, urbano, otros), se estimará con un valor igual a cero, ya que no incide en el análisis de la pérdida por deforestación.

La Ecuación 3 (Ec. 2.16 IPCC, 2006) calcula el parámetro $\Delta C_{CONVERSION}$ para inclusión en la Ecuación 2:



¹⁸ BD Mapa UTCUTS = https://www.enccrv-chile.cl/images/REDD/herramientas/BD_Mapa_UTCUTS.xlsx

¹⁹ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2006). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use.

$$\Delta C_{CONVERSION_t} = \sum_i \{ (B_{AFTER_i} - B_{BEFORE_i}) * \Delta A_{TOOTHERS_{it}} \} * CF$$

Ec. 3 (Ec. 2.16 IPCC, 2006)

Dónde:

B_{AFTER_i} = Existencia de biomasa en tipo de uso de la tierra no bosque i después de la conversión, en ton de biomasa seca por hectárea

B_{BEFORE_i} = Existencia de biomasa en el tipo de bosque i antes de la conversión, en ton de biomasa seca por hectárea

$\Delta A_{TOOTHERS_{it}}$ = Área de tipo de bosque i convertida a no bosque en el año t, en hectáreas

CF = Fracción de carbono en biomasa seca, en ton de carbono por ton de biomasa seca

En el caso de deforestación, estas ecuaciones se pueden representar con dos insumos esenciales: el área de bosque convertida a otros usos ($\Delta A_{TOOTHERS_i}$), frecuentemente llamado Datos de Actividad (DA), y la cantidad de existencias de carbono emitido debido a la conversión ($B_{AFTER_i} - B_{BEFORE_i}$), frecuentemente llamada Factores de emisión (FE).

El cálculo del depósito de materia orgánica muerta se realiza mediante la Ecuación 4:

$$\Delta C_{DOM_t} = \frac{(C_n - C_o) * A_{on_t}}{T_{on}}$$

Ec. 4 (Ec. 2.23 IPCC, 2006)

Dónde:

ΔC_{DOM_t} = Cambio en existencias de carbono en materia orgánica muerta en el año t, ton C

C_n = Existencias de carbono de madera muerta y materia orgánica muerta en el uso de la tierra no bosque después de la conversión, ton C año⁻¹

C_o = Existencias de carbono de madera muerta y materia orgánica muerta de bosque antes de la conversión a no bosque, ton C año⁻¹

A_{on_t} = Área convertida de bosque a no bosque en el año t, hectáreas

T_{on} = Periodo de tiempo de la transición de bosque a no bosque

En esta ecuación, A_{on} corresponde al dato de actividad, de acuerdo al parámetro ($\Delta A_{TOOTHERS_i}$), de la ecuación 2.16 de IPCC, descrita arriba. Para la estimación se aplica un tier 1, que considera que toda la pérdida de materia orgánica se hace en el año de la conversión y se considera que el valor es 0 (cero) para los usos que no son bosques.

→ Degradación por conversión de bosque nativo en plantación forestal

Para estimar degradación de bosques nativos convertidos a plantaciones, se usa Ecuación 5 (Ec. 2.5 IPCC, 2006), que se recomienda para flujos en usos de suelo que permanecen como tal:

$$\Delta C_{B_t, DegFNF} = \frac{(C_{t_2} - C_{t_1})}{(t_2 - t_1)}$$

Ec. 5 (Ec. 2.5 IPCC, 2006)

Dónde:

$\Delta C_{B_t, Deg}$ = Cambio anual en las existencias de carbono en bosque nativo convertido a plantación forestal, considerando el área total, bajo la actividad de degradación (Deg_{FNF}), ton C

C_{t_2} = Carbono total de bosque en año t_2 , ton C

C_{t_1} = Carbono total de bosque en año t_1 , ton C

→ Incremento de superficie forestal

Al igual que en las otras actividades, la metodología para este Anexo de resultados REDD+, así como para el NRF de aumento de existencias en otras tierras convertidas a bosques es congruente con la metodología utilizada en el INGEI, la cual se basa en las ecuaciones 2.9, 2.10, y 2.15 del IPCC (2006).

Para calcular el cambio anual en existencias de carbono en biomasa aérea y subterránea (los únicos reservorios que se incluyen en las estimaciones de aumentos) y en tierras convertida a otro uso de la tierra, en este caso de otros usos de la tierra a bosque, se aplica la Ecuación 6 (Ec. 2.15, IPCC 2006) que corresponde al Tier 2 y 3:

$$\Delta C_{B_t,ANFF} = \Delta C_{G_t} + \Delta C_{CONVERSION_t} - \Delta C_{L_t}$$

Ec. 6 (Ec. 2.15, IPCC 2006)

Dónde:

- $\Delta C_{B_t,ANFF}$ = Cambio en las existencias de carbono en año t, en tierras convertidas a bosque durante el periodo de referencia, en ton C
- ΔC_{G_t} = Aumento en las existencias de carbono debido a la absorción en tierras convertidas a bosque en el año t, en ton C
- $\Delta C_{CONVERSION_t}$ = Cambio inicial en las existencias de carbono en tierras convertidas a bosque en el año t, en ton C
- ΔC_{L_t} = Aumento en las existencias de carbono debido a la absorción en tierras convertidas a bosque en el año t, en ton C

Tanto en este Anexo de resultados REDD+, como en el NRF de aumentos, se aplica el supuesto que ΔC_{L_t} es igual a cero, debido a la falta de datos suficientes para cuantificarlas pérdidas en áreas no bosque que se convierten a bosque. Para el parámetro $\Delta C_{CONVERSION_t}$ se usa la Ecuación 7 (Ec. 2.16 (IPCC 2006):

$$\Delta C_{CONVERSION_t} = \sum_i \{ (B_{AFTER_i} - B_{BEFORE_i}) * \Delta A_{TOOTHERS_{i,t}} \} * CF$$

Ec. 7 (Ec. 2.16 (IPCC 2006)

Para el incremento debido al crecimiento del bosque ΔC_{G_t} , en este Anexo de resultados REDD+ y en el NRF de aumentos, contabiliza la absorción en las áreas que se convierten en bosque durante el período de referencia y el periodo de monitoreo. Por ejemplo, un área que se convierte en bosque en el primer año del período de referencia sigue aumentando sus existencias de carbono en el segundo, tercero, y los demás años del período de referencia, así como en los años incluidos en el periodo correspondiente al Anexo de resultados. Los aumentos en el segundo año, que proceden de las áreas convertidas a bosque en el primer año se contabilizan en el segundo año, junto con la absorción en la superficie convertida a bosque en el segundo año. De esta manera, la absorción sigue acumulándose, siempre contabilizada bajo la actividad de aumentos de existencias de carbono forestal, y no pasa a la categoría de bosque permanente.

La Ecuación 2.9 del IPCC (2006), calcula la absorción de carbono anual, pero no considera las capturas que siguen acumulándose en el estrato "i" convertido a bosque en años anteriores, tanto durante el periodo de referencia como durante el periodo de monitoreo. Para incluir esta absorción se aplica la Ecuación 8 (adaptada de la Ec. 2.9 IPCC, 2006):

$$\Delta C_{G_t} = \sum_i \sum_x (A_{i,x} * G_{TOTAL_i} * CF)$$

Ec. 8 (adaptada de la Ec. 2.9 IPCC, 2006)

Dónde:

- ΔC_{G_t} = Aumento en las existencias de carbono en año t, debido a crecimiento en tierras convertidas a tipo de bosque i, en ton C
- $A_{i,x}$ = Área convertida a bosque i en el año x en hectáreas
- G_{TOTAL_i} = Promedio anual de crecimiento de la biomasa en tierras convertidas a tipo de bosque i, ton materia seca (d.m.) ha⁻¹ año⁻¹
- CF = Fracción de carbono de materia seca, ton C (ton d.m.)⁻¹

La Ecuación 8 toma en cuenta que para calcular $\Delta C_{G_i,t}$ en el año t, hay que sumar las capturas que vienen de áreas convertidas en cada año x antes del año t, tanto del periodo de referencia como del periodo de monitoreo, junto con capturas que vienen de áreas convertidas a bosque en el año t. En el caso de que un bosque llegue a la edad adulta y termine de capturar CO₂ de la atmosfera, se eliminaría de la contabilidad de aumentos. Sin embargo, de acuerdo a los datos del Inventario Forestal Nacional y el INGEI se considera que el equilibrio en bosque nativo se alcanza cuando el diámetro medio cuadrático llega a los 60 centímetros, que generalmente supondrían periodos superiores a 80 o 100 años, por lo que no aplicaría en el análisis que abarca información referente al periodo 2001–2016.

→ **Bosque permanente**²⁰

Para estimar el cambio en las existencias de carbono en bosque permanente, debido a la degradación o a la recuperación de bosques degradados, se utiliza la Ec. 9 (Ec. 2.5 IPCC, 2006):

$$\Delta C_{Bt,FF} = \frac{(C_{t_2} - C_{t_1})}{(t_2 - t_1)} \quad \text{Ec. 9 (Ec. 2.5 IPCC, 2006)}$$

Para estimación de este Anexo de resultados, así como del NREF/NRF, se utiliza la metodología descrita en Bahamondez *et al.* (2009)²¹. Esta metodología contabiliza las existencias de carbono en puntos de tiempo diferentes y estima aquellos flujos que son asociados a degradación forestal y aquellos asociados a recuperación de bosques degradados.

Para calcular las existencias de carbono en el momento inicial y final del periodo de monitoreo se utiliza la ecuación 10:

$$C_t = A_{FF,act} * EF * CF \quad \text{Ec. 10}$$

Dónde:

- C_t = Carbono total de bosque en año t, ton C
- A_{FF,act} = Área de bosque permanente en degradación o recuperación de bosque (FF, act), ha
- EF = Existencias de carbono en el bosque, ton biomasa ha⁻¹
- CF = Fracción de carbono, ton carbono ton biomasa⁻¹

Para el caso de conservación forestal, la estimación se calcula restando las emisiones de la degradación forestal en bosque permanente de la absorción por recuperación de los bosques degradados dentro de áreas de conservación formales, aplicando la Ecuación 11 (Ec. 2.4 IPCC, 2006).

$$\Delta C_{Bt,ConFF} = \Delta C_{Bt,FF_Ab} - \Delta C_{Bt,FF_Em} \quad \text{Ec. 11 (Ec. 2.4 IPCC, 2006)}$$

Dónde:

- $\Delta C_{Bt,ConFF}$ = Cambio anual de las existencias de carbono en tierras forestales sujetas a procesos de conservación formales en el año t, en ton C
- $\Delta C_{Bt,FF_Ab}$ = Cambio anual de las existencias de carbono por recuperación de bosques degradados en áreas de conservación formales, en ton C año⁻¹
- $\Delta C_{Bt,FF_Em}$ = Cambio anual de las existencias de carbono por degradación forestal en áreas de conservación formales, en ton C año⁻¹

²⁰ Base de datos raster: https://www.enccrv-chile.cl/images/REDD/Base_de_datos/ContenidoCO2.zip ; txt: https://www.enccrv-chile.cl/images/REDD/Base_de_datos/CO2_2010_2015_BoEstable2013_2016.zip

²¹ Bahamondez, C., Martin, M., Muller-Using, S., Rojas, Y., Vergara, G., 2009. Case Studies in Measuring and Assessing Forest Degradation: An Operational Approach to Forest Degradation. (Forest Resources Assessment Working Paper). Forestry Department, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

→ Emisiones no-CO₂ de incendios forestales

La metodología de Bahamondez *et al.* (2009) solo estima emisiones de CO₂, entonces para calcular las emisiones no-CO₂ de incendios forestales se utiliza la Ec. 12 (Ec. 2.27 IPCC, 2006):

$$L_{fire} = A * M_B * C_f * G_{ef} * 10^{-3}$$

Ec. 12 (Ec. 2.27 IPCC, 2006)

Dónde:

L_{Fire} = Cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero distintos al CO₂ provocada por el fuego, ton de cada gas GEI año⁻¹

A = Superficie quemada, ha año⁻¹

M_B = Masa de combustible disponible para la combustión, ton ha⁻¹.

C_f = Factor de combustión, sin dimensión

G_{ef} = Factor de emisión, g kg⁻¹ de materia seca quemada

Para convertir L_{Fire} a CO₂e se utiliza la ecuación 13:

$$GEI_{fire} = L_{fire} * CF$$

Ec. 13

Dónde:

CF = Factor de conversión del gas no-CO₂ a CO₂e, ton gas no-CO₂ ton CO₂e⁻¹ y que corresponden a los valores de 28 para CH₄ y 265 para N₂O (IPCC, 2013).

Metodología aplicada para la estimación de datos de actividad

Como se explica anteriormente, los datos de actividad fueron calculados usando diferentes fuentes de información, de acuerdo a las características de las actividades REDD+ especificadas, con el objetivo de aplicar las metodologías de mayor precisión, exactitud y exhaustividad posible. Este capítulo describe los métodos aplicados para estimar los datos de actividad para cada grupo de actividades consideradas, relacionadas con el cambio de uso o sub-uso de la tierra y aquellas que ocurren en bosque permanente.

Cambios de uso de la tierra

Tanto en el NREF/NRF como en este Anexo de resultados de REDD+, se estimó el área de bosque nativo convertido a otros usos (tierras agrícolas, pastizales y/o asentamientos, plantaciones forestales) y las conversiones de otros usos de la tierra a bosques nativos en base a mapas regionales de uso y cambio de uso de las tierras.

→ Categorías de uso y cambios de uso de la tierra

Cada mapa contiene el uso de la tierra de acuerdo con las categorías especificadas en el Manual del Catastro²², las cuales fueron reasignadas a diferentes categorías en el mapa de cambios de uso. De acuerdo con la estimación del uso de la tierra y el cambio, las áreas afectadas fueron establecidas para cada actividad REDD+ como se especifica en la Tabla 6. Esta sección incluye la estimación de la superficie deforestada, la superficie degradada por conversión de bosque nativo en plantaciones forestales y la superficie de incremento de superficie forestal, descritas anteriormente.

²²

Manual de Catastro disponible en: <http://www.enccrv-chile.cl/index.php/descargas/nivel-de-referencia/63-Anexo-Manual-Catastro-1995/file>

Tabla 6. Usos de la tierra registrados por el Catastro, reasignación de categorías y definición de actividad y sub-actividad REDD+

| Uso de la Tierra de Catastro | Uso Inicial | Uso Final | Sub-actividad | Actividad REDD+ |
|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|---|------------------------|
| Bosque Nativo | Bosque Nativo | Plantaciones | Conversión de bosque nativo a plantación forestal | Degradación |
| Bosque Mixto | | Otros usos de la Tierra | Deforestación | Deforestación |
| Matorral Arborescente* | | Bosque Nativo | N/A | N/A |
| Plantaciones | Plantaciones | Plantaciones | N/A | N/A |
| | | Otros usos de la Tierra | N/A | N/A |
| | | Bosque Nativo | Restitución | Aumento de existencias |
| Áreas Urbanas e Industriales | Otros usos de la Tierra | Bosque Nativo | Incremento superficie forestal | Aumento de existencias |
| Tierras agrícolas | | | | |
| Matorral y Praderas** | | | | |
| Humedales | | Plantaciones | N/A | N/A |
| Áreas desprovistas de vegetación | | | | |
| Nieves y glaciares | | | | |
| Cuerpos de agua | | Otros usos de la Tierra | N/A | N/A |

*Como se explica en el NREF/NRF, debido a un cambio en los criterios legales y operativos de definición de bosque nativo, las áreas calificadas por el Catastro base de 1997 y las actualizaciones posteriores como Matorral Arborescente, constituyen bosque de acuerdo a sus características de cobertura, composición y superficie mínima. Sin embargo, durante el desarrollo del Mapa de Cambios de Uso de la Tierra 2013/2017, se aplican los criterios operativos y legales de forma ajustada a las definiciones actuales, por lo que las áreas identificadas como Matorral Arborescente, sí corresponden a este uso de la tierra.

**Incluido el Matorral arborescente para el caso de los mapas utilizados en la elaboración de este Anexo de resultados de REDD+.

→ Tratamiento del matorral arborescente

Producto de la modificación de criterios operacionales de catastro en las actualizaciones utilizadas en los mapas correspondientes al NREF/NRF, así como los criterios legales anteriores a la Ley N°20.283 de 2008, que establecían parámetros de cobertura, composición, superficie mínima y altura promedio, diferentes a los establecidos legalmente a partir de 2008 y aplicados operacionalmente por catastro a partir de 2013, se considera que las superficies categorizadas como matorral arborescente en el NREF/NRF pueden conformar bosque nativo, así como también matorral arborescente.

Sin embargo, todas las superficies categorizadas en los mapas utilizados en este Anexo de resultados REDD+ como matorral arborescente, donde se aplican los criterios operativos y legales actualizados de forma consistente, no conforman bosque nativo en ningún caso.

Esta complejidad, por lo tanto, requiere de un tratamiento específico de la categoría de uso de la tierra matorral arborescente para evitar una sobreestimación o subestimación de emisiones o emisiones reducidas producto de un cambio de criterios operativos o legales.

En este sentido se establecieron los siguientes criterios:

01. La superficie considerada como matorral arborescente en los mapas utilizados en el NREF/NRF estaba integrada dentro de la categoría de bosque nativo. Sin embargo, para los mapas utilizados en este Anexo de resultados REDD+ se categoriza como otros usos de la tierra.
02. Los cambios de uso desde matorral arborescente a otros usos de la tierra distintos al uso bosque nativo no son considerados como deforestación. Sin embargo, la conversión de bosque nativo a matorral arborescente, sí es considerada dentro de esta actividad.
03. La conversión de matorral arborescente a plantación, así como de plantación a matorral arborescente, se categoriza en los mapas como otros usos de la tierra que permanecen como otros usos de la tierra.
04. La conversión de matorral arborescente a bosque nativo es considerada como superficie de incremento de bosque nativo.

→ Tratamiento del incremento de superficie forestal

Para el caso específico de la actividad de aumento de existencias, en el caso de la estimación de datos de actividad de incremento de la superficie forestal durante el periodo de monitoreo correspondiente al presente Anexo de resultados REDD+, es importante considerar que se utilizan los siguientes supuestos:

01. Se considera que, el periodo entre la conversión a bosque de una superficie procedente de otros usos de la tierra hasta el momento en que el bosque nativo alcanza el periodo de madurez, y por lo tanto la estabilidad entre emisiones y absorción, se alcanza cuando el diámetro cuadrático medio (DCM) llega a los 60 centímetros, que generalmente supondrían periodos superiores a 80 o 100 años.
02. Para mantener la consistencia con el INGEI y con el NREF/NRF, aquella superficie convertida a bosque desde otros usos de la tierra durante el periodo de referencia, no será considerada como áreas de bosque permanente, sino que será agregada a la superficie de otros usos de la tierra convertida a bosque durante el periodo de monitoreo, conformando el dato de actividad para la estimación de absorción por incremento de superficie forestal.
03. Se excluye del área de incremento de superficie forestal, aquella superficie convertida a bosque durante el periodo de referencia que fue deforestada o convertida a plantación forestal durante el periodo de monitoreo, ya que se considera dentro de las actividades deforestación y degradación forestal respectivamente.
04. Para evitar incurrir en errores de doble contabilidad, se excluye del área de incremento de superficie forestal procedente del periodo de referencia, aquella superficie considerada en el NREF/NRF como incremento de superficie forestal por la conversión desde otros usos de la tierra a matorral arborescente y que, en los mapas utilizados en este Anexo de Resultados de REDD+, se categorizan como matorral arborescente convertido a bosque nativo.

→ Elaboración de mapas de uso y cambio de uso de la tierra²³

Para el caso del NREF/NRF subnacional de Chile, la fuente de los datos de actividad para las actividades relacionadas con cambios de uso de la tierra fue el Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales de Chile que es actualizado en periodos diferentes para cada región. Para ello se cuenta con mapas regionales existiendo al menos tres mapas de cobertura de usos de la tierra para cada región. Además, la región de Los Lagos es dividida en dos secciones geográficas, debido a que existe una actualización en 2006 únicamente para el sector norte de la región.

La metodología empleada para realizar la clasificación del uso de la tierra y de las distintas formaciones vegetales en el Catastro, se denomina Carta de Ocupación de Tierras, COT, metodología desarrollada por el Centro de Estudios Fitosociológicos y Ecológicos Louis Emberger (CEPE de Montpellier), y adaptada por Etienne y Prado (1982).

La metodología COT describe la vegetación a través de los parámetros de: Formación vegetal o forma de vida, estructura, cobertura, altura y especies dominantes. En tanto el uso, corresponde al uso del suelo que está siendo ocupado por eventos antrópicos o naturales al momento de la detección con sensores remotos y/o visitas a terreno, correspondientes a cuerpos de agua, humedales, nieves, áreas urbanas, terrenos agrícolas, terrenos desprovistos de vegetación. Los usos son delimitados mediante interpretación visual de imágenes de alta resolución espacial y verificados mediante intensas campañas de terreno en las que se visitan el total de polígonos de cambio de uso identificados y un 10% de los polígonos correspondientes a bosque permanente. Esta descripción es objetiva, evitando realizar interpretaciones sobre una determinada cualidad del bosque, por ejemplo bosque degradado, bosque maderero o bosque de protección.

La estimación de datos de actividad de cambios de uso de la tierra para este Anexo de resultados de REDD+ se realizó en base a un nuevo mapa de cambios de uso, que guarda consistencia con los criterios aplicados en los mapas de cambio de uso utilizados para la estimación de datos de actividad del NREF/NRF subnacional.

El mapa de cambios de uso utilizado en este Anexo de resultados de REDD+ aplica la metodología Análisis de Cambio Integrado de Múltiples Índices (MIICA, siglas en inglés), (Jin *et al.*, 2013)²⁴ en combinación con los mapas de cambios de uso utilizados en el NREF/NRF. El proceso para la elaboración del mapa de cambios de uso se describe con detalle en el "Protocolo Mapa de Cambio de Uso de la Tierra"²⁵.



²³ Mapas disponibles en: https://www.enccrv-chile.cl/images/REDD/Base_de_datos/CUT.zip

²⁴ Jin, S., Yang, L., Danielson, P., Homer, C., Fry, J., y Xian, G. (2013). A comprehensive change detection method for updating the National Land Cover Database to circa 2011. *Remote Sensing of Environment*, 132, 159-175.

²⁵ Disponible en https://www.enccrv-chile.cl/images/REDD/doc_anexos/Protocolo%20Mapa%20de%20Cambio%20de%20Uso%20de%20la%20Tierra.pdf

El primer paso para la construcción del mapa de cambio, consiste en la elaboración de mosaicos libres de nubes y sombras para el año inicial y año final con imágenes Landsat 8. Este proceso se desarrolla con el apoyo de la herramienta Google Earth Engine, a través de códigos de programación que establecen criterios para el uso de los píxeles de imágenes cuyo rango temporal corresponde a los meses entre octubre de 2013 y enero de 2014, para los mosaicos de año inicial de las regiones del Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos; y un rango de noviembre de 2014 a marzo de 2015, marzo de 2015 para el mosaico del año inicial de la Región del Maule.

El mosaico del año final, se elabora con píxeles de imágenes capturadas en el rango temporal de noviembre de 2016 a enero 2017 para todas las regiones (Tabla 7). La diferencia de fechas para la construcción de mosaico inicial en la región del Maule, se debe a que la última actualización de catastro se realizó en una fecha distinta al resto de las regiones.

Tabla 7. Fechas de ventanas temporales utilizadas para la elaboración de los mosaicos libres de nubes y sombras.

| Mosaico año inicial | | | Mosaico año final | |
|---------------------|------------|------------|-------------------|------------|
| Región | Desde | Hasta | Desde | Hasta |
| Maule | 01/11/2014 | 31/03/2015 | 01/11/2016 | 31/12/2016 |
| Biobío | 01/10/2013 | 31/01/2014 | 01/11/2016 | 31/12/2016 |
| La Araucanía | 01/10/2013 | 31/01/2014 | 01/11/2016 | 03/01/2017 |
| Los Ríos | 01/10/2013 | 31/01/2014 | 01/11/2016 | 03/01/2017 |
| Los Lagos | 01/10/2013 | 31/01/2014 | 01/11/2016 | 31/12/2016 |

En el siguiente paso se aplica el método MIICA adaptado, para identificar áreas de cambio de cobertura y dirección (aumento o disminución de cobertura), a través de la identificación de variaciones en los valores del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, siglas en inglés) y el Índice de Calcinación Normalizado (NBR, siglas en inglés) entre el mosaico inicial y final.

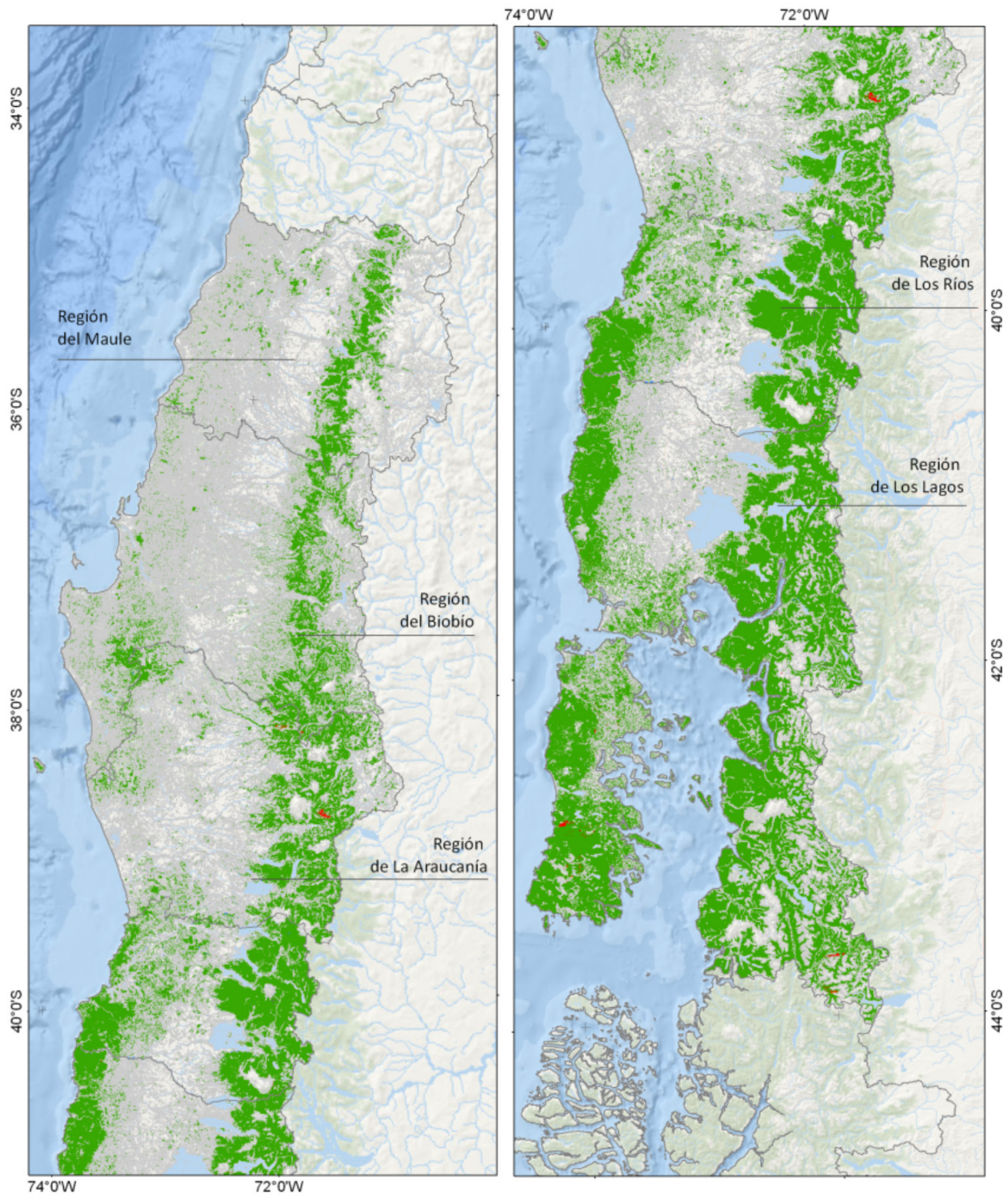
Sin embargo, los cambios de cobertura, no siempre se corresponden con los cambios de uso de la tierra, por lo que parte importante del trabajo desarrollado consistió en establecer umbrales de cambio, que permitieran definir los rangos de intensidad de cambio asociados a cambio de uso de la tierra. Este proceso se realizó de forma empírica aplicando diferentes rangos de variación de ambos índices con fundamento estadístico y científico, para establecer la combinación de umbrales de mayor precisión de acuerdo al análisis de áreas de control previamente definidas.

Una vez identificados los polígonos de cambio de uso, estos son señalados sobre la última actualización del Catastro Forestal disponible para cada región, lo que permite establecer el uso inicial de la totalidad de la superficie de análisis.

Para establecer las categorías de uso de la tierra correspondientes al uso final de los polígonos de cambio, se aplica, sobre el mosaico correspondiente al año final, el algoritmo de clasificación Random Forest, clasificador de coberturas que utiliza árboles de decisión como clasificadores base, donde cada árbol (o clasificador) contribuye con un voto para la asignación de la clase más frecuente (Breiman, 2001).

Como proceso final, se integra una cobertura vectorial en base a la última actualización de catastro disponible, para aquellas áreas que mantienen el uso y se agregan los polígonos de cambio identificados, estableciendo las categorías de uso en forma concordante con las categorías de uso del catastro y de los mapas de cambio de uso utilizados en el NREF/NRF (Figura 9).

En la Tabla 8 se comparan los métodos aplicados para la estimación de datos de actividad asociados a cambios de uso de la tierra en el NREF/NRF y en este Anexo de resultados REDD+. Como se puede identificar los métodos aplicados han variado con el objetivo de reducir la periodicidad de actualización y los costos de elaboración de los mapas, sin embargo, las metodologías mantienen la consistencia al utilizar las mismas categorías de uso y definiciones de criterios operativos.



Actividades relacionadas a otros usos de la tierra

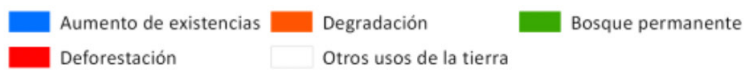


Figura 9. Mapa de actividades y sub- actividades REDD+

Tabla 8. Comparación de métodos utilizados en la estimación de datos de actividad asociados a Cambios de Uso de la Tierra (CUT) en el NREF/NRF y en el Anexo de Resultados de REDD+.

| Datos de actividad CUT 2001/2013 | | Datos de actividad CUT 2013/2017 |
|--|---|---|
| Fuente de información base | Mapas de Cambio con base en Catastro | Mapas de Cambio con base en Catastro |
| Institución | CONAF, Departamento de Monitoreo | CONAF, Departamento de Monitoreo |
| Imágenes satelitales utilizadas | Alta resolución: Formosat, Spot, RapidEye | Media resolución: Landsat 7 |
| Metodología de análisis de imágenes | Visual | Digital |
| Método de validación | Visita de polígonos de cambio en terreno | Revisión de polígonos de cambio en base a imágenes de alta resolución |
| Proceso análisis | Análisis visual y edición manual de polígonos de Actualización previa de Catastro sobre imágenes satelitales de alta resolución | Identificación de áreas de cambio de cobertura mediante análisis digital de imágenes Landsat, Método Multiíndices; selección de criterios para establecer cambios de uso; integración y ajustes de cambios sobre Actualización más reciente de catastro |
| Proceso de validación | Validación de cambios mediante visita a terreno del 100% de polígonos de cambios de bosque y del 10% de otras categorías | Validación de cambios mediante análisis visual de 100% de polígonos de cambio en base a imágenes satelitales de alta resolución. |

→ **Definición de periodos**

Para propósitos de consistencia temporal entre los mapas de las distintas regiones, el periodo de referencia se estableció entre 2001 y 2013 para las actividades asociadas a cambios de uso de la tierra en el NREF/NRF. Para alcanzar la consistencia en el periodo de referencia se aplicó un método que permite la interpolación de las emisiones y absorciones de los datos de los diferentes mapas para las fechas del periodo de referencia utilizando la siguiente ecuación:

$$A_i = \frac{A_{p1} - A_{p1} \left(\frac{b_{p1}}{t_{p1}} \right) + A_{p2} - A_{p2} \left(\frac{b_{p2}}{t_{p2}} \right)}{t_{p1} + t_{p2} - b_{p1} - b_{p2}}$$

Ec. 14

Dónde:

- A_i = Superficie anual de cambio (ha)
- A_p = Superficie de cambio en el periodo p (ha)
- b = Tiempo de interpolación (años; ej. Si la interpolación es entre 2013 y 2015, b = 2)
- t = Tiempo del periodo p (años)

Para el año de inicio, la interpolación fue requerida en todas las regiones, ya que el mapa inicial de Catastro 1997. En el caso del año final, la interpolación es necesaria en las regiones del Maule y Biobío, para las cuales se cuenta con mapas actualizados en 2014 y 2016, respectivamente (Tabla 9).

Tabla 9. Información histórica de Catastro Forestal utilizada en actividades y sub-actividades vinculadas a cambios de uso y sub-uso de la tierra

| Fechas de periodo de referencia | | | | | | | |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| Región | Fecha de Mapa 1 | Fecha de Mapa 2 | Fecha de Mapa 3 | Año inicial periodo de referencia | Año final periodo de referencia | Interpolación año de inicio (b1) | Interpolación año final (b2) |
| Maule | 1997 | 2009 | 2016 | 2001 | 2013 | 4 | 3 |
| Biobío | 1997 | 2008 | 2014 | | | 4 | 1 |
| La Araucanía | 1997 | 2007 | 2013 | | | 4 | 0 |
| Los Ríos | 1997 | 2006 | 2013 | | | 4 | 0 |
| Los Lagos Norte | 1997 | 2006 | 2013 | | | 4 | 0 |
| Los Lagos Sur | 1997 | | 2013 | | | 4 | 0 |

Para la estimación de datos de las actividades asociadas a cambios de uso de la tierra incluidas en este Anexo de resultados REDD+, este método no será aplicado, debido a que en el caso de las regiones del Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos, los mapas cubren un período homogéneo que permite la estimación para los años 2014, 2015 y 2016, exceptuando la región del Maule, que permite la obtención de datos de los años 2015 y 2016.

Para la homogenización del periodo de monitoreo de las actividades vinculadas a cambios de uso de la tierra, se ha optado por la aplicación de una extrapolación del promedio de superficie de cambios estimada para los años 2015 y 2016, aplicando este valor para el año 2014 en la Región del Maule.

Se considera que aplicar el método de interpolación utilizado en el NREF/NRF incurriría en una estimación afectada con una fuerte influencia de datos intemporales, ya que se estaría utilizando información del periodo 2009/2015 combinada con la información del periodo 2015/2016 para la estimación de la superficie de cambio en el año 2014. Esto se refuerza con el análisis de la distribución temporal de cambios de uso realizado y presentado en NREF/NRF que identifica que la mayor parte de los cambios identificados en los mapas de uso de cada período se concentran en los años centrales.

Considerando que la interpolación es un proceso que puede sobreestimar las emisiones y absorciones de carbono forestal en el caso de que exista un año con una inusual variación, se realizó un análisis muestral para determinar el año de cambio en 287 parcelas de control para el periodo 2008/2015 en las regiones del Maule y Biobío.

Como se muestra en la Figura 10, la distribución de los polígonos que cambiaron por año representa una distribución normal con una acumulación de cambios en los años intermedios, lo cual avala su uso para el NREF/NRF, pero no lo recomienda para la estimación de emisiones reportadas para el año 2014 considerado en el periodo de monitoreo del presente Anexo de resultados REDD+.

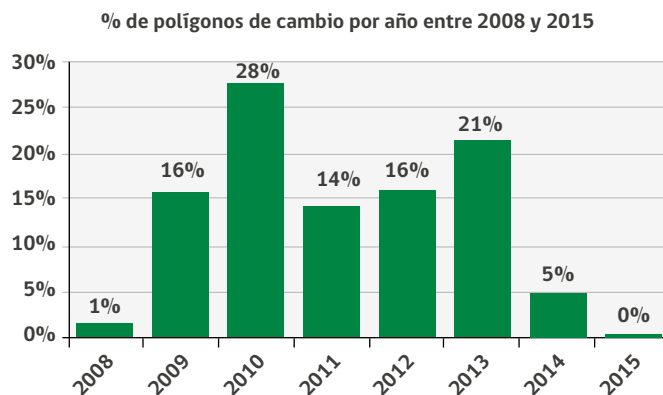


Figura 10. Porcentaje de polígonos de cambio por año entre 2008 y 2015 en las regiones del Maule y el Biobío

Bosque permanente

Para estimar el área afectada por degradación en bosque permanente, recuperación de bosques degradados y conservación de bosques, se utilizó la metodología detallada en Bahamondez *et al.* (2009), que utiliza un sistema basado en el número de árboles por hectárea y datos de área basal registrados en las parcelas del Inventario Forestal Nacional para estimar existencias de carbono espacialmente explícitas para diferentes fechas coincidiendo con las mediciones de campo del Inventario.

→ Delimitación de bosque permanente

El primer paso es delimitar el área de bosque permanente durante el periodo de monitoreo. Al igual que en caso de los datos de actividad asociados a cambios de uso, hay una incidencia importante en el tratamiento de la categoría de uso de la tierra matorral arborescente. Si bien la totalidad de superficie categorizada como Matorral Arborescente en los mapas de uso utilizados en el NREF/NRF fue incluida dentro de la categoría Bosque Nativo, como se explica anteriormente, esto fue debido a las variaciones en los criterios operacionales de Catastro Forestal en las actualizaciones previas, así como los criterios legales anteriores a la Ley N°20.283.

Para mantener la consistencia, y evitar la incorporación de cambios debido a modificaciones de criterios y no a cambios reales, se aplica el supuesto de que aquellas superficies categorizadas en los mapas utilizados en el NREF/NRF como matorral arborescente pueden conformar bosque nativo, así como también matorral arborescente. Sin embargo, todas las superficies categorizadas en los mapas utilizados en este Anexo de resultados REDD+ como matorral arborescente, no conforman bosque nativo en ningún caso.

Además, de acuerdo a la metodología aplicada para la estimación de aumento de existencias producto del incremento de superficie forestal, la superficie transformada a bosque nativo desde otros usos de la tierra durante el NREF/NRF será considerada en esta misma categoría durante el periodo de monitoreo, por lo que no debe ser considerada dentro de la superficie de bosque permanente (Figura 11).

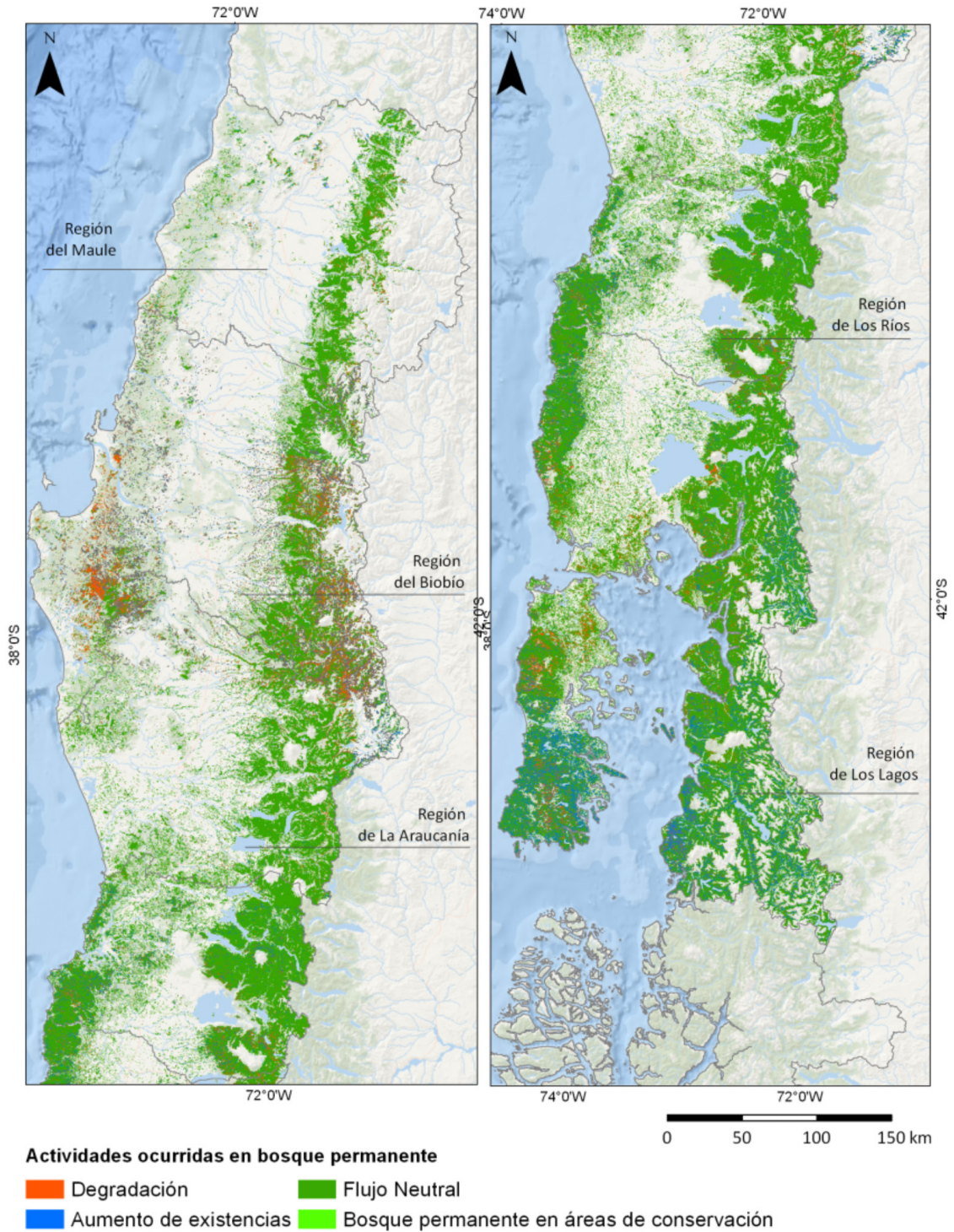


Figura 11. Actividades y sub-actividades en bosque permanente

Por lo tanto, para mantener la consistencia y evitar incurrir en errores que generen doble contabilidad, se establece que las áreas de bosque permanente corresponden a aquellas que:

- El uso de la tierra en los mapas utilizados en el NREF/NRF y en este Anexo de resultados de REDD+ es bosque nativo.
- En los mapas utilizados en el NREF/NRF el uso de la tierra pasa desde la categoría matorral arborescente a la categoría bosque nativo, y, en los mapas utilizados en este Anexo de resultados REDD+, la categoría de uso se mantiene como bosque nativo.
- Se excluyen de la categoría de bosque permanente aquella superficie categorizadas como matorral arborescente en los mapas utilizados en este Anexo de resultados REDD+.

→ Estimación de datos por actividad REDD+

Los datos dasométricos procedentes de parcelas del Inventario Forestal Nacional permiten identificar la localización de cada parcela en un gráfico de densidad, en base al número de árboles y al área basal por hectárea. El gráfico de densidad considera varios umbrales o líneas que determinan, para diferentes tipos de bosque, su estado en el momento de la medición. Esta información identifica el estado de las parcelas, distinguiendo entre parcelas degradadas y no degradadas (Bahamondez, 2009).

En el caso de la metodología aplicada tanto en este Anexo de resultados REDD+ como en el NREF/NRF, el umbral o línea B será el que permita identificar la degradación en bosque permanente y la recuperación de bosques degradados.

La línea B representa el límite en el que los árboles pueden desarrollar grandes copas y ocupar completamente la capacidad del sitio sin excesiva competencia (Gingrich, 1967). La delimitación de este umbral se estableció a través del trabajo de campo de expertos y es específico para cada tipo de bosque (Bahamondez *et al.*, 2012). La línea B es considerada el umbral de la resiliencia natural de un bosque. Las parcelas ubicadas debajo del umbral o línea B, no son recomendadas para el manejo productivo (Figura 12)²⁶.

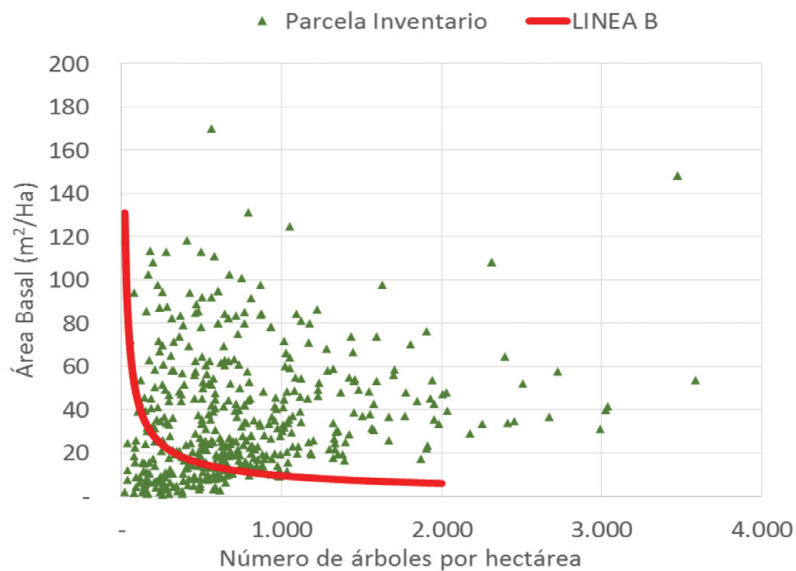


Figura 12. Gráfico de densidad y línea B. Basado en datos generados por mediciones de terreno del Inventario Forestal Nacional (INFOR)



²⁶ Más información sobre los parámetros de la carta de densidad: <http://www.encrv-chile.cl/index.php/descargas/nivel-de-referencia/52-anexo-datos-inventario-continuo/file>

Para determinar las parcelas sometidas a procesos de degradación o recuperación, se analiza el desplazamiento en el gráfico de poblaciones causado por la variación del área basal y el número de árboles por hectárea entre dos mediciones (Figura 13, Tabla 10).

- Las parcelas que se desplazan hacia el eje de origen del gráfico, traspasando o manteniéndose por debajo de la línea B, se consideran parcelas de degradación.
- Las parcelas que se alejan del eje de origen del gráfico, traspasando o manteniéndose por debajo de la línea B, se consideran parcelas de recuperación de bosques degradados.
- Las parcelas que se mueven por encima de la línea B, independientemente de la dirección, no se consideran en la estimación de emisiones o absorción, ya que se considera que las variaciones son un efecto natural y las parcelas están dentro del umbral de resiliencia natural.

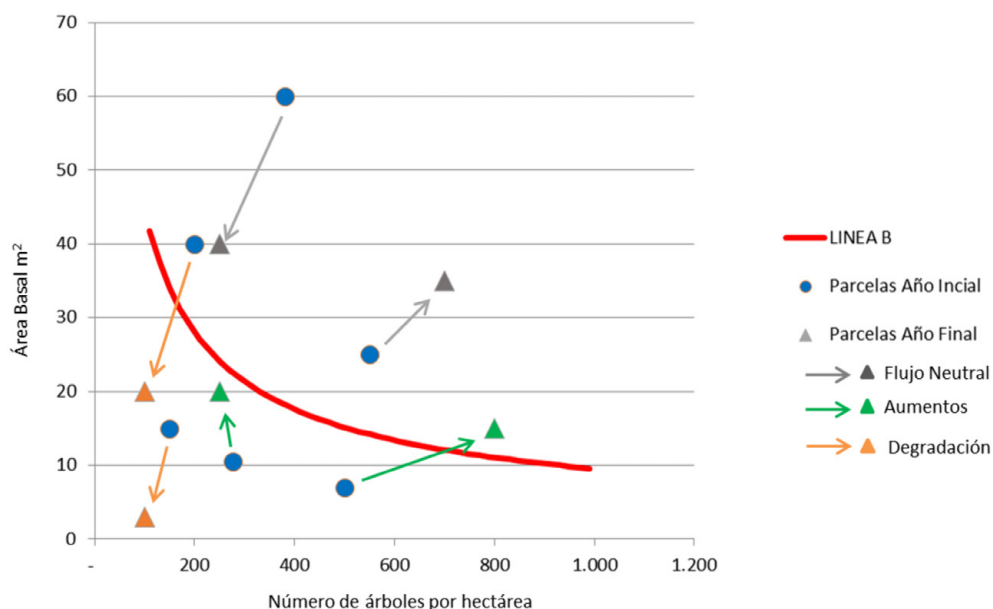


Figura 13. Ejemplo de flujos de carbono que representan aumentos (flecha verde) degradación (flecha naranja) y flujo natural (flecha gris).

Tabla 10. Posibles cambios en el gráfico de densidad entre los dos periodos de tiempo y actividades REDD+ en las que son contabilizadas.

| Cambio de localización en la Carta de stock | Flujo de CO ₂ | Actividad correspondiente |
|---|--------------------------|---------------------------|
| Sobre B en el año inicial y bajo B en el año final | Emisión | Degradación |
| Bajo B en el año inicial y bajo B en el año final | Emisión | Degradación |
| Bajo B en el año inicial y bajo B en el año final | Absorción | Aumento de Existencias |
| Bajo B en el año inicial y sobre B en el año final | Absorción | Aumento de Existencias |
| Sobre B en el año inicial y sobre B en el año final | N/A | No Contabilizado |

En el momento de la elaboración del NREF/NRF solo se contaba con la carta de stock asociada al tipo forestal Roble-Raulí-Coihue (Ro-Ra-Co) validada y publicada. Para mantener la consistencia, en este Anexo de resultados REDD+, también se aplicó la misma carta de stock independientemente del tipo forestal en que se aplique.

Para obtener información espacialmente explícita para la estimación de superficies sujetas a cada una de las actividades detalladas, se aplica una extrapolación no paramétrica K-*nn* o vecino más cercano, modificada ponderando los vecinos según se detalla en Tomppo (1991). Este método se aplica ampliamente en el análisis de inventarios forestales y permite la extrapolación simultánea de variables de estado de parcelas como el área basal y el número de árboles por hectárea.

Se considera a la distancia Euclidiana $d_{p_i,p}$ en el espacio de las variables auxiliares (bandas 1 a 5 de Landsat), como aquella distancia entre el píxel p y el píxel p_i que contiene verdad de terreno. Luego se debe considerar un cierto número k de elementos con verdad de terreno que presentan mínima distancia $d_{p_i,p}$ en el espacio de las variables explicativas de forma que (Tomppo 1991):

$$d_{p_1,p}, \dots, d_{p_k,p}, (d_{p_1,p} \leq \dots \leq d_{p_k,p}), k \approx 5-10$$

Ec. 15

Mediante estas distancias euclidianas, y su reordenamiento en k vecinos más cercanos, se procede a calcular un conjunto k de ponderaciones w_i con $i=1,k$; de forma que la combinación lineal de estas ponderaciones proporciona el estimado de vector de estado de rodal en posiciones no observadas (píxeles). Las ponderaciones se calculan como:

$$w_{i,p} = \begin{cases} \frac{1}{d_{p_i,p}^2} \left[\sum_{j=1,k} \frac{1}{d_{p_j,p}^2} \right]^{-1} & , si \quad i \in \{i_1(p), \dots, i_k(p)\} \\ 0 & , si \quad i \notin \{i_1(p), \dots, i_k(p)\} \end{cases}$$

Ec. 16

Dónde:

$i_j(p)$ = indica las parcelas de verdad de terreno que se encuentran más cercanas en distancia en el espacio multidimensional de las variables auxiliares. Considerando estas expresiones, el valor estimado de aquellos píxeles no observados en terreno, se calcula como la combinación lineal:

$$y_{est} = \sum_{i=1,k} w_{i,p} y_i$$

Ec. 17

El procedimiento se aplica y luego, los píxeles se remuestran a 1 hectárea para las imágenes de Landsat 5 del año 2001 y de Landsat 7 de los años 2010 y 2015, las cuales cubren toda la superficie de bosque permanente en el área de estudio. En el NREF/NRF se aplican las imágenes de 2001 y 2010, mientras que en el monitoreo de resultados se utilizan las imágenes de 2010 y 2015.

→ Áreas de conservación forestal

Para delimitar las áreas de conservación se utilizan los mapas del Catastro Forestal más recientes de cada región para identificar la superficie total de los bosques de Alerce y Araucaria. Los datos espaciales del SNASPE son aportados por el Sistema Integrado de Información Territorial de la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile los cuales se utilizan para identificar las superficies de las áreas protegidas públicas. Los datos regionales sobre las superficies de APP se toman de las bases de datos públicas de ICP.

→ Emisiones de gases no CO₂

Para contabilizar las emisiones no CO₂, se utilizaron los datos tabulares con información sobre el área afectada por incendios forestales en los Anexos del INGEI 2015 y 2018. La fuente original de estos datos son las Estadísticas Históricas Forestales de CONAF/Empresas de 1985 a 2016. Los datos reportados incluyen las áreas anuales totales de incendios forestales en cada región, entre 1971 y 2016.

Métodos utilizados y factores de emisión aplicados

Cambios de uso o sub-uso de la tierra

Los factores de emisión aplicados para la estimación de emisiones por deforestación y de degradación por conversión de bosque nativo en plantaciones forestales tanto en el NREF/NRF como en este Anexo de resultados de REDD+ son derivados en base a una combinación de datos de diferentes Niveles.

→ Biomasa aérea y biomasa subterránea

Para la biomasa aérea se utilizaron factores de emisión de Nivel 3 procedentes de la estimación de biomasa aérea del Inventario Forestal Nacional que presenta diferentes contenidos de carbono por región. Durante el NREF/NRF se utilizaron los datos del ciclo inicial del Inventario Forestal Nacional correspondiente al periodo 2001/2010, mientras que para este Anexo de resultados de REDD+ se aplican los datos generados por la remediación del Inventario Forestal Nacional realizada en el periodo 2010/2015. Debido a esto, existen variaciones en el volumen de existencias estimadas, ya que se trata de remediciones de las mismas parcelas en tiempos diferentes y representan los datos más ajustados a las fechas de análisis incluidas en ambas estimaciones.

La biomasa subterránea se estima en base a la aplicación de la relación raíz-tallo a la biomasa aérea en un porcentaje de 28,69% (Gayoso, 2002).

En la Tabla 11 se detallan los Factores de emisión utilizados por región y reservorio.

Tabla 11. Factores de emisión regionales desglosados por reservorios de carbono considerados en el análisis.

| Parámetros aplicados para la estimación de biomasa disponible en la construcción del NREF/NRF | | | | | | | |
|---|----------------------|--------------------------------|-----------------|---------------|---------------------|---------------------|---------------|
| Región | Existencia | Factor Expansión Bosque Nativo | Densidad básica | Biomasa aérea | Relación Raíz-Tallo | Biomasa subterránea | Total biomasa |
| | (m ³ /ha) | BEF | DB | t Biomasa/ha | % | t Biomasa/ha | t Biomasa/ha |
| Maule | 92,54 | 1,75 | 0,50 | 80,35 | 0,2826 | 22,71 | 103,06 |
| Biobío | 172,62 | | | 149,88 | | 42,36 | 192,24 |
| Araucanía | 299,65 | | | 260,18 | | 73,53 | 333,71 |
| Los Ríos | 378,19 | | | 328,38 | | 92,80 | 421,18 |
| Los Lagos | 311,50 | | | 270,47 | | 76,44 | 346,91 |

| Parámetros aplicados para la estimación de biomasa disponible en la construcción del NREF/NRF | | | | | | | |
|---|----------------------|--------------------------------|-----------------|---------------|---------------------|---------------------|---------------|
| Región | Existencia | Factor Expansión Bosque Nativo | Densidad básica | Biomasa aérea | Relación Raíz-Tallo | Biomasa subterránea | Total biomasa |
| | (m ³ /ha) | BEF | DB | t Biomasa/ha | % | t Biomasa/ha | t Biomasa/ha |
| Maule | 92,54 | 1,75 | 0,50 | 80,35 | 0,2826 | 22,71 | 103,06 |
| Biobío | 172,62 | | | 149,88 | | 42,36 | 192,24 |
| Araucanía | 290,60 | | | 252,33 | | 71,31 | 323,63 |
| Los Ríos | 357,43 | | | 310,35 | | 87,71 | 398,06 |
| Los Lagos | 265,36 | | | 230,41 | | 65,11 | 295,52 |

→ Materia orgánica muerta

El reservorio de materia orgánica muerta se estima en base a los datos recopilados por el Inventario Forestal Nacional. Los datos utilizados proceden de la recopilación de volumen de residuos gruesos y árboles muertos en pie. Éstos son recopilados por tipo forestal, para posteriormente estimar el valor por región en base a una ponderación de la superficie regional por tipo forestal. En el NREF/NRF se aplicaron los datos recopilados en el ciclo inicial del Inventario Forestal Nacional (2001-2010) agregados por región tal como se incluyen en el INGEI 1990-2010, pese a que se cuenta con información actualizada procedente de los datos recopilados en el primer ciclo de remediación (2011-2016) e incluidos en el INGEI 1990-2016.

En este primer ciclo de remediación, las variaciones en la estimación de contenido de carbono de la materia orgánica muerta fueron sustancialmente superiores a las aplicadas en el NREF/NRF, debido a que el procesamiento aplicado para la ponderación de pesos siguió diferentes procedimientos. Con el objetivo de mantener la consistencia entre el NREF/NRF y este Anexo de resultados REDD+ se aplicaron los mismos valores utilizados en el primer documento (Tabla 12). En ambos casos (NREF/NRF y Anexo REDD+) se aplica el factor de carbono o el contenido de carbono de la materia orgánica muerta de 0.5 utilizado en el INGEI 1990-2010.

Tabla 12. Contenido de carbono de la materia orgánica muerta utilizado en el NREF/NRF, Anexo REDD+ e INGEI.

| Región | NREF/NRF | Anexo REDD+ | INGEI 1990/2010 | INGEI 1990/2016 |
|-----------|----------|-------------|-----------------|-----------------|
| | Ton C/ha | | Ton C/ha | |
| Maule | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 28,5 |
| Biobío | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 62,7 |
| Araucanía | 23,5 | 23,5 | 23,5 | 82,8 |
| Los Ríos | 58,7 | 58,7 | 58,7 | 73,4 |
| Los Lagos | 34,7 | 34,7 | 34,7 | 78,5 |

→ Incremento de biomasa

Para estimar la absorción producto de la conversión desde otros usos de la tierra a bosque nativo, se utilizan parámetros Nivel 3 para los diferentes tipos de bosques, los cuales fueron derivados del INGEI, con excepción de bosques de *Araucaria araucana*, que proceden de datos del Inventario Forestal Nacional (Tabla 11). La tasa de crecimiento de la *Araucaria araucana* proviene de datos regionales de una exposición técnico científica sobre esta especie en el sur de Chile (Mujica, 2000) (Tabla 13).

Las tasas de crecimiento anual para el bosque renoval fueron aplicadas también a bosque adulto-renoval. Las tasas de crecimiento para bosques adultos fueron también aplicadas a bosque achaparrado, debido a que se supone que han alcanzado la madurez y es probable que tengan un crecimiento más lento que bosques jóvenes y/o secundarios. El crecimiento neto promedio de bosque mixto en cada región fue calculado en base al promedio de crecimiento neto de todos los tipos forestales existentes en cada región de acuerdo a Catastro Forestal.

Mientras en el NREF/NRF se aplican las tasas de crecimiento de forma directa sobre aquella superficie convertida a diferentes tipos forestales, para el caso de las estimaciones de este Anexo de resultados REDD+, no se puede estimar con un grado de certidumbre adecuado el tipo forestal y estructura para la superficie convertida a bosque nativo. Esto se debe a que el proceso no cuenta con validación de terreno de la totalidad de los polígonos, siendo esta la única forma de establecer la tipología forestal. Por lo tanto, se pondera por la tasa de incremento promedio actual de la superficie de tipo forestal y estructura a escala regional (Tabla 14).

Tabla 13. Incremento promedio anual por tipo de bosque.

| Tipo de Bosque | Renoval | Adulto |
|-------------------------|--------------------------|--------|
| | (m ³ /ha/año) | |
| Alerce | 0,45 | 0,45 |
| Ciprés de Las Guaitecas | 3,9 | 3,9 |
| Araucaria | 4,6 | 4,6 |
| Ciprés de La Cordillera | 4,7 | 3,9 |
| Lenga | 6,0 | 5,2 |
| Coihue de Magallanes | 6,1 | 4,6 |
| Roble Hualo | 4,6 | 3,0 |
| Roble-Raulí-Coihue | 6,1 | 5,0 |
| Coihue-Raulí-Tepa | 5,1 | 4,0 |
| Esclerófilo | 2,2 | 1,9 |
| Siempreverde | 5,8 | 3,2 |

Fuentes: INGEI 1990/2013.

Tabla 14. Incremento promedio anual por Región.

| Tipo de Bosque | Bosque Nativo |
|----------------|--------------------------|
| | (m ³ /ha/año) |
| Maule | 4,54 |
| Biobío | 5,52 |
| Araucanía | 5,41 |
| Los Ríos | 4,96 |
| Los Lagos | 4,35 |

Fuente: Elaboración propia con información procedente de INGEI 1990/2013.

Actividades en bosque permanente

Las existencias de carbono en bosque permanente son estimadas para cada pixel de las imágenes satelitales Landsat de 2001, 2010 y 2015, correspondiendo con el periodo de referencia del NREF/NRF 2001/2013, y con el periodo de monitoreo de este Anexo de resultados REDD+, 2010/2015. Estas existencias se convierten en factores de emisión para degradación en bosque permanente, aumento de existencias de carbono por recuperación de bosques degradados, así como para la conservación de los bosques, utilizando un enfoque de diferencia de existencias para determinar la emisión específica de cada pixel considerado bajo cada actividad según se explica en el capítulo de datos de actividad.

Los factores de emisión proceden del Inventario Forestal Nacional, que es la base para la metodología. La metodología determina un área basal de cada hectárea de bosque en t1 y t2, y en base a este dato se calcula el volumen total de cada hectárea:

$$Vol = KAB^{\beta}$$

Ec. 18

Dónde:

- Vol = Volumen de árboles en bosque, metros cúbicos ha⁻¹
- AB = Área Basal metros cuadrados ha⁻¹
- K = Constante, valor de 2,9141
- β = Constante, valor 1,2478

Para convertir a volumen de CO₂ se uso en la ecuación Ec. 19:

$$EF = Vol * D * BEF$$

Ec. 19

Dónde:

- EF = existencias de carbono en el bosque permanente, ton biomasa ha⁻¹
- Vol = Volumen de árboles en bosque, metros cúbicos ha⁻¹
- D = Densidad promedio de bosques, toneladas metros⁻³
- BEF = Factor de conversión y expansión de biomasa para la conversión del incremento anual neto en volumen (incluyendo corteza) a crecimiento de biomasa aérea para un tipo forestal, toneladas de crecimiento de corteza aérea (m³ de incremento anual promedio)⁻¹

→ Emisiones de gases no CO₂

Para el caso de las emisiones de gases no CO₂ procedente de incendios forestales, el parámetro de biomasa disponible para la combustión se basa en los mismos datos que para deforestación y conversión de bosque nativo a plantación forestal. Los factores de combustión, emisión y conversión son factores por defecto del IPCC (2006 y 2013), según se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15. Factores de emisión, combustión y conversión para emisiones noCO₂

| GEI | Factor de Conversión a CO ₂ e | Factor de Combustión | Factor de Emisión |
|------------------|--|----------------------|-------------------|
| CH ₄ | 28 | 0,45 | 4,70 |
| N ₂ O | 265 | 0,45 | 0,26 |



**Emisiones reducidas en
el periodo de monitoreo**

Emisiones reducidas en el periodo de monitoreo

Este capítulo describe el resultado de la implementación de REDD+ en tCO₂e/año, consistente con el NREF/NRF subnacional. Se describen las emisiones/absorción por cada actividad en el periodo de resultados y son comparadas con las emisiones/absorción establecidas en el NREF/NRF.

Como se indica anteriormente, el NREF/NRF subnacional de Chile fue estimado en base a las fuentes de información oficial disponibles, por lo que se consideran diferentes periodos de referencia para actividades vinculadas a cambios de uso de la tierra y actividades que suceden en bosque permanente. Consistentemente, el monitoreo de resultados mantiene las mismas fuentes de datos, definición de actividades y considera periodos diferenciados para los dos grupos de actividades.

Reducción de emisiones por deforestación²⁷

Las emisiones anuales por deforestación establecidas en el NREF/NRF subnacional de Chile en base a la información del periodo 2001-2013²⁸, representan 3.452.885 tCO₂e/año. Este volumen de emisiones se produce como resultado de la deforestación de 6.470 ha/año y considera los reservorios de biomasa aérea, biomasa subterránea y materia orgánica muerta (Tabla 16).

Tabla 16. Emisiones por Deforestación Periodo de Referencia

| Emisiones por Deforestación Periodo de Referencia | | | | |
|---|--|--|---|---|
| Región | Área deforestada (ha año ⁻¹) | Emisiones biomasa viva (tCO ₂ e año ⁻¹) | Emisiones necromasa (tCO ₂ e año ⁻¹) | Emisiones totales (tCO ₂ e año ⁻¹) |
| Maule | 872 | 77.632 | 7.351 | 84.982 |
| Biobío | 1.416 | 370.682 | 25.963 | 396.645 |
| La Araucanía | 1.630 | 918.816 | 140.251 | 1.059.067 |
| Los Ríos | 751 | 483.105 | 161.591 | 644.696 |
| Los Lagos | 1.801 | 1.038.400 | 229.095 | 1.267.494 |
| Total | 6.470 | 2.888.634 | 564.251 | 3.452.885 |

Durante el periodo de monitoreo, correspondiente a los años 2014,2015 y 2016, se estimó una superficie deforestada de 4.953 ha/año, provocando un volumen de emisiones de 2.997.304 tCO₂e/año, que considera los reservorios de biomasa aérea, biomasa subterránea y materia orgánica muerta (Tabla 17).

Tabla 17. Emisiones por Deforestación Periodo de Monitoreo

| Emisiones por Deforestación Periodo de Monitoreo | | | | |
|--|--|--|---|---|
| Región | Área deforestada (ha año ⁻¹) | Emisiones biomasa viva (tCO ₂ e año ⁻¹) | Emisiones necromasa (tCO ₂ e año ⁻¹) | Emisiones totales (tCO ₂ e año ⁻¹) |
| Maule | 123 | 19.729 | 1.033 | 20.763 |
| Biobío | 417 | 129.761 | 7.642 | 137.403 |
| La Araucanía | 1.288 | 709.322 | 100.108 | 809.431 |
| Los Ríos | 237 | 171.165 | 50.696 | 221.861 |
| Los Lagos | 2.889 | 1.467.782 | 340.064 | 1.807.846 |
| Total | 4.953 | 2.497.760 | 499.544 | 2.997.304 |



²⁷ Herramienta de cálculo disponible en: https://www.enccrv-chile.cl/images/REDD/herramientas/Herramienta_Deforestacion_13_17.xlsx

²⁸ Herramienta de cálculo disponible en: https://www.enccrv-chile.cl/images/REDD/herramientas/Herramienta_Deforestacion_NR.xlsx

La superficie deforestada en el periodo se ha reducido en 1.517 ha/año y como resultado las emisiones reducidas producto de la reducción de la deforestación, equivalen a 455.581 tCO₂e/año (Tabla 18).

Tabla 18. Reducción Emisiones por deforestación

| Región | Área deforestada (ha año ⁻¹) | Emisiones biomasa viva (tCO ₂ e año ⁻¹) | Emisiones necromasa (tCO ₂ e año ⁻¹) | Emisiones totales (tCO ₂ e año ⁻¹) |
|--------------|--|--|---|---|
| Maule | -749 | 57.902 | 6.317 | 64.219 |
| Biobío | -999 | 240.921 | 18.321 | 259.242 |
| La Araucanía | -343 | 209.494 | 40.143 | 249.637 |
| Los Ríos | -514 | 311.939 | 110.895 | 422.835 |
| Los Lagos | 1.088 | -429.382 | -110.970 | -540.352 |
| Total | -1.517 | 390.874 | 64.707 | 455.581 |

Reducción de emisiones por degradación forestal²⁹

Las emisiones anuales por degradación forestal³⁰ establecidas en el NREF subnacional de Chile representan 9.149.391,8 tCO₂e/año. Este volumen de emisiones se produce como resultado de la agregación de la degradación por transformación de bosque nativo en plantaciones forestales y las emisiones por degradación en bosque permanente.

Las emisiones producto de la degradación por transformación de bosque nativo en plantaciones forestales alcanzan 4.076.040,3 tCO₂e/año, los cuales son producto de la transformación de 11.920,5 ha/año, durante el periodo 2001-2013³¹ y considera los reservorios de biomasa aérea, biomasa subterránea y materia orgánica muerta (Tabla 19).

Tabla 19. Emisiones por transformación de bosque nativo en plantación forestal Periodo Referencia

| Región | Área degradada (ha año ⁻¹) | Emisiones biomasa viva (tCO ₂ e año ⁻¹) | Emisiones necromasa (tCO ₂ e año ⁻¹) | Emisiones totales (tCO ₂ e año ⁻¹) |
|--------------|--|--|---|---|
| Maule | 3.170 | 407.951 | 26.734 | 434.685 |
| Biobío | 4.570 | 894.837 | 83.781 | 978.618 |
| La Araucanía | 2.525 | 1.196.118 | 217.196 | 1.413.314 |
| Los Ríos | 919 | 576.777 | 197.845 | 774.622 |
| Los Lagos | 736 | 381.114 | 93.689 | 474.802 |
| Total | 11.921 | 3.456.796 | 619.245 | 4.076.040 |

Durante el periodo de monitoreo, correspondiente a los años 2014, 2015 y 2016, se estimó una superficie transformada de bosque nativo a plantación de 1.229,6 ha/año³², provocando un volumen de emisiones totales de 217.557,9 tCO₂e/año, que considera los reservorios de biomasa aérea, biomasa subterránea y materia orgánica muerta (Tabla 20).

Tabla 20. Reducción Emisiones por deforestación

| Región | Área degradada (ha año ⁻¹) | Emisiones biomasa viva (tCO ₂ e año ⁻¹) | Emisiones necromasa (tCO ₂ e año ⁻¹) | Emisiones totales (tCO ₂ e año ⁻¹) |
|--------------|--|--|---|---|
| Maule | 53 | 5.051 | 225 | 5.276 |
| Biobío | 605 | 71.255 | 3.694 | 74.949 |
| La Araucanía | 484 | 72.042 | 10.411 | 82.453 |
| Los Ríos | 84 | 15.433 | 4.537 | 19.970 |
| Los Lagos | 3 | 468 | 110 | 577 |
| Total | 1.230 | 164.249 | 18.976 | 183.225 |



²⁹ Herramienta de cálculo disponible en: https://www.enccrv-chile.cl/images/REDD/herramientas/Herramienta_bosque-bosque_2010-2015.xlsx

³⁰ Herramienta de cálculo disponible en: https://www.enccrv-chile.cl/images/REDD/herramientas/Herramienta_bosque-bosque_NR.xlsx

³¹ Herramienta de cálculo disponible en: https://www.enccrv-chile.cl/images/REDD/herramientas/Herramienta_Sustitucion_NR.xlsx

³² Herramienta de cálculo disponible en: https://www.enccrv-chile.cl/images/REDD/herramientas/Herramienta_Sustitucion_13-17.xlsx

Las emisiones reducidas totales producto de la disminución de la degradación por transformación de bosque nativo a plantación forestal, equivalen a 3.858.482,4 tCO₂e/año (Tabla 21).

Tabla 21. Emisiones reducidas por transformación de bosque nativo en plantación forestal

| Región | Área degradada (ha año ⁻¹) | ER biomasa viva (tCO ₂ e año ⁻¹) | ER necromasa (tCO ₂ e año ⁻¹) | ER totales (tCO ₂ e año ⁻¹) |
|--------------|--|---|--|--|
| Maule | 3.117 | 402.900 | 26.510 | 429.409 |
| Biobío | 3.965 | 823.582 | 80.087 | 903.669 |
| La Araucanía | 2.041 | 1.124.076 | 206.785 | 1.330.861 |
| Los Ríos | 835 | 561.343 | 193.308 | 754.652 |
| Los Lagos | 733 | 380.646 | 93.579 | 474.225 |
| Total | 10.691 | 3.292.547 | 600.269 | 3.892.816 |

Por su parte, las emisiones producto de la degradación en bosque permanente en el periodo de referencia alcanzan 4.962.248 tCO₂e/año, identificándose una superficie de bosque bajo procesos de degradación de 461.231 hectáreas, durante el periodo 2001-2010 y considera los reservorios de biomasa aérea, biomasa subterránea y materia orgánica muerta. A lo que se debe añadir el volumen de 111.103,5 tCO₂e/año de emisiones de metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) producto de los incendios forestales, como resultado de una superficie incendiada promedio de 4.884 ha/año³³ (Tabla 22).

Tabla 22. Emisiones por degradación en bosque permanente y por incendios forestales en el periodo de referencia

| Degradación Bosque Permanente Periodo Referencia | | | Emisiones No-CO ₂ Periodo Referencia | | |
|--|---------------------|---|---|---------------------|---|
| Región | Área degradada (ha) | Emisiones totales (tCO ₂ e año ⁻¹) | Región | Área degradada (ha) | Emisiones totales (tCO ₂ e año ⁻¹) |
| Maule | 53.666 | 169.708 | Maule | 599 | 4.582 |
| Biobío | 62.399 | 213.428 | Biobío | 1.237 | 17.843 |
| La Araucanía | 34.183 | 435.415 | La Araucanía | 2.116 | 58.616 |
| Los Ríos | 42.905 | 592.373 | Los Ríos | 151 | 6.085 |
| Los Lagos | 268.078 | 3.551.324 | Los Lagos | 782 | 23.977 |
| Total | 461.231 | 4.962.248 | Total | 4.884 | 111.103 |

Durante el periodo de monitoreo, correspondiente a los años 2011, 2012, 2013, 2014 y 2015, se estimó una superficie de bosque bajo procesos de degradación de 471.280 hectáreas, provocando un volumen de emisiones de 13.201.148,4 tCO₂e/año, que considera los reservorios de biomasa aérea, biomasa subterránea y materia orgánica muerta. La superficie incendiada durante el periodo de monitoreo³⁴ fue de 13.743 ha/año provocando emisiones de metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) de 250.871,4 tCO₂e/año (Tabla 23).

Tabla 23. Emisiones por degradación en bosque permanente y por incendios forestales en el periodo de monitoreo

| Degradación Bosque Permanente Periodo Monitoreo | | | Emisiones No-CO ₂ Periodo Monitoreo | | |
|---|---------------------|---|--|---------------------|---|
| Región | Área degradada (ha) | Emisiones totales (tCO ₂ e año ⁻¹) | Región | Área degradada (ha) | Emisiones totales (tCO ₂ e año ⁻¹) |
| Maule | 41.224 | 546.255 | Maule | 3.405 | 26.071 |
| Biobío | 173.650 | 3.336.452,4 | Biobío | 4.370 | 63.042 |
| La Araucanía | 95.239 | 2.753.202 | La Araucanía | 5.243 | 141.544 |
| Los Ríos | 29.542 | 1.415.054 | Los Ríos | 54 | 2.069 |
| Los Lagos | 131.625 | 5.150.185 | Los Lagos | 671 | 18.145 |
| Total | 471.280 | 13.201.148 | Total | 13.743 | 250.871 |



³³ Herramienta de cálculo disponible en: https://www.enccrv-chile.cl/images/REDD/herramientas/Herramienta_Incendios_NR.xlsx

Las emisiones durante el periodo de monitoreo producto de la reducción de la degradación en bosque permanente, han sido mayores a las estimadas durante el nivel de referencia, principalmente como resultado del incremento de la superficie afectada por incendios forestales que se vincula con el periodo de mega-sequía iniciado en 2010 y con un déficit de las precipitaciones cercano a un 30%. Como consecuencia de lo anterior, las emisiones por degradación se han incrementado en 8.238.900,3 tCO₂e/año (Tabla 24).

Tabla 24. Emisiones reducidas por degradación en bosque permanente y por incendios forestales

| ER por degradación en bosque permanente | | | ER por incendios forestales | | |
|---|------------------------------------|--|-----------------------------|------------------------------------|--|
| Región | Disminución de área degradada (ha) | ER totales (tCO ₂ e año ⁻¹) | Región | Disminución de área degradada (ha) | ER totales (tCO ₂ e año ⁻¹) |
| Maule | 12.442 | -376.547 | Maule | -2.807 | -21.489 |
| Biobío | -111.251 | -3.123.024 | Biobío | -3.133 | -45.199 |
| La Araucanía | -61.056 | -2.317.788 | La Araucanía | -3.128 | -82.928 |
| Los Ríos | 13.363 | -822.681 | Los Ríos | 98 | 4.016 |
| Los Lagos | 136.453 | -1.598.861 | Los Lagos | 111 | 5.832 |
| Total | -10.049 | -8.238.900 | Total | -8.859 | -139.768 |

Aumento de existencias de carbono forestal³⁵:

La absorción anual por aumento de existencias³⁶ de carbono forestal establecida en el NREF/NRF representa 10.012.012 tCO₂e/año. Este volumen de absorción se produce como resultado de la agregación de la absorción por el incremento de superficie forestal y la transformación de plantaciones forestales en bosque nativo, más la absorción por recuperación de bosques degradados.

La absorción por el incremento de la superficie forestal y la transformación de plantaciones forestales en bosque nativo alcanza los 890.773 tCO₂e/año, son producto del cambio de uso de 17.020 ha/año, durante el periodo 2001-2013 y considera los reservorios de biomasa aérea, biomasa subterránea.

Por su parte, la absorción producto de la recuperación de bosques degradados alcanzan 9.121.239 tCO₂e/año, identificándose una superficie en proceso de recuperación de 677.669 hectáreas, durante el periodo 2001-2010, considerando los reservorios de biomasa aérea, biomasa subterránea y materia orgánica muerta (Tabla 25).

Tabla 25. Promedio de emisiones (capturas) de carbono durante el periodo de referencia 2001-2013

| Región - Nombre | No bosque a bosque | | Bosque a bosque | | Total |
|-----------------|----------------------|---|-----------------|---|---|
| | Ha año ⁻¹ | ton CO ₂ e año ⁻¹ | Ha | ton CO ₂ e año ⁻¹ | ton CO ₂ e año ⁻¹ |
| Maule | 7.883 | -391.180 | 113.005 | -790.982 | -1.182.163 |
| Biobío | 4.215 | -202.770 | 144.305 | -1.079.374 | -1.282.143 |
| Araucanía | 3.028 | -189.330 | 68.309 | -1.328.564 | -1.517.894 |
| Los Ríos | 912 | -53.356 | 80.837 | -1.968.685 | -2.022.041 |
| Los Lagos Sur | 981 | -54.136 | 271.213 | -3.953.636 | -4.007.772 |
| Total | 17.019 | -890.773 | 677.669 | -9.121.239 | -10.012.012 |

Durante el periodo de monitoreo, correspondiente a los años 2014, 2015 y 2016, se estimó una superficie de cambio de uso de plantaciones y otros usos de la tierra a bosque en 10.063,35 ha/año, generando un volumen de absorción de 255.320,18 tCO₂e/año, que considera los reservorios de biomasa aérea y biomasa subterránea (Tabla 26). A esta absorción se le debe agregar las capturas procedentes de la superficie convertida a bosque nativo durante el periodo de referencia que se mantiene como bosque durante el periodo de monitoreo. Es considerada como bosque en crecimiento y alcanza una superficie de 201.015,60 hectáreas, con una absorción de 764.321,1 tCO₂e/año (Tabla 27).



³⁴ Herramienta de cálculo disponible en: https://www.enccrv-chile.cl/images/REDD/herramientas/Herramienta_Incendios_13_17.xlsx

³⁵ Herramienta de cálculo disponible en: https://www.enccrv-chile.cl/images/REDD/herramientas/Herramienta_Aumentos_13_17.xlsx

³⁶ Herramienta de cálculo disponible en: https://www.enccrv-chile.cl/images/REDD/herramientas/Herramienta_Aumentos_NR.xlsx

Tabla 26. Promedio de capturas de carbono por conversión a bosque durante el periodo de monitoreo.

| Región | Área de aumentos anual (ha año ⁻¹) | tCO ₂ e año ⁻¹ |
|--------------|--|--------------------------------------|
| Maule | 1.534 | -28.347 |
| Biobío | 1.606 | -43.185 |
| La Araucanía | 2.203 | -64.790 |
| Los Ríos | 3.301 | -86.981 |
| Los Lagos | 1.419 | -32.017 |
| Total | 10.063 | -255.320 |

Tabla 27. Promedio de las capturas de carbono durante el periodo de monitoreo en áreas convertidas a bosque durante el periodo de referencia.

| Región | Área de aumentos anual (ha año ⁻¹) | tCO ₂ e año ⁻¹ |
|--------------|--|--------------------------------------|
| Maule | 93.624 | -349.238 |
| Biobío | 49.739 | -208.105 |
| La Araucanía | 35.703 | -112.640 |
| Los Ríos | 10.199 | -44.112 |
| Los Lagos | 11.750 | -50.226 |
| Total | 201.016 | -764.321 |

En cuanto a la recuperación de bosque degradado, durante los años 2011, 2012, 2013, 2014 y 2015, se estimó una superficie de bosques en procesos de recuperación equivalente a 437.043 hectáreas, generando un volumen de absorción de 17,991,296.2 tCO₂e/año, que considera los reservorios de biomasa aérea, biomasa subterránea y materia orgánica muerta (Tabla 28).

Tabla 28. Promedio de las capturas de carbono durante el periodo de monitoreo años 2010-2015.

| Región - Nombre | No bosque a bosque | | Bosque a bosque | | Total |
|-----------------|----------------------|---|-----------------|---|---|
| | Ha año ⁻¹ | ton CO ₂ e año ⁻¹ | Ha | ton CO ₂ e año ⁻¹ | ton CO ₂ e año ⁻¹ |
| Maule | 95.158 | -377.585 | 31.762 | -329,624.4 | -707.210 |
| Biobío | 51.344 | -251.290 | 57.322 | -412,246.0 | -663.536 |
| Araucanía | 37.906 | -177.430 | 38.753 | -1,029,668.6 | -1.207.099 |
| Los Ríos | 13.500 | -131.093 | 44.621 | -2,101,765.6 | -2.232.859 |
| Los Lagos | 13.170 | -82.243 | 264.585 | -14,117,991.6 | -14.200.235 |
| Total | 211.079 | -1.019.641 | 437.043 | -17,991,296.2 | -19.010.938 |

Las emisiones reducidas, en este caso referido al incremento de absorciones, producto del aumento de existencias de carbono forestal por cambio de uso de la tierra equivalen a 128.868,3 tCO₂e/año, mientras que, a través del aumento de existencias por recuperación de bosque degradado, alcanza un total de reducción de emisiones de 8.870.056,8 tCO₂e/año. El volumen total de absorción por aumento de existencias durante el periodo de monitoreo es de 8.998.925,1 tCO₂e/año, superior al volumen de absorción por la misma actividad durante el periodo de referencia (Tabla 29).

Tabla 29. Emisiones reducidas por aumento de existencias de carbono forestal.

| Región | No bosque a bosque | | Bosque a bosque | | Total |
|--------------|---|---|--------------------------|---|---|
| | Aumento de superficie (Ha año ⁻¹) | Reducción de emisiones tCO ₂ e año ⁻¹ | Aumento de superficie Ha | Reducción de emisiones tCO ₂ e año ⁻¹ | Reducción de emisiones tCO ₂ e año ⁻¹ |
| Maule | 87.276 | -13.595 | -81.243 | -461.358 | -474.953 |
| Biobío | 47.129 | 48.520 | -86.983 | -667.128 | -618.607 |
| La Araucanía | 34.878 | -11.900 | -29.556 | -298.895 | -310.795 |
| Los Ríos | 12.588 | 77.737 | -36.216 | 133.081 | 210.818 |
| Los Lagos | 12.188 | 28.107 | -6.628 | 10.164.356 | 10.192.463 |
| Total | 194.059 | 128.868 | -240.626 | 8.870.057 | 8.998.925 |

Conservación forestal³⁷:

El NREF/NRF de conservación de existencias de carbono que consiste en el flujo neto de absorción y emisiones producidas en áreas de conservación, resulta en un volumen de absorción de 2.430.438 tCO₂e/año, durante el periodo 2001-2010 y considera los reservorios de biomasa aérea, biomasa subterránea y materia orgánica muerta.



³⁷ Herramienta de cálculo disponible en: <https://www.enccrv-chile.cl/images/REDD/herramientas/Herramienta...bosque-bosque...2010-2015.xlsx>

El NREF/NRF para la actividad de conservación forestal³⁸ se desglosa en emisiones por degradación en bosque permanente de 1.286.582 tCO₂e/año, las cuales se producen en una superficie de 105.633 hectáreas; y un volumen de absorción por recuperación de bosques degradados en áreas de conservación de 3.717.020 tCO₂e/año, generadas en una superficie de 166.655 hectáreas (Tabla 30).

Tabla 30. Emisiones y absorción por conservación forestal en el periodo de referencia

| Región | Emisiones por Degradación forestal en áreas de conservación | | Absorción por aumento de existencias en áreas de conservación | | Flujo neto de emisión/absorción en áreas de conservación | |
|--------------|---|---|---|---|--|---|
| | Área (ha) | Emisiones (tCO ₂ e año ⁻¹) | Área (ha) | Emisiones (tCO ₂ e año ⁻¹) | Área (ha) | Emisiones (tCO ₂ e año ⁻¹) |
| Maule | 476 | 2.670 | 1.890 | -17.450 | 2.366 | -14.780 |
| Biobío | 4.099 | 11.090 | 11.813 | -83.448 | 15.912 | -72.359 |
| La Araucanía | 9.883 | 116.065 | 18.553 | -450.806 | 28.436 | -334.741 |
| Los Ríos | 14.702 | 187.292 | 32.998 | -897.373 | 47.700 | -710.081 |
| Los Lagos | 76.473 | 969.464 | 101.401 | -2.267.942 | 177.874 | -1.298.478 |
| Total | 105.633 | 1.286.582 | 166.655 | -3.717.020 | 272.288 | -2.430.438 |

Durante el periodo de monitoreo, correspondiente a los años 2011, 2012, 2013, 2014 y 2015, se estimó una superficie de bosques en procesos de degradación localizados en áreas de conservación de 107.574 hectáreas, generando un volumen de emisión de 3.663.643 tCO₂e/año; y una superficie de recuperación de bosques degradados en áreas de conservación de 166.582 hectáreas, generando un volumen de absorción de 7.613.851 tCO₂e/año. El flujo neto de absorción y emisiones producidas, que considera los reservorios de biomasa aérea, biomasa subterránea y materia orgánica muerta, alcanza un volumen neto de absorción de 3.950.207 tCO₂e/año (Tabla 31).

Tabla 31. Emisiones y absorción por conservación forestal en el periodo de monitoreo.

| Región | Emisiones por Degradación forestal en áreas de conservación | | Absorción por aumento de existencias en áreas de conservación | | Flujo neto de emisión/absorción en áreas de conservación | |
|--------------|---|---|---|---|--|---|
| | Área (ha) | Emisiones (tCO ₂ e año ⁻¹) | Área (ha) | Emisiones (tCO ₂ e año ⁻¹) | Área (ha) | Emisiones (tCO ₂ e año ⁻¹) |
| Maule | 1.482 | 21.928 | 675 | -5.811 | 2.157 | 16.117 |
| Biobío | 27.916 | 504.896 | 5.625 | -28.857 | 33.541 | 476.040 |
| La Araucanía | 13.171 | 329.961 | 6.144 | -110.947 | 19.315 | 219.014 |
| Los Ríos | 11.301 | 572.199 | 18.524 | -870.432 | 29.825 | -298.234 |
| Los Lagos | 53.704 | 2.234.660 | 135.614 | -6.597.804 | 189.318 | -4.363.144 |
| Total | 107.574 | 3.663.643 | 166.582 | -7.613.851 | 274.156 | -3.950.207 |

La absorción durante el periodo de monitoreo es de 1.519.769 tCO₂e/año (Tabla 32), volumen superior al registrado en el periodo de referencia.

Tabla 32. Reducción de emisiones de carbono por conservación forestal.

| Región | Superficie afectada (Ha) | Emisiones totales (tCO ₂ e año ⁻¹) |
|--------------|--------------------------|---|
| Maule | 209 | -30.897 |
| Biobío | -17.629 | -548.398 |
| La Araucanía | 9.121 | -553.755 |
| Los Ríos | 17.875 | -411.847 |
| Los Lagos | -11.444 | 3.064.667 |
| Total | -1.868 | 1.519.769 |



³⁸ Herramienta de cálculo disponible en: https://www.enccrv-chile.cl/images/REDD/herramientas/Herramienta_bosque-bosque_NR.xlsx

Resultados por actividad REDD+³⁹:

Las emisiones agregadas por actividad, según fueron reportadas en el NREF/NRF, alcanzan 3.452.885 tCO₂e/año por deforestación, 9.149.392 tCO₂e/año por degradación forestal, -10.012.012 tCO₂e/año por aumento de existencias de carbono forestal y -2.430.438 tCO₂e/año por conservación forestal. Con un balance final que representa emisiones por 159.826 tCO₂e/año (Tabla 33).

Tabla 33. Emisiones y absorción por actividad durante el periodo de referencia.

| Emisiones anuales periodo de referencia por actividad REDD+ | | | | | |
|---|---|---|--|--|---|
| Región | Emisiones por Deforestación (tCO ₂ e año ⁻¹) | Emisiones por Degradación (tCO ₂ e año ⁻¹) | Emisiones por Aumentos (tCO ₂ e año ⁻¹) | Emisiones por Conservación (tCO ₂ e año ⁻¹) | Total (tCO ₂ e año ⁻¹) |
| Maule | 84.982 | 608.976 | -1.182.162 | -14.780 | -502.985 |
| Biobío | 396.645 | 1.209.890 | -1.282.143 | -72.359 | 252.033 |
| La Araucanía | 1.059.067 | 1.907.344 | -1.517.894 | -334.741 | 1.113.776 |
| Los Ríos | 644.696 | 1.373.080 | -2.022.041 | -710.081 | -714.346 |
| Los Lagos | 1.267.494 | 4.050.103 | -4.007.772 | -1.298.478 | 11.348 |
| Total | 3.452.885 | 9.149.392 | -10.012.012 | -2.430.438 | 159.826 |

Durante el periodo de monitoreo correspondiente a los años 2014, 2015 y 2016, las emisiones agregadas por actividad, alcanzan por deforestación a 2.997.304 tCO₂e/año, por degradación forestal 13.669.578 tCO₂e/año, por aumento de existencias de carbono forestal -19.010.937 tCO₂e/año y por conservación forestal -3.950.207 tCO₂e/año. Con un balance final que representa un volumen de absorción neto de 6.294.264 tCO₂e/año (Tabla 34).

Tabla 34. Emisiones y absorción por actividad durante el periodo de monitoreo.

| Emisiones anuales periodo de monitoreo por actividad REDD+ | | | | | |
|--|---|---|--|--|---|
| Región | Emisiones por Deforestación (tCO ₂ e año ⁻¹) | Emisiones por Degradación (tCO ₂ e año ⁻¹) | Emisiones por Aumentos (tCO ₂ e año ⁻¹) | Emisiones por Conservación (tCO ₂ e año ⁻¹) | Total (tCO ₂ e año ⁻¹) |
| Maule | 20.763 | 577.602 | -707.209 | 16.117 | -92.728 |
| Biobío | 137.403 | 3.474.444 | -663.536 | 476.040 | 3.424.350 |
| La Araucanía | 809.431 | 3.004.683 | -1.207.099 | 219.014 | 2.826.029 |
| Los Ríos | 221.861 | 1.443.749 | -2.232.858 | -298.234 | -865.482 |
| Los Lagos | 1.807.846 | 5.169.100 | -14.200.235 | -4.363.144 | -11.586.433 |
| Total | 2.997.304 | 13.669.578 | -19.010.937 | -3.950.207 | -6.294.264 |

El balance por actividad, entre las emisiones y absorciones reportadas en el NREF/NRF y el volumen de emisiones y absorciones estimado en el periodo de monitoreo, demuestran un resultado de emisiones reducidas por la disminución de la deforestación de 455.581 tCO₂e/año, un incremento de emisiones por degradación forestal de -4.520.186 tCO₂e/año, un incremento de absorción por aumento de existencias de carbono forestal de 8.998.925 tCO₂e/año, y un incremento de las absorciones por conservación forestal de 1.519.769 tCO₂e/año. El balance general demuestra resultados en términos de emisiones reducidas por un volumen total neto de 6.454.090 tCO₂e/año (Tabla 35).



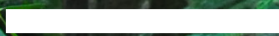
³⁹ Herramienta de cálculo disponible en: https://www.enccrv-chile.cl/images/REDD/herramientas/Resultados_MRV_1.xlsx

Tabla 35. Resultado de REDD+ por actividad.

| EMISIONES REDUCIDAS ANUALES POR ACTIVIDAD REDD+ | | | | | |
|---|--|--|---|---|---|
| Región | ER por Deforestación (tCO ₂ e año ⁻¹) | ER por Degradación (tCO ₂ e año ⁻¹) | ER por Aumento de existencias (tCO ₂ e año ⁻¹) | ER por Conservación (tCO ₂ e año ⁻¹) | Total (tCO ₂ e año ⁻¹) |
| Maule | 64.219 | 31.374 | -474.953 | -30.897 | -410.257 |
| Biobío | 259.242 | -2.264.554 | -618.607 | -548.398 | -3.172.317 |
| La Araucanía | 249.637 | -1.097.340 | -310.795 | -553.755 | -1.712.253 |
| Los Ríos | 422.835 | -70.669 | 210.818 | -411.847 | 151.136 |
| Los Lagos | -540.352 | -1.118.997 | 10.192.463 | 3.064.667 | 11.597.781 |
| Total | 455.581 | -4.520.186 | 8.998.925 | 1.519.769 | 6.454.090 |



Estimación de incertidumbre



Estimación de incertidumbre

La definición de buenas prácticas del IPCC requiere que los inventarios de emisiones cuantifiquen las incertidumbres y las reduzcan tanto como sea posible. Para cumplir con este criterio, debe estimarse y propagarse la incertidumbre de los procesos, variables y fuentes de información mediante métodos eficaces y estadísticamente rigurosos.

El análisis de precisión y la propagación de la incertidumbre fueron realizados por profesionales externos al proceso de generación de la información base. A continuación, se describe la metodología y resultados del análisis de precisión de mapas y propagación de la incertidumbre.

Metodología

Reporte de precisión de mapas de cambio de uso en la tierra 2013/2017

→ Coberturas espaciales de datos de referencia generados mediante el diseño muestral

El análisis de la precisión del mapa de uso y cambio de uso de la tierra para el periodo 2013/2017 se realizó sobre los mapas de uso y cambio de uso de la tierra correspondiente a las regiones del Maule, Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos, desarrollados por CONAF para la estimación de emisiones y reducción de emisiones a reportar en este Anexo técnico de resultados REDD+ del IBA de Chile 2018.

Los medios principales para estimar la precisión de mapas de uso y cambio de uso, correspondieron a la comparación entre los resultados de las clasificaciones realizadas en los mapas y las observaciones de referencia de una muestra. Los factores que influyen en la estimación son el diseño del muestreo y el tamaño de la muestra de evaluación de la exactitud, y la exactitud de los mapas. En este sentido, para obtener resultados óptimos en esta actividad y buscando una consistencia metodológica con los reportes anteriores realizados por CONAF, el análisis de precisión se realizó utilizando la metodología aplicada en el NREF/NRF, basada a su vez en el método descrito en Olofsson *et al.* (2013)⁴⁰. Para la aplicación de esta metodología, se emplearon los siguientes pasos:

a) Diseño Muestral:

Los datos utilizados para estimar la precisión fueron seleccionados a través de un diseño de muestreo probabilístico estratificado para cada cambio en el uso de la tierra. Bajo este criterio, se obtuvo un conjunto de muestras que permitió elaborar estimaciones suficientemente precisas de la superficie de las clases de uso de la tierra para cada una de las regiones analizadas.

Cada uno de los mapas de cambio de uso de la tierra evaluados se ajustó a la definición de bosque y actividades y sub actividades REDD+. Por lo tanto, las clases a considerar son: Bosque estable, Otros usos de la tierra estables, Deforestación, Conversión de bosque nativo a plantación forestal, Incremento de superficie forestal (aumento de existencias), y Restitución. Finalmente, para determinar el tamaño de la muestra se utilizó el método definido por Cochran (1977)⁴¹ y aplicado por Olofsson *et al.* (2013).

Para el diseño de la muestra, se utilizó la plataforma denominada SEPAL⁴², herramienta que crea un muestreo aleatorio estratificado para estimar las áreas de uso y cambio de uso de la tierra. Opera combinando un mapa (utilizado como una estratificación del área de interés) con una interpretación de una muestra visual bien elegida para producir estimaciones de la superficie.

Para la evaluación de las muestras aplica el concepto proveniente de los principios de evaluación de la exactitud de un mapa temático mediante el análisis de errores de omisión y comisión para cada clase del mapa. De esta forma, cada clase puede utilizarse para calcular las estimaciones de área, así como para estimar las incertidumbres (intervalos de confianza) de las



⁴⁰ <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425712004191>

⁴¹ <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2015028634>

⁴² SEPAL: Herramienta desarrollada por FAO para mejorar el acceso a los datos y la entrega de datos satelitales (pre) procesados y productos de información forestal para que los países en desarrollo dispongan de una capacidad autónoma para monitorear sus actividades REDD + relacionadas con el bosque. Mayor información del SEPAL: <https://sepal.io/>

áreas de cada clase. Esta herramienta crea un muestreo aleatorio estratificado para estimar las áreas de uso del suelo. En resumen, la herramienta proporciona una interfaz sencilla para producir una evaluación de la precisión a partir de un mapa de entrada.

La siguiente ecuación calcula el tamaño total de la muestra aleatoria estratificada, que luego se distribuye entre las diferentes clases de cambio.

$$n = \frac{(\sum W_i S_i)^2}{[S(0)]^2 + (\frac{1}{N}) \sum W_i S_i^2} \approx (\sum W_i S_i / S(0))^2$$

Ec. 20

Dónde:

- n = Tamaño de la muestra
- N = Población total de la muestra (superficie total)
- S(0) = Error estándar de la precisión global
- W_i = Proporción del estrato i del mapa
- S_i = Desviación estándar del estrato i

b) Validación de clases:

Para el objetivo de evaluación de la precisión, el diseño de respuesta abarcó todos los pasos del protocolo que conducen a la definición sobre el nivel de acierto existente entre la clasificación de referencia (obtenida a través de encuestas en Collect Earth) y la clasificación producida por el usuario (mapa de uso y de cambio de uso de la tierra).

→ **Formulario de encuesta y herramientas aplicadas en la plataforma Collect Earth para la validación de clases**

Las características principales de la encuesta aplicada para evaluar la precisión de los mapas de cambio de uso de la tierra corresponden a:

- a) La unidad espacial:** en el caso específico del análisis de mapas de cambios de uso de la tierra se estableció como unidad espacial los polígonos de cambio, definiendo una superficie mínima de 0,36 hectáreas para evitar incluir potenciales errores topológicos o de edición entre los elementos a validar.
- b) La fuente o fuentes de información:** la fuente utilizada para determinar la clasificación de referencia debe tener mayor calidad que la fuente utilizada en la clasificación del usuario. Para la evaluación de la precisión de los cambios de uso de la tierra, se utilizó la herramienta Collect Earth, que permitió el acceso a múltiples conjuntos de datos satelitales de alta resolución espacial y temporal.

→ **Ejemplo de formulario de encuesta aplicada en la plataforma Collect Earth para la validación de clases**

La toma de datos a través de Collect Earth se realizó utilizando un formulario diseñado con los datos de uso de la tierra y cobertura de las parcelas que forma una malla de puntos que está distribuida de manera probabilística estratificada.

El uso de este formulario permite identificar la subdivisión de uso (tipo de bosque, cultivo, etc.), si ha habido un cambio de uso del suelo o se mantiene el mismo uso de la tierra, y también si ha existido un cambio de subdivisión según lo siguiente:

- **Bosque estable:** Correspondiente a la superficie reportada como Bosque nativo en el "Mapa de usos y cambios de uso de la tierra 2013" que se mantiene en la misma categoría en 2017.
- **Otros usos estables:** Correspondiente a la superficie reportada como usos de la tierra diferente a Bosque nativo en el "Mapa de usos y cambios de uso de la tierra 2013" que se mantiene en la misma categoría en 2017.
- **Deforestación:** Corresponde a la superficie de Bosque nativo transformada a otros usos de la tierra distinto del uso bosque entre los Mapas de 2013 y 2017, especificando uso de la tierra final.
- **Conversión de bosque nativo a plantación forestal:** Corresponde a la superficie de Bosque nativo transformada a Plantación forestal entre los Mapas de 2013 y 2017, especificando uso de la tierra final.

- **Incremento de superficie forestal:** Corresponde a la superficie de otros usos de la tierra distinta del uso bosque transformada a Bosque nativo entre los Mapas de 2013 y 2017, especificando uso de la tierra inicial. En esta categoría de cambio, se incluye el matorral arborescente clasificado en el 2013 que pasó a bosque nativo en el 2017.
- **Restitución:** Corresponde a la superficie de plantaciones forestales transformada a Bosque nativo entre los Mapas de 2013 y 2017.

→ Análisis de datos

El análisis de precisión fue realizado a través de la elaboración de la Matriz de confusión, la que corresponde a una tabulación cruzada simple de las etiquetas de clase asignadas por la clasificación de los datos detectados remotamente contra los datos de referencia para los sitios de muestra.

→ Matrices de error por Región y graficas de resultados por región y categoría de cambio en el uso de la tierra.

La Matriz de Error organiza los datos de muestra adquiridos de una manera que resume los resultados clave y ayuda a la cuantificación de la precisión y de la superficie de error. La diagonal principal de la matriz de error resalta las clasificaciones correctas, mientras que los elementos fuera de la diagonal muestran errores de omisión y comisión. Las entradas de celda y los valores marginales de la matriz de error son fundamentales tanto para la evaluación de la precisión como para la estimación de área. Un ejemplo de la matriz de error se muestra a continuación (Figura 14).

| Hectareas | | Verdad terreno | | | | | | | |
|----------------|------------------------|----------------------|------------------------|------------------|----------------|------------|----------------|------------|------|
| | | 1, bosque permanente | 2, otro uso permanente | 3, deforestación | 4, sustitución | 5, aumento | 6, restitución | | |
| Mapa de cambio | 1, bosque permanente | 10,830.78 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 10,830.78 | 1.00 |
| | 2, otro uso permanente | 0.00 | 452,574.86 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 452,574.86 | 1.00 |
| | 3, deforestación | 76.62 | 21.23 | 81.46 | 8.88 | 0.00 | 0.00 | 188 | 0.43 |
| | 4, sustitución | 32.31 | 13.94 | 0.32 | 4.71 | 0.00 | 0.00 | 51 | 0.09 |
| | 5, aumento | 66.04 | 23.51 | 0.00 | 0.00 | 82.69 | 0.00 | 172 | 0.48 |
| | 6, restitución | 17.08 | 19.24 | 0.00 | 0.00 | 0.35 | 4.00 | 41 | 0.10 |
| | | 11,023 | 452,653 | 82 | 14 | 83 | 4 | 463,858 | |
| | | 0.98 | 1.00 | 1.00 | 0.35 | 1.00 | 1.00 | | |

Figura 14. Ejemplo de matriz de error para la evaluación de la precisión del cambio en el uso de la tierra - Región del Maule

Herramienta de Propagación de Incertidumbre

La incertidumbre se estimó según los métodos de propagación de errores descrito en las ecuaciones 3.1 y 3.2 de IPCC (2006), lo que permite mantener la consistencia con el NREF/NRF consignado a la CMNUCC en 2016 en el cual se aplicaron los mismos métodos.

$$U_{total} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2}$$

Ec. 21

Dónde:

U_{total} = Porcentaje de incertidumbre del producto de los pesos (la mitad del intervalo de confianza del 95 por ciento, dividido por el total y expresado como porcentaje)

U_i = Porcentaje de incertidumbre asociado con cada uno de los pesos.

$$U_{total} = \frac{\sqrt{(U_1 * x_1)^2 + (U_2 * x_2)^2 + \dots + (U_n * x_n)^2}}{|x_1 + x_2 + \dots + x_n|}$$

Ec. 22 (Ec. 3.2)

Dónde:

U_{total} = Porcentaje de incertidumbre de la suma de los pesos (la mitad del intervalo de confianza del 95, dividido por el total (es decir, la media) y expresado como porcentaje). El término "incertidumbre" se basa en el intervalo de confianza del 95 por ciento.

X_i, U_i = Incertidumbre absoluta y porcentaje de incertidumbre asociados, respectivamente.

La propagación de errores sin ponderación (Ec. 21) se utiliza cuando los parámetros son directamente multiplicados para estimar el resultado final (por ejemplo, para estimación de emisiones por deforestación se realiza una multiplicación directa de pérdida de bosque por el factor de emisión resultante de este cambio de uso y cobertura del suelo). Mientras la propagación de errores ponderada (Ec. 22) es aplicada cuando los parámetros son sumados para estimar el resultado final (por ejemplo, remociones por aumentos de carbono forestal resultado de la suma directa de los aumentos por conversión de no-bosque a bosque, y aumentos en bosques que permanecen como tales).

Se utilizó este método porque la incertidumbre en las emisiones y absorciones pueden ser propagadas en base a las incertidumbres en los datos de actividad y factores de emisión. Más allá, los rangos relativos de la incertidumbre de estos parámetros permanecen estables durante el periodo histórico de referencia, y se espera lo mismo durante el periodo de desempeño.

Los datos referentes a la incertidumbre se recopilaron para cada fuente o sumidero de emisiones considerada en la elaboración de los reportes por actividad REDD+ individualmente, y la propagación de errores a través de diferentes actividades para una integración final de la incertidumbre total.

Resultados

Cálculo de la incertidumbre⁴⁴

La incertidumbre constituye un elemento esencial en el manejo de datos y reporte de información, ya que las estimaciones de emisiones y absorciones difieren del valor real subyacente. Algunas causas de incertidumbre como errores de muestreo, exactitud de los instrumentos, y varianza estadística de los modelos son bien definidas y relativamente fáciles de caracterizar para la inclusión en la cuantificación de incertidumbre. Otras causas, tales como el sesgo, son más complicadas.

→ Datos de actividad

Cambios de uso o sub-uso de la tierra⁴⁵

Las actividades y sub-actividades REDD+ bajo esta categoría son:

- Deforestación
- Degradación por sustitución
- Aumentos de carbono forestal por transiciones de no-bosque a bosque

Los errores relacionados con el uso y sub-uso según la caracterización de Catastro, son calculados siguiendo las buenas prácticas para estimación de la precisión de cambio de uso descritas en Olofsson *et al.* (2014)⁴⁶. Para emplear este enfoque, las clases de cambio de uso fueron validadas usando Collect Earth⁴⁷, validando mediante esta herramienta online las categorías de un total de 1.868 polígonos que representan una superficie total de 1.832.483 hectáreas. La Tabla 36, muestra la distribución del número de polígonos y área utilizada para la validación por periodo y región considerados en este Anexo de resultados REDD+.



⁴⁴ La herramienta utilizada para estimar la incertidumbre se encuentra en: https://www.enccrv-chile.cl/images/REDD/herramientas/Herramienta_Incertidumbre.xlsx

⁴⁵ Las matrices de confusión de los mapas de cambio de uso de la tierra se encuentran disponibles en: https://www.enccrv-chile.cl/images/REDD/herramientas/Incertidumbre_Mapas_cambio.zip

⁴⁶ Olofsson, P.; Foody G. M.; Herold M.; Stehman S. V.; Woodcock C. E.; Wulder M. A. 2014. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment* 148, 42-57 pp.

⁴⁷ Más información en: <http://www.openforis.org/tools/collect-earth.html>

Tabla 36. Número de polígonos y área mapeada por región.

| Región | Nº de polígonos | Superficie (ha) |
|--------------|-----------------|-----------------|
| Maule | 418 | 463.858 |
| Biobío | 340 | 179.914 |
| La Araucanía | 420 | 387.687 |
| Los Ríos | 420 | 392.553 |
| Los Lagos | 270 | 408.471 |

Con esta validación, se crearon matrices de confusión de cambios de uso por periodo y región para el periodo 2013-2017, y se estimó el intervalo de confianza al 95% para cada categoría de cambio de uso. Posteriormente, el error fue estimado por clase y se incluye en el cálculo de propagación de la incertidumbre por sub-actividad y actividad.

Tabla 37. Incertidumbre por tipo de cambio y región para el período 2013-2017

| Actividad | Maule | Biobío | La Araucanía | Los Ríos | Los Lagos |
|---|--------|--------|--------------|----------|-----------|
| Deforestación | 11,09% | 3,41% | 9,85% | 7,98% | 23,37% |
| Conversión de bosque nativo a plantación forestal | 10,92% | 6,19% | 6,46% | 4,54% | 7,58% |
| Restitución | 10,71% | - | 2,93% | 6,55% | - |
| Incremento de superficie forestal | 10,95% | 8,84% | 7,90% | 9,37% | 10,96% |
| Bosque estable | 0,03% | 0,61% | 7,28% | 0,02% | 0,30% |

→ Datos de actividad

Existen cuatro fuentes de error que afectan a los datos de actividad estimados en bosque permanente:

01. Error procedente del mapeo de bosque permanente de Catastro,
02. Error relacionado con el desempeño radiométrico y geométrica de las imágenes satelitales utilizadas,
03. Error procedente de la interpolación del área basal utilizado para la aplicación del algoritmo K-nn, y
04. Error del mapeo de degradación en el área del programa de reducción de emisiones.

Mapeo de bosque permanente a través de Catastro

Es importante destacar que una de las clases validadas es la de bosque permanente, utilizada como máscara para la ejecución del K-nn. El error en bosque permanente se calculó según la metodología de Olofsson *et al.* (2014) siendo los resultados diferentes por región y periodo (Tabla 38).

Tabla 38. Estimación de la incertidumbre de bosque permanente por región

| Actividad | Maule | Biobío | La Araucanía | Los Ríos | Los Lagos |
|----------------|-------|--------|--------------|----------|-----------|
| Bosque estable | 0,03% | 0,61% | 7,28% | 0,02% | 0,30% |

Error de desempeño radiométrico y geométrico de las imágenes satelitales

Para la estimación de la incertidumbre relacionada con el desempeño geométrico de los equipamientos satelitales, se utilizaron las publicaciones científicas de Storey (2008⁴⁸, 2014⁴⁹) resumidas en la Tabla 39.



⁴⁸ Storey *et al.*, 2008. J. Storey, K. Lee, M. Choate. Geometric performance comparison between the OLI and the ETM+. Proceedings of the PECORA 17 Conference (2008, November 18-20). 8pp

⁴⁹ Storey, J.; Choate, M.; Lee, K. Landsat 8 Operational Land Imager On-Orbit Geometric Calibration and Performance. Remote Sensing. 2014, Vol. 6, Núm. 11, pp 11127-11152.

Tabla 39. Desempeño geométrico de Landsat 7 (Storey *et al.*, 2008) y Landsat 8 OLI (Storey *et al.*, 2014)

| Evaluación por tipo de desempeño | Precisión | Evaluación por tipo de desempeño | Los Lagos |
|--|-----------|---|-----------|
| Co-registro de bandas Absoluto Geodésica | 3,00 | 4,10 (todas las bandas) 3,40 (sin la banda cirrus) | LE90 |
| Relativo Geodésica | 45-190 | 0,18 | CE90 |
| Co-registro de imágenes | 17,00 | | CE90 |
| Geometría con correcciones de terreno | 10,50 | 6,60 | LE90 |
| Co-registro de bandas | 15,00* | 7,00-13,00 | CE90 |

* Basada en todas las bandas, incluyendo cirrus. La precisión de la banda 9 es 3.4m

En relación con la tabla anterior, el co-registro de bandas corresponde al ajuste espacial que se produce entre las diferentes bandas espectrales que forman una imagen. La precisión absoluta geodésica permite la determinación de la posición de los datos, derivada de los datos corregidos de manera sistemática y sin el uso de puntos de control; basado en posición, efeméride, y (cuando estén disponibles) datos de la plataforma GPS. La precisión de co-registro de la imagen compara la posición de los píxeles específicos para las capturas de dos o más fechas en la misma zona.

En general, las representaciones geométricas reales de Landsat 7 y 8 para bandas pasivas exceden significativamente sus especificaciones técnicas de error circular y lineal, con intervalos de confianza del 90% (USGS, 1998⁵⁰. USDOL, 2016⁵¹).

Desempeño Radiométrico

El rendimiento radiométrico de las imágenes para la clasificación o cálculo de índices se puede hacer con aproximaciones absolutas o relativas. Las aproximaciones absolutas, a partir de modelos físicos de transferencia radiativa requieren una cantidad significativa de parámetros de entrada; que no siempre están disponibles. Por otro lado, las calibraciones relativas demuestran gran utilidad cuando no es necesario obtener los valores de naturaleza física sostenidos en el tiempo.

Superficie de incendios forestales

La superficie de incendios forestales es reportada por las brigadas de combate de incendios de terreno de CONAF. La incertidumbre de la superficie impactada por incendios forestales, del 15%, procede de las bases de datos del INGEI.

→ Factores de emisión

Esta sección no se divide entre cambios de uso de la tierra y bosques que permanecen bosques porque todos los factores de emisión son derivados de 3 fuentes principales:

- Inventario Forestal Nacional de INFOR
- Inventario de Biomasa de CONAF
- Factores por defecto del IPCC (2006)

Todas las fuentes de incertidumbre relacionadas a los factores de emisión de las diferentes actividades REDD+ pueden ser descargadas en "Herramienta_incertidumbre"⁵².

Errores en contenido de carbono

La incertidumbre de la biomasa aérea en bosques nativos se debe a errores de medición de campo, errores en las funciones para el cálculo de volumen individual de especies de árboles, error en el factor de expansión de la biomasa, y el error en el valor de densidad básica de la madera de los bosques nativos:

⁵⁰ USGS, 1998. Landsat 7 Data Science Users Handbook. Revised edition. 207pp. descargado Julio 01, 2016 desde: https://landsat.gsfc.nasa.gov/wp-content/uploads/2016/08/Landsat7_Handbook.pdf

⁵¹ USDOL, USGS, 2016. LSDS-174 Landsat 8 (L8) Data Users Handbook v2.0. Marzo 29, 2016. 98pp. descargado Julio 01, 2016 desde: <https://landsat.usgs.gov/documents/Landsat8DataUsersHandbook.pdf>

- Incertidumbre debido a mediciones de campo del diámetro a la altura del pecho (DAP)

Sobre la base de una muestra de control de las mediciones de DAP, que consiste en 30 árboles cada uno con 10 mediciones, se calculó el error estándar de la estimación (SEE) de acuerdo con la siguiente ecuación (Berger *et al.* 2014⁵³):

$$SEE = \frac{1}{n-1} \sqrt{([Dif_1] - [Dif_1])^2}$$

Ec. 23

Dónde:

SEE = Error estándar de la estimación

Dif₁ = Promedio de la diferencia entre el DAP observado y el DAP medido

De acuerdo con este modelo, el SEE utiliza una regresión no lineal basada en diferentes valores de clase mediante la siguiente ecuación:

$$\widehat{SEE} = \beta_1 + \beta_2 [1 - e^{(\beta_3 DAP)}]$$

Ec. 24

Dónde:

β₁= -0,02; β₂= 0,077; β₃= -0,066

Tabla 40. SEE basado en mediciones de error corregida

| DAP(cm) | SEE (cm) |
|---------|----------|
| <= 10 | 0,012164 |
| 12 | 0,015644 |
| 16 | 0,021366 |
| 20 | 0,02576 |
| 24 | 0,029135 |
| 28 | 0,031727 |
| 32 | 0,033717 |
| 36 | 0,035246 |
| 40 | 0,03642 |
| 44 | 0,037321 |
| 48 | 0,038014 |
| >= 52 | 0,038545 |

Teniendo en cuenta todos los árboles medidos en el inventario, la estimación del peso de SEE por la densidad de medición de DAP es 0.03384 cm, con una media de DAP 32.8 cm (Tabla 41).



⁵² Disponible en: https://www.enccrv-chile.cl/images/REDD/herramientas/Herramienta_Incertidumbre.xlsx

⁵³ Berger, A., Gschwantner, T., McRoberts, R.E. and Schadauer, K., 2014. Effects of measurement errors on individual tree stem volume estimates for the Austrian National Forest Inventory. *Forest Science*, 60(1), pp.14–24.

Tabla 41. Relación entre DAP y número de árboles

| DAP | Densidad (arb/ha) | DAP | Densidad (arb/ha) |
|-----|-------------------|-----|-------------------|
| 10 | 326 | 58 | 27 |
| 13 | 237 | 61 | 26 |
| 16 | 183 | 64 | 25 |
| 19 | 154 | 67 | 26 |
| 22 | 134 | 70 | 24 |
| 25 | 75 | 73 | 25 |
| 28 | 44 | 76 | 24 |
| 31 | 39 | 79 | 24 |
| 34 | 35 | 82 | 22 |
| 37 | 33 | 85 | 25 |
| 40 | 32 | 88 | 24 |
| 43 | 31 | 91 | 24 |
| 46 | 28 | 94 | 24 |
| 49 | 29 | 97 | 24 |
| 52 | 28 | 100 | 27 |
| 55 | 26 | | |

Por lo tanto, teniendo en cuenta el error estándar de la estimación ponderado, el DAP promedio, el tamaño de la muestra de 300, el porcentaje de incertidumbre debido a las mediciones de DAP es de 0,20%.

- Función volumétrica para la estimación de la biomasa (excluye factor de área basal)

Los errores estándar de la estimación (S_{yx}) de las ecuaciones volumétricas de árboles individuales se tomaron de la base de datos del Inventario Forestal Nacional. La incertidumbre asociada con el uso de las ecuaciones volumétricas se estima en este inventario. Para el cálculo de esta incertidumbre, se realiza el procedimiento identificado en la Figura 15.

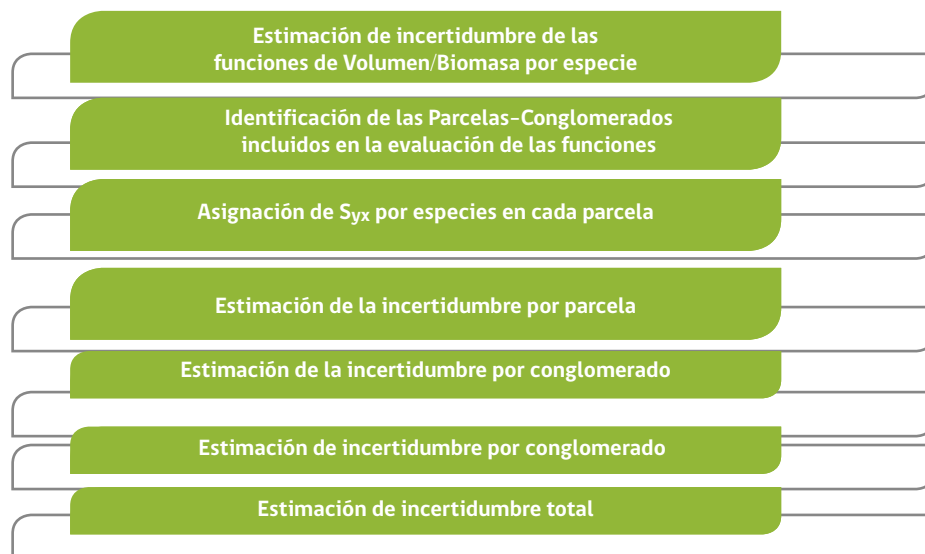


Figura 15. Procedimiento para estimar la incertidumbre producto de la aplicación de funciones volumétricas

La incertidumbre por hectárea y por árbol se describe en la Tabla 42.

Tabla 42. Variables en la estimación e incertidumbre relativa al uso funciones volumétricas

| Número de árboles | 6,96 |
|---|--------|
| Número de especies | 52 |
| Clúster usados | 244 |
| Desviación estándar (m ³ /árboles) | 0,01 |
| Desviación estándar (m ³ /ha) | 3,9 |
| Media (m ³ /árboles) | 0,31 |
| Media (m ³ /ha) | 122,27 |

Teniendo en cuenta los datos presentados en la tabla anterior la incertidumbre estimada (en el intervalo de confianza del 95%) para la estimación de los volúmenes de árbol es 0,07%.

Factor de expansión de bosque nativo

La incertidumbre para el factor de expansión de bosque nativo es 18% y se calculó de la base de datos estadísticos del Inventario de biomasa de CONAF.

Densidad básica de las especies nativas

El error de la estimación de densidad básica de las especies nativas es 5,6%. Se calcula utilizando los datos de densidad básica de la madera, compilados para las especies que crecen en Chile.

Ratio raíz (factor R) para bosque nativo

El error de esta proporción es del 40% y se calculó de la base de datos estadísticos del Inventario de Biomasa de CONAF a cargo de la Universidad Austral de Chile.

Necromasa

Los errores detectados necromasa surgen como resultado de las diferencias en las medias de muestreo del Inventario Forestal Nacional. Estos promedios son estimadores de muestreo insesgado de varianza de la población. El muestreo estratificado no se llevó a cabo con el fin de obtener predicciones según las regiones.

Biomasa de matorral arborescente

La Incertidumbre asociada con la biomasa aérea de matorral arborescente, pastizales, matorral- pastizal, matorral, matorral con Suculentas, Suculentas, y la plantación de arbustos, así como su relación raíz-brote, fue el resultado de un error de muestreo aleatorio (Gayoso, 2006)⁵⁴.

Función volumétrica para la estimación de biomasa en bosque permanente (incluye factor de área basal)

Para los análisis de la incertidumbre de la estimación de biomasa en bosque permanente, los errores descritos anteriormente a partir de mediciones de campo, factor de expansión y la densidad básica de la madera están incluidos, así como el error de la función volumétrica.

Sobre la base de estos parámetros, fue calculado el intervalo de confianza del 95% en $\pm 218,91$ m³/ha, y la incertidumbre como porcentaje de la media estimada en el 68,3%.



⁵⁴ Gayoso, J. 2006. Inventario de carbono en praderas y matorrales para el estudio de línea de base. proyecto SIF sociedad inversora forestal s.a. regiones VII Y VIII

Tabla 43. Fuentes de incertidumbre relacionada con los factores de emisión.

| Ítem | Error (%) | Fuente |
|---|-----------|--|
| Diámetro a la altura del pecho | 0,2 | Inventario Forestal Nacional INFOR |
| Ecuaciones volumétricas | 0,07 | |
| Factor de expansión de la biomasa | 18 | Inventario de biomasa CONAF |
| Densidad básica para especies nativas | 5,6 | Inventario Forestal Nacional INFOR |
| Ratio Raíz-planta para especies nativas | 40 | Inventario de biomasa CONAF |
| Materia orgánica muerta (biomasa muerte en pie) | 28 | Error estimado en las parcelas permanentes del Inventario Forestal Nacional INFOR |
| Materia orgánica muerta (Residuos en el suelo) | 24 | |
| Biomasa aérea matorral arborescente | 22,42 | Gayoso, J. 2006. |
| Ratio Raíz-planta para matorral arborescente | 48,27 | |
| Biomasa aérea de tierras agrícolas | 75 | INGEI |
| Biomasa aérea de pastizales | 27,7 | Gayoso, J. 2006. |
| Biomasa aérea de matorral-pradera | 34,6 | |
| Biomasa aérea de matorral | 34,6 | |
| Biomasa aérea de matorral con suculentas | 34,6 | |
| Biomasa aérea de suculentas | 27,7 | |
| Plantaciones arbustivas | 34,6 | |
| Áreas urbanas e industriales | 95 | INGEI |
| Plantaciones | 8 | |
| Área basal estimada | 1,6 | Calculo basado en un área basal promedio de (29.0 m ²) y un error de estimación (13.7 m ²). |
| Funciones volumétricas para estimación de biomasa | 0,1 | Inventario Forestal Nacional INFOR |
| Funciones volumétricas de biomasa en bosque permanente (basada en área basal) | 68,3 | |
| Factor de combustión, Regiones | 36 | Error pronosticado utilizando la desviación estándar y promedio por defecto de los factores de combustión de GL- 2006. |
| Factor de emisión CH ₄ | 29 | Error pronosticado utilizando la desviación estándar y promedio por defecto de los factores de emisión IPCC (2006). |

Tabla 44. Fuentes de incertidumbre relacionada con las tasas de incremento promedio anual.

| Ítem | Error (%) | Fuente | |
|---|-----------|---|---------------|
| Factor de emisión N ₂ O | 43,8 | Error pronosticado utilizando la desviación estándar y promedio por defecto de los factores de emisión IPCC (2006). | |
| Incremento promedio anual Alerce renoval | 58,47 | Por falta de datos específicos se asume el error de IPA más alto de forma conservadora. | |
| Incremento promedio anual Alerce adulto | 58,47 | | |
| Incremento promedio anual Ciprés de la Guaitecas renoval | 12,02 | Inventario Forestal Nacional INFOR | |
| Incremento promedio anual Ciprés de la Guaitecas adulto | 58,47 | Por falta de datos específicos se asume el error de IPA más alto de forma conservadora | |
| Incremento promedio anual Araucaria renoval | 58,47 | | |
| Incremento promedio anual Araucaria adulto | 58,47 | Inventario Forestal Nacional INFOR | |
| Incremento promedio anual Ciprés de la cordillera renoval | 9,97 | | |
| Incremento promedio anual Ciprés de la cordillera adulto | 15,83 | | |
| Incremento promedio anual Lenga renoval | 58,47 | | |
| Incremento promedio anual Lenga adulto | 50,18 | | |
| Incremento promedio anual Coihue de Magallanes renoval | 7,68 | | |
| Incremento promedio anual Coihue de Magallanes adulto | 13,42 | | |
| Incremento promedio anual Roble Hualo renoval | 10,19 | | |
| Incremento promedio anual Roble Hualo adulto | 20,58 | | |
| Incremento promedio anual Roble raulí coihue renoval | 11,6 | | |
| Incremento promedio anual Roble raulí coihue adulto | 28,75 | | |
| Incremento promedio anual Coihue raulí tepa renoval | 9,19 | | |
| Incremento promedio anual Coihue raulí tepa adulto | 20,51 | | |
| Incremento promedio anual Esclerófilo renoval | 21,31 | | |
| Incremento promedio anual Esclerófilo adulto | 32,49 | | |
| Incremento promedio anual Siempreverde renoval | 11,5 | | Gayoso (2006) |
| Incremento promedio anual Siempreverde adulto | 21,91 | | |
| Incremento promedio anual Matorral arborescente | 11,13 | Se asume el promedio de todos los tipos forestales por la falta de datos específicos | |
| Incremento promedio anual Bosque Mixto | 27,57 | | |

Cuantificación de la incertidumbre

Estimación de la incertidumbre

Las incertidumbres de este Anexo técnico de Resultado REDD+ fueron estimadas según el método de propagación de errores descrito en la ecuación 3.1 y 3.2 del IPCC (2006) (Ecuación 21 y 22 respectivamente de este documento).

La propagación de errores sin ponderación (ecuación 21) fue utilizada cuando los parámetros eran directamente multiplicados para estimar el resultado final. Mientras la propagación de errores ponderada fue utilizada cuando los parámetros eran sumados para estimar el resultado final.

Se utilizó este método porque la incertidumbre en las emisiones y absorciones reportadas en este Anexo técnico de Resultado REDD+ de Chile pueden ser propagadas en base a las incertidumbres en los datos de actividad y factores emisión. Más allá, los rangos relativos de la incertidumbre de estos parámetros permanecen estables durante el periodo histórico de referencia, y se espera lo mismo durante el periodo de desempeño.

Se estimó la incertidumbre para cada fuente o sumidero de emisiones considerada en este Anexo técnico de Resultado REDD+ por actividad REDD+ individualmente, y la propagación de errores a través de diferentes actividades para una integración final de la incertidumbre total.

→ **Deforestación**

El primer paso de la propagación de errores por deforestación fue la estimación de incertidumbre de contenido de carbono para los diferentes sumideros de bosque nativo, bosque mixto, (biomasa aérea, biomasa subterránea, y necromasa en pie y materia orgánica muerta) y matorral arborescente (biomasa aérea, biomasa subterránea). El total de incertidumbre de los factores de emisión para cada región fue calculado ponderando en primer lugar la incertidumbre de cada reservorio.

Tabla 45. Incertidumbre de factores de emisión de deforestación

| Componentes | Error (%) | Fuente |
|---|-----------|--|
| Biomasa aérea para bosque nativo y bosque mixto | 18,9 | Error de medición, error de ecuación volumétrica, Factor de expansión de error, y error básico densidad de la madera |
| Biomasa subterránea para bosque nativo y bosque mixto | 44,2 | |
| Materia orgánica muerta (en pie) | 28,4 | Error estimado en parcelas del Inventario Forestal Nacional INFOR |
| Materia orgánica muerta (litter) | 24,2 | |
| Matorral arborescente | 34,0 | Gayoso (2006) |
| Ratio raíz-planta para matorral arborescente | 48,3 | |

La incertidumbre total de los factores de emisión, de cada región, fueron calculados utilizando la ecuación 22, ponderando las toneladas de carbono por hectárea en cada reservorio y región.

Tabla 46. Incertidumbre de factores de emisión de deforestación para bosque nativo y bosque mixto por región

| Región | Error (%) |
|--------------|-----------|
| Maule | 16,9 |
| Biobío | 16,8 |
| La Araucanía | 15,7 |
| Los Ríos | 14,4 |
| Los Lagos | 15,0 |

Para los datos de actividad, se analizaron las matrices de confusión generadas utilizando Collect Earth siguiendo las buenas prácticas de definidas por Olofsson *et al.* (2014), y la estimación de incertidumbre al 95% para la clase de cambio de deforestación para cada periodo según se refleja en la siguiente tabla.

Tabla 47. Incertidumbre de datos de actividad de deforestación para el periodo 2013-2017

| Región | Periodo | Error (%) |
|------------------------------|-----------|-----------|
| Maule - Deforestación | 2013-2017 | 11,09 |
| Biobío - Deforestación | 2013-2017 | 3,41 |
| La Araucanía - Deforestación | 2013-2017 | 9,85 |
| Los Ríos - Deforestación | 2013-2017 | 7,98 |
| Los Lagos - Deforestación | 2013-2017 | 23,37 |

Finalmente, la combinación de las incertidumbres para cada región se llevó a cabo mediante la ponderación de la incertidumbre de las emisiones regionales por las emisiones reales se produjeron en cada región, lo que resulta en una incertidumbre **deforestación total de 24,8%**.

→ **Degradación Forestal**

Las incertidumbres relativas a la degradación de los bosques fueron divididas por las incertidumbres de las siguientes sub-actividades: sustitución de bosques nativos por plantaciones, incendios forestales y degradación en bosque permanente.

→ Degradación por sustitución

De manera similar a la deforestación, el primer paso es estimar la incertidumbre para la degradación por sustitución es mediante la estimación de la incertidumbre del factor de emisión por cada región mediante la ponderación de la contribución de cada depósito de carbono en la incertidumbre por un factor de emisión. Se consideraron biomasa aérea, biomasa subterránea, y necromasa de bosques nativos y bosques mixtos, mientras que, para matorral arborescente, solamente biomasa sobre el suelo y la subterránea.

El siguiente paso es estimar la incertidumbre de los datos de actividad por región. Para esto, el enfoque descrito en Olofsson *et al.* (2014) se aplicó a la clase de cambio de uso del suelo sustitución de las matrices de confusión generado, dando los siguientes resultados.

Tabla 48. Incertidumbre por región para los datos de actividad de sustitución

| Región | Error (%) |
|--------------|-----------|
| Maule | 10,92 |
| Biobío | 6,19 |
| La Araucanía | 6,46 |
| Los Ríos | 4,54 |
| Los Lagos | 7,58 |

A partir de estos datos se obtiene la propagación de error no ponderada de factores de emisión y datos de actividad por región.

Tabla 49. Incertidumbre de emisiones por sustitución por región

| Región | Error (%) |
|--------------|-----------|
| Maule | 36,8 |
| Biobío | 35,5 |
| La Araucanía | 29,2 |
| Los Ríos | 24,0 |
| Los Lagos | 26,9 |

Posteriormente, la combinación de las incertidumbres para cada región se llevó a cabo mediante la ponderación de la incertidumbre de las emisiones regionales y las emisiones por sustitución que se produjeron en cada región, lo que resulta en una incertidumbre total de degradación por sustitución de 19,4%.

→ Emisiones No-CO₂ de incendios forestales

Para incendios forestales, se estimó la incertidumbre de la masa disponible para la combustión, en base a la biomasa aérea y necromasa (materia orgánica muerta en pie y acostada) del bosque nativo. Como se mencionó anteriormente, las estimaciones regionales de biomasa son diferentes, por lo que también es necesario estimar la incertidumbre de la masa disponible para la combustión a nivel regional. Estas estimaciones se ponderan por la cantidad de biomasa en cada grupo considerado.

Tabla 50. Incertidumbre de la masa disponible para combustión por región

| Región | Error (%) |
|--------------|-----------|
| Maule | 17,9 |
| Biobío | 17,7 |
| La Araucanía | 16,2 |
| Los Ríos | 14,6 |
| Los Lagos | 15,1 |

La incertidumbre de cada GEI liberado durante los incendios forestales (CH₄ y N₂O) se calcula mediante la propagación del error asociado con el factor de emisión de cada uno de estos GEI y la ponderación de acuerdo a la cantidad de emisiones de CH₄ y N₂O.

Tabla 51. Incertidumbre de emisiones GEI por incendios forestales y región

| Región | Error (%) |
|--------------|-----------|
| Maule | 24,3 |
| Biobío | 24,3 |
| La Araucanía | 24,3 |
| Los Ríos | 24,3 |
| Los Lagos | 24,3 |

Finalmente, se combinó la incertidumbre de la masa disponible para combustión por región y la incertidumbre de cada GEI liberado durante los incendios forestales para predecir la incertidumbre regional de los factores de combustión.

Tabla 52. Incertidumbre de los factores de combustión por región

| Región | Error (%) |
|--------------|-----------|
| Maule | 46,9 |
| Biobío | 46,9 |
| La Araucanía | 46,3 |
| Los Ríos | 45,8 |
| Los Lagos | 46,0 |

La incertidumbre parcial estimada debida a los **incendios forestales fue de 26.76%**.

La superficie de bosques quemados reportados por la CONAF se expresa en forma de tabla sin ningún tipo de estimación de la incertidumbre asociada. Por lo tanto, la incertidumbre parcial de degradación debido a los incendios forestales no se combina con la incertidumbre de los datos de actividad.

→ **Degradación en bosque permanente**

La incertidumbre en bosque permanente es la combinación de los errores del mapeo de áreas degradadas con los errores de la estimación de contenido de biomasa perdida en el proceso de degradación.

El mapeo de las zonas degradadas se basa en la propagación no ponderada de los errores de estimación del área basal para calibrar el algoritmo k-nn (igual a 1,6%), con el error del rendimiento radiométrico de las imágenes Landsat para generar los mapas temáticos utilizados para ejecutar el algoritmo k-nn (se estima que 0,05%). A continuación, se combina con los errores del mapeo de Catastro de bosque permanente, que requiere la aplicación del enfoque de Olofsson *et al.* (2014), y el error de mapeo de píxeles identificados como degradados utilizando el algoritmo de k-nn en los mapas temáticos Landsat sobre el área de bosque permanente (notificados al 42%).

Tabla 53. Factores de Incertidumbre en el mapeo de degradación

| Región | Error (%) |
|--|-----------|
| Error de área basal en la calibración del K-nn | 1,60 |
| Desempeño radiométrico de imágenes | 0,10 |
| Maule bosque permanente | 0,03 |
| Biobío bosque permanente | 0,61 |
| Araucanía bosque permanente | 7,28 |
| Los Ríos bosque permanente | 0,02 |
| Los Lagos bosque permanente | 0,30 |
| Precisión de mapeo de degradación | 42,00 |

El error resultante del mapeo de degradación, estimado en 42,0% se combina con el error de la estimación de las reservas de carbono, que es el resultado de la propagación no ponderada del error de las mediciones de campo de DAP (0,2%), error de las funciones volumétricas que emplean áreas basales para la estimación de volumen del árbol (68,3%), factor de expansión para la estimación del volumen total del árbol (18%) y la densidad básica de la madera para la conversión de volumen en biomasa (5,6%).

Tabla 54. Factores de incertidumbre en la estimación de reservas de carbono

| Región | Error (%) |
|---|-----------|
| Medición de DAP | 0,2 |
| Función Volumétrica [Vol = AExp(B* Área Basal)] | 68,3 |
| Factor de expansión | 18,0 |
| Densidad básica de la madera | 5,6 |

El resultado de la propagación de error del mapeo de degradación y la estimación de las reservas de carbono resulta en una **incertidumbre estimada para la degradación en bosque permanente de 82,4%**.

→ **Aumento de existencias de carbono forestal**

Las incertidumbres relativas a la actividad aumento de existencias de carbono forestal se dividieron por las incertidumbres de las siguientes sub-actividades: Aumentos debido a la conversión de no-bosque en bosque y mejoras en el bosque permanente.

→ **Restitución e incremento de superficie forestal**

La incertidumbre de los aumentos por la conversión de otras tierras a bosque se realizó en primer lugar estimando la incertidumbre de los potenciales factores de remoción para cada una de las 13 posibles categorías de conversión de no bosque que podrían convertirse a, tanto renoval como adulto, 12 tipos forestales existentes en el área de programa de reducción de emisiones (incluyendo matorral arborescente y bosque mixto).

Esto deriva en 312 posibles clases de conversión, cada una con su propio error estimado. Eso se debe a que cada clase no forestal tiene un error estimado de las reservas de carbono de pie, y cada uno de los 12 tipos de bosque tiene dos estimaciones de incremento periódico anual (IPA) (una para jóvenes y otra para adultos). Vale la pena señalar que, si bien hay 4 estructuras forestales asignadas por el Catastro para cada tipo de bosque (renoval, renoval/adulto, adulto, y achaparrado), con fines de conservadurismo, y debido a la falta de datos, el IPA de un bosque "renoval" se asumió por cada conversión a un "renoval/adulto", y el IPA para la estructura del bosque "adulto" se supuso para cada conversión de los bosques "achaparrados".

El error estimado de los datos de actividad para esta sub-actividad se calcula mediante la aplicación de las buenas prácticas recomendadas por Olofsson *et al.* (2014) a la clase de bosque permanente de los mapas de uso de suelo. Las matrices de confusión generadas a partir de la validación de los mapas de cambios de uso reportaron resultados por aumentos y restitución.

Tabla 55. Incertidumbre de datos de actividad de No bosques convertidos a bosque por región

| Región | Error (%) |
|--------------|-----------|
| Maule | 10,95 |
| Biobío | 8,84 |
| La Araucanía | 7,90 |
| Los Ríos | 9,37 |
| Los Lagos | 10,96 |

La combinación de los errores de los factores de absorción con los errores de los datos de actividad se llevó a cabo mediante la estimación del área de cada una de las 312 posibles transiciones en cada una de las regiones ponderada por el área respectiva. Esto dio lugar a la estimación de la incertidumbre de las absorciones por región.

Tabla 56. Incertidumbre de las absorciones por región

| Región | Error (%) |
|--------------|-----------|
| Maule | 26,08 |
| Biobío | 29,50 |
| La Araucanía | 15,41 |
| Los Ríos | 17,33 |
| Los Lagos | 22,52 |

La incertidumbre final para esta sub-actividad se estimó mediante la combinación de la incertidumbre regional de la absorción y la ponderación de los diferentes tipos de cambio sucedidos por cada región respectiva en conjunto con el total de las absorciones por conversión de no-bosque en bosque. Esto dio lugar a una **incertidumbre estimada a partir de la conversión de no-bosque en bosque del 12.71%**.

→ **Recuperación de bosques degradados**

La incertidumbre del aumento de existencias de carbono en bosque permanente se estima de la misma forma que la incertidumbre por degradación en bosque permanente.

El resultado de la propagación del error del mapeo de aumento de existencias en bosque permanente con los contenidos de carbono resulta en una **incertidumbre estimada en el 70,9%**.

→ **Conservación forestal**

La estimación de error para la conservación de carbono forestales de se basa en el mismo factor que se ha descrito anteriormente en la degradación y aumentos de carbono forestal en el bosque permanente, debido a que la metodología aplicada es la misma. Las emisiones y/o absorciones que se producen en el interior de las áreas sometidas a procesos formales de conservación se asocian a continuación con la actividad de conservación de carbono forestal.

Sin embargo, dado que la actividad de conservación incluye degradación y aumentos de carbono forestal en el bosque permanente, los errores de estas dos actividades se combinan y se ponderan por el número absoluto de las emisiones y remociones que ocurrieron dentro de las áreas de conservación. Esto da lugar a una **incertidumbre estimada para la conservación de 61,7%**.

→ **Incertidumbre total**

La incertidumbre total consiste en la propagación del error de las incertidumbres de las sub-actividades descritas anteriormente. La propagación del error fue ponderada de acuerdo a las emisiones/absorciones absolutas de cada actividad resultando en una **incertidumbre total de 38,8% (Tabla 57)**.

Tabla 57. Incertidumbre total de los resultados.

| | Error | Incertidumbre (%) |
|--------------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| Deforestación | $U_{\text{Deforestación}}$ | 24,81 |
| Degradación por sustitución | $U_{\text{Deg_Sustitución}}$ | 19,42 |
| Degradación por incendios forestales | $U_{\text{Deg_Incendios}}$ | 26,76 |
| Degradación en bosque permanente | $U_{\text{Deg_Extracción}}$ | 82,38 |
| Aumentos de no-bosque a bosque | $U_{\text{Aumentos_NB-B}}$ | 12,71 |
| Aumentos en bosque permanente | $U_{\text{Aumentos_B-B}}$ | 70,85 |
| Conservación forestal | $U_{\text{Conservación}}$ | 61,70 |
| TOTAL | U_{TOTAL} | 38,68 |



Referencias

- Bahamóndez C, Martín M, Muller-Using S, Rojas Y, Vergara G. 2009. Case Studies in Measuring and Assessing Forest Degradation: An Operational Approach to Forest Degradation. Forestry Department, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Forest Resources Assessment Working Paper. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/012/k7177e/k7177e00.pdf>
- Bahamondez C, Thompson ID. 2016. Determining forest degradation, ecosystem state and resilience using a standard stand stocking measurement diagram: theory into practice. *Forestry*: 0, 1–11.
- Breiman L. 2001. Random Forest. *Machine Learning*. Volume 45, Issue 1, pp 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Cochran WG. 1977. *Sampling Techniques*. Third edition. New York: John Wiley & Sons. SBN 0–471–16240–X.
- CONAF. 2016. Informe Técnico: Protocolo metodológico para la elaboración de mapas de uso y cambios del uso de la tierra Bosque Nativo. 68 pp.
- Etienne M, Prado C. 1982. Descripción de la vegetación mediante la Carta de Ocupación de Tierras. Publicaciones Misceláneas Ciencias Agrícolas Nº10. Fac. Cs. Agrarias y Forestales, U. de Chile. 120 pp.
- FCPF. 2016. FCPF Carbon Fund Methodological Framework Revised Final, June 22, 2016. 41 pag.
- Gayoso J. 2002. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Informe Técnico. Universidad Austral de Chile.
- Gayoso J. 2006. Inventario de carbono en praderas y matorrales para el estudio de línea de base. proyecto SIF sociedad inversora forestal s.a. regiones VII Y VIII
- Gingrich SF. 1967. Measuring and evaluating stocking and stand density in Upland Hardwood forests in the Central States. *Forest Science*: 13:38–53.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for IPCC. Kanagawa, Japan. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use.
- Jin S, Yang L, Danielson P, Homer C, Fry J, Xian G. 2013. A comprehensive change detection method for updating the National Land Cover Database to circa 2011. *Remote Sensing of Environment* 132 (2013) 159–175 <http://digitalcommons.unl.edu/usgsstaffpub/711>
- Langholz J, Krug W (Coord.). 2003. Plan de Acción de Áreas Protegidas Privadas. Anexo 1. Temas Emergentes. V Congreso Mundial de Parques. Durban, Sudáfrica. (documento inédito traducido al español por EUROPARC-España). Disponible en: www.europarc-es.org/intranet/ /EUROPARC/publicado/areas_privadas_durban.pdf

Referencias

Ley N° 20.283. Ley sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal. Diario Oficial de la Republica de Chile, Santiago, 30 de Julio de 2008. <http://bcn.cl/1uvy9>

Martin M, Müller-Using S. 2012. Descripción del Estado actual de Renovales de Roble-Raulí-Coigüe: Regiones del Bio Bio a Los Ríos. Instituto Forestal, Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. 25 pp.

Mujica R. 2000. Untersuchungen zur waldbaulichen Behandlung von Araucaria araucana Wäldern in Südchile. Dissertation bei der Technischen Universität München. 202 pp.

Olofsson P, Foody GM, Herold M, Stehman SV, Woodcock CE, Wulder MA. 2014. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment* 148, 42-57 pp.

Olofsson P, Foody GM, Stehman SV, Woodcock CE. 2013. Making better use of accuracy data in land change studies: estimating accuracy and area and quantifying uncertainty using stratified estimation, *Remote Sens. Environ.*, 129 (0). 122-131 pp.

Storey J, Choate M, Lee K. 2014. Landsat 8 Operational Land Imager On-Orbit Geometric Calibration and Performance. *Remote Sensing*. Vol. 6, Núm. 11, pp 11127-11152.

Storey J, Lee K, Choate M. 2008. Geometric performance comparison between the OLI and the ETM +. *Proceedings of the PECORA 17 Conference*. 8 pp.

Tomppo E. 1991. Designing a satellite image-aided national forest survey in Finland. In *The usability of remote sensing for forest inventory and planning*. SNS/IUFRO Workshop, 26-28 February 1990. Report 4. Remote Sensing Laboratory, Swedish University of Agricultural Sciences, Umeå. pp. 43-47.

USDOI, USGS. 2016. *LSDS-174 Landsat 8 (L8) Data Users Handbook v2.0*. Marzo 29, 2016. 98pp. descargado Julio 01, 2016 desde: <https://landsat.usgs.gov/documents/Landsat8DataUsersHandbook.pdf>

USGS. 1998. *Landsat 7 Data Science Users Handbook*. Revised edition. 207pp. descargado Julio 01, 2016 desde: https://landsat.gsfc.nasa.gov/wp-content/uploads/2016/08/Landsat7_Handbook.pdf



Siglas

| | |
|--------|--|
| APP | Áreas Protegidas de Propiedad Privada |
| AT | Evaluación Técnica (siglas en inglés) |
| CMNUCC | Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático |
| CNR | Comisión Nacional de Riego |
| CONAF | Corporación Nacional Forestal |
| COP | Conferencia de las Partes |
| COT | Carta de Ocupación de Tierras |
| CTICC | Comité Técnico Intraministerial de Cambio Climático |
| CUT | Cambio de Uso de la Tierra |
| DA | Datos de Actividad |
| DMEF | Departamento de Monitoreo de Ecosistemas Forestales |
| ENCCRV | Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales |
| FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (siglas en inglés) |
| FCPF | Fondo Cooperativo del Carbono Forestal (siglas en inglés) |
| FE | Factor de Emisión |
| FMAM | Fondo para el Medioambiente Mundial |
| FUCOA | Fundación de Comunicaciones, Capacitación y Cultura del Agro |
| GEDEFF | Gerencia de Desarrollo y Fomento Forestal |
| GEF | Gerencia de Fiscalización y Evaluación Ambiental |
| GEI | Gases de Efecto Invernadero |
| GEPRIF | Gerencia de Protección contra Incendios Forestales |
| GFOI | Iniciativa Global de Observación Forestal (siglas en inglés) |
| IBA | Informes Bienales de Actualización |
| ICA | Análisis y Consulta Internacional (siglas en inglés) |
| ICP | Iniciativas de Conservación Privada |
| INDAP | Instituto de Desarrollo Agropecuario |

Siglas

| | |
|----------|--|
| INFOR | Instituto Forestal |
| INGEI | Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero |
| IPA | Incremento Periódico Anual |
| IPCC | Panel Intergubernamental de Cambio Climático (Siglas en inglés) |
| MIICA | Análisis de cambio integrado de múltiples índices (siglas en inglés) |
| MINAGRI | Ministerio de Agricultura |
| MMA | Ministerio de Medio Ambiente |
| MST | Manejo Sustentable de la Tierra |
| NBR | Índice de Calcinación Normalizado (siglas en inglés) |
| NDC | Contribución Nacionalmente Determinada (NDC) |
| NDVI | Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (siglas en inglés) |
| NREF/NRF | Niveles de Referencia de Emisiones Forestales y Niveles de Referencia Forestal |
| ODEPA | Oficina de Estudios y Políticas Agrarias |
| ONUREDD | Programa Nacional de la Organización de las Naciones Unidas para REDD+ |
| SAFF | Sistema de Administración y Fiscalización Forestales |
| SAG | Servicio Agrícola y Ganadero |
| SEE | Error Estándar de Estimación (siglas en inglés) |
| SIDCO | Sistema de Información Digital para Control de Operaciones |
| SIMEF | Sistema Integrado de Monitoreo de Ecosistemas Forestales |
| SNASPE | Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Estado |
| SNiChile | Sistema Nacional de Inventarios de GEI de Chile |
| SNMF | Sistema Nacional de Monitoreo Forestal |
| UACH | Universidad Austral de Chile |
| UCCSA | Unidad de Cambio Climático y Servicios Ambientales |



**CHILE LO
HACEMOS
TODOS**



ENCCRV

ESTRATEGIA NACIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO Y RECURSOS VEGETACIONALES

Corporación Nacional Forestal
Unidad de Cambio Climático y Servicios Ambientales (UCCSA)
Gerencia de Desarrollo y Fomento Forestal (GEDEFF)
Corporación Nacional Forestal (CONAF)
Ministerio de Agricultura de Chile

www.enccrv-chile.cl
www.conaf.cl

Paseo Bulnes 377, Oficina 207
Santiago de Chile