



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Protocolo stock de carbono de los ecosistemas forestales nativos



FONDO PARA EL MEDIO AMBIENTE MUNDIAL
INVERTIMOS EN NUESTRO PLANETA



Sistema Integrado
de Monitoreo
de Ecosistemas
Forestales Nativos



Protocolo stock de carbono de los ecosistemas forestales nativos

Elaborado por: Yasna Rojas y Carlos Bahamondez
Instituto Forestal, Chile

Publicado por
la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
y
el Ministerio de Agricultura de Chile

Referencia requerida:

Rojas, Y. y Bahamondez, C. 2021. *Protocolo stock de carbono de los ecosistemas forestales nativos*. Santiago de Chile, FAO y MINAGRI. <https://doi.org/10.4060/cbo869es>

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) o el Ministerio de Agricultura de Chile (MINAGRI), juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites. La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la FAO o MINAGRI los apruebe o recomiende de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan.

Las opiniones expresadas en este producto informativo son las de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente los puntos de vista o políticas de la FAO o MINAGRI.

ISBN 978-92-5-133275-7 [FAO]

© FAO y MINAGRI, 2021



Algunos derechos reservados. Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Organizaciones intergubernamentales.; https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/deed.es_ES.

De acuerdo con las condiciones de la licencia, se permite copiar, redistribuir y adaptar la obra para fines no comerciales, siempre que se cite correctamente, como se indica a continuación. En ningún uso que se haga de esta obra debe darse a entender que la FAO o MINAGRI refrenda una organización, productos o servicios específicos. No está permitido utilizar el logotipo de la FAO o MINAGRI. En caso de adaptación, debe concederse a la obra resultante la misma licencia o una licencia equivalente de Creative Commons. Si la obra se traduce, debe añadirse el siguiente descargo de responsabilidad junto a la referencia requerida: "La presente traducción no es obra de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) o MINAGRI. La FAO/MINAGRI no se hace responsable del contenido ni de la exactitud de la traducción. La edición original en español será el texto autorizado".

Toda controversia que surja en el marco de la licencia y no pueda resolverse de forma amistosa se resolverá a través de mediación y arbitraje según lo dispuesto en el artículo 8 de la licencia, a no ser que se disponga lo contrario en el presente documento. Las reglas de mediación aplicables serán las del Reglamento de Mediación de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual <http://www.wipo.int/amc/en/mediation/rules> y todo arbitraje se llevará a cabo de conformidad con el Reglamento de Arbitraje de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil Internacional (CNUDMI).

Materiales de terceros. Si se desea reutilizar material contenido en esta obra que sea propiedad de terceros, por ejemplo, cuadros, gráficos o imágenes, corresponde al usuario determinar si necesita autorización para tal reutilización y obtener la autorización del titular del derecho de autor. El riesgo de que se deriven reclamaciones de la infracción de los derechos de uso de un elemento que sea propiedad de terceros recae exclusivamente sobre el usuario.

Ventas, derechos y licencias. Los productos informativos de la FAO están disponibles en la página web de la Organización (<http://www.fao.org/publications/es>) y pueden adquirirse dirigiéndose a publications-sales@fao.org. Las solicitudes de uso comercial deben enviarse a través de la siguiente página web: www.fao.org/contact-us/licence-request. Las consultas sobre derechos y licencias deben remitirse a copyright@fao.org.

Fotografía de la cubierta:

©Creative Commons CC0

Índice

Presentación V

Introducción 1

Capítulo 1: Antecedentes 3

 REDD+ 3

 Flujos de carbono y ecosistemas forestales 4

 Ciclo del carbono y manejo forestal 6

Capítulo 2: Metodología 9

 Inventarios forestales 9

 Muestreo 9

 a) Método directo 10

 b) Método indirecto 10

Referencias 11

Figuras

Figura 1: Actividades consideradas bajo mecanismo REDD+ 3

Figura 2: Depósito de carbono 5

Figura 3: Proceso de fotosíntesis 6

Figura 4: Factores para analizar en la capacidad de almacenamiento de carbono 7

Abreviaturas y siglas

CIREN	.....	Centro de Información Recursos Naturales
CMNUCC	...	Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático
CONAF	.....	Corporación Nacional Forestal
DAP	.....	Diámetro de la Altura del pecho
FAO	.....	Food and Agriculture Organization of the United Nations Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FMAM	.....	Global Environment Facility Fondo para el Medio Ambiente Mundial
INFOR	.....	Instituto Forestal
NREF	.....	Nivel de Referencia de Emisiones Forestales
REDD+	.....	Reducing Emissions from deforestation and forest degradation Reducción de emisiones por deforestación y degradación de los bosques
SIMEF	...	Sistema Integrado de Monitoreo de Ecosistemas Forestales Nativos



El Sistema Integrado de Monitoreo y Evaluación de los Ecosistemas Forestales Nativos (SIMEF) es una iniciativa impulsada por los ministerios de Agricultura y de Medio Ambiente, ejecutada por el Instituto Forestal (INFOR) y coejecutada por la Corporación Nacional Forestal (CONAF) y el Centro de Información en Recursos Naturales (CIREN). Cuenta con el apoyo y la supervisión de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) y el Estado chileno.

Este proyecto nacional responde a la necesidad de contar con información integrada, estandarizada y actualizada sobre los ecosistemas forestales nativos de Chile, para lo cual se estableció un modelo de trabajo interinstitucional coordinado entre CONAF, CIREN e INFOR.

Su objetivo es apoyar con información actualizada para la toma de decisiones que aporten al uso sostenible de los recursos forestales nativos, y contribuir a una mejor calidad de vida de las comunidades que cohabitan con el bosque y de la sociedad en su conjunto.

A cuatro años de ejecución de la Iniciativa SIMEF, uno de los logros es haber ampliado en superficie la cobertura del Inventario Forestal Nacional, que ahora cubre más de 14 millones de hectáreas e incorpora territorios inexplorados de las islas al sur de Chiloé. A su vez, se expandió la concepción de inventario y monitoreo, incluyendo, junto con las dimensiones biofísicas, los componentes socioeconómicos y de biodiversidad que son consustanciales a los bosques nativos.

Otros logros sustantivos fueron la actualización y mejora de la metodología de evaluación del cambio de uso de la tierra, reduciendo su ciclo de actualización de cinco a dos años, lo que permitió, entre otras materias, dar una respuesta más eficiente a los compromisos internacionales de Chile en materia de cambio climático, y al mismo tiempo elaborar protocolos y manuales consensuados.

De esta manera, SIMEF pone al país a la vanguardia del conocimiento de sus bosques y ecosistemas forestales permitiendo evaluar, entre otros, el stock de carbono, así como los cambios y proyecciones del mismo en el tiempo, materia de alta trascendencia ante la situación que afecta al planeta.

La presente publicación refleja parte de las actividades y resultados alcanzados durante estos cuatro años de trabajo del SIMEF y pretende ser un aporte para la consolidación de un sistema de monitoreo de los ecosistemas forestales nativos de Chile.



Chile ha avanzado en el marco del mecanismo de mitigación del cambio climático para la Reducción de emisiones por deforestación y degradación (REDD+), en el que la Corporación Nacional Forestal (CONAF) es el foco. Dentro de este mecanismo, el país ya presentó su nivel de referencia de emisiones forestales o nivel de referencia forestal (NREF/NRF).

El contenido de carbono que se encuentra en los ecosistemas forestales es el resultado de la capacidad de almacenamiento que estos tienen mediante el proceso de fotosíntesis. Por otra parte, también las actividades de cortas y extracciones de biomasa del bosque generan emisiones de carbono.

Para conocer el contenido de carbono de un determinado ecosistema forestal se debe realizar un inventario que mida o estime los depósitos o stocks, y planificar mediciones periódicas para saber los cambios que ocurren en ellos.

El inventario inicial proporciona una estimación de la cantidad y distribución de carbono en los distintos depósitos del ecosistema forestal (biomasa aérea, biomasa radicular, hojarasca, necromasa y carbono del suelo). Por otra parte, las mediciones periódicas o monitoreo permiten evaluar los cambios en los diferentes depósitos, es decir, la cantidad de carbono que se ve afectada por las actividades de manejo que se realizan en el ecosistema.

El proyecto SIMEF ha desarrollado un protocolo de carbono para entregar herramientas que permitan evaluar el contenido de carbono en actividades que estén consideradas en REDD+. Este protocolo se orienta a aportar información que haga posible levantar un inventario de carbono así como realizar mediciones periódicas en terreno.

Capítulo 1

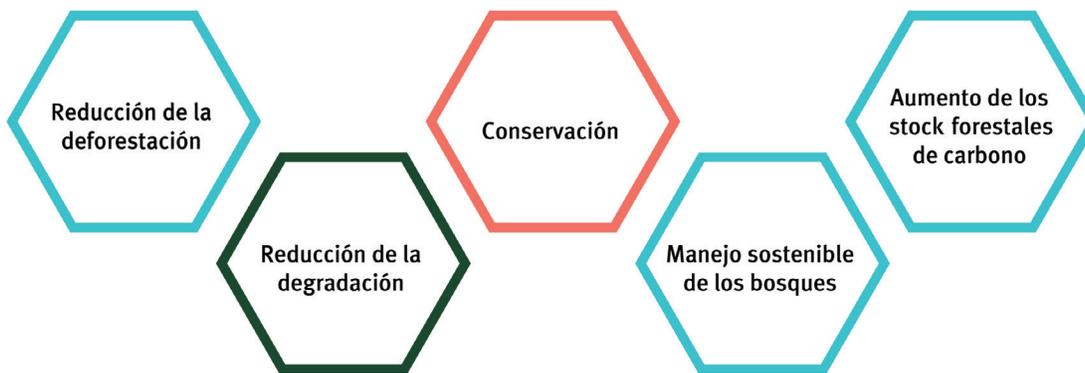
Antecedentes

REDD+

REDD+ es la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero causadas por la deforestación y degradación de los bosques, la conservación y el incremento de las capturas de CO₂. REDD+ es un mecanismo de mitigación del cambio climático desarrollado bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC) que busca reconocer y proveer incentivos positivos a los países en vías de desarrollo para proteger sus recursos forestales, mejorar su gestión y utilizarlos de manera sostenible con el fin de contribuir a los esfuerzos globales contra el cambio climático y sus efectos.

Figura 1: *Actividades consideradas bajo mecanismo REDD+*

REDD+ estimula a los países mediante cinco actividades:



Fuente: CMNUCC. 2019. Modificado por INFOR. 2019.

Un nivel de referencia de emisiones forestales o nivel de referencia forestal (NREF/NRF) es uno de los elementos que deben ser desarrollados por los países en vías de desarrollo que implementan actividades REDD+ para así poder evaluar su rendimiento. Debe caracterizar las emisiones históricas de gases de efecto invernadero y proyectarlas hacia el futuro con la intención de medir el desempeño del enfoque de políticas asociadas a REDD+.

© LBM194



©evondue



Los niveles de referencia son expresados como toneladas de CO₂ equivalente¹ por año para un período de referencia en el que se compararán las emisiones y absorciones. Por lo tanto, sirven para evaluar el desempeño de cada país en la implementación de actividades REDD+. Los niveles de referencia necesitan mantener la consistencia con las estimaciones del inventario nacional de gases de efecto invernadero.

Chile presentó voluntariamente sus niveles de referencia de emisiones forestales/niveles de referencia forestales (NREF/NRF) ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, y se realizó bajo una escala subnacional que incluía cinco regiones del país (desde la Región del Maule a la Región de Los Lagos). En la presentación se describían las emisiones y absorciones producidas en los bosques nativos templados durante el período de referencia para las actividades de deforestación, degradación, conservación forestal y aumento de existencias de carbono.

En este contexto, INFOR desarrolló una metodología para determinar la degradación forestal en bosque permanente.

Flujos de carbono y ecosistemas forestales

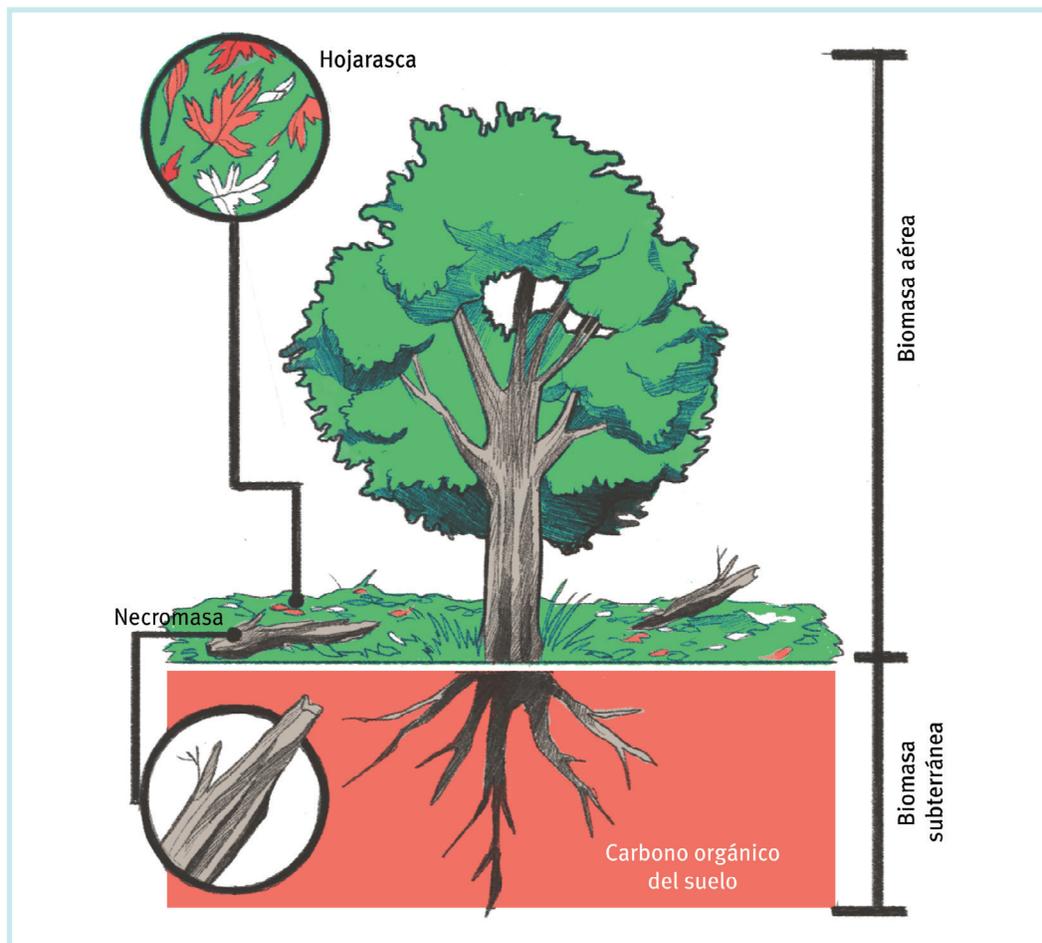
Se reconocen cinco diferentes depósitos (Figura 1) donde se acumula el carbono en el ecosistema forestal (IPCC, 2006):

- **Biomasa aérea:** Es toda la biomasa de la vegetación viva, tanto maderera como herbácea, que se halla por encima del suelo, incluidos tallos, cepas, ramas, corteza, semillas y follaje.
- **Biomasa subterránea:** Es toda la biomasa de las raíces vivas. A menudo las raíces finas, de menos de 2 mm de diámetro (sugerido), se excluyen porque empíricamente no se las puede distinguir de la materia orgánica del suelo o de la hojarasca.
- **Madera muerta (necromasa):** Incluye toda la biomasa leñosa no viviente que no está contenida en la hojarasca, ya sea en pie, tendida en el suelo o enterrada. La madera muerta incluye la tendida en la superficie, las raíces muertas y las cepas de 10 cm de diámetro o más (o del diámetro especificado por el país).

¹ CO₂ equivalente: Concentración de dióxido de carbono que podría causar el mismo grado de forzamiento radiactivo que una mezcla determinada de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero.

- **Hojarasca:** Incluye toda la biomasa no viva, con un tamaño mayor límite establecido para la materia orgánica del suelo (sugerido 2 mm) y menor que el diámetro mínimo elegido para la madera muerta (p. ej. 10 cm), que yace en diversos estados de descomposición por encima o dentro del suelo mineral u orgánico. Incluye la capa de hojarasca, como se la define habitualmente en las tipologías de suelos. Las raíces vivas finas por encima del suelo mineral u orgánico (por debajo del diámetro mínimo límite elegido para la biomasa subterránea) se incluyen con la hojarasca cuando no se las puede distinguir de esta última empíricamente.
- **Materia orgánica del suelo:** Incluye el carbono orgánico contenido en suelos minerales hasta una profundidad dada, elegida por el país y aplicada coherentemente a lo largo de la serie temporal que se evalúe. El valor por defecto para la profundidad del suelo es de 30 cm.

Figura 2: *Depósitos de carbono*



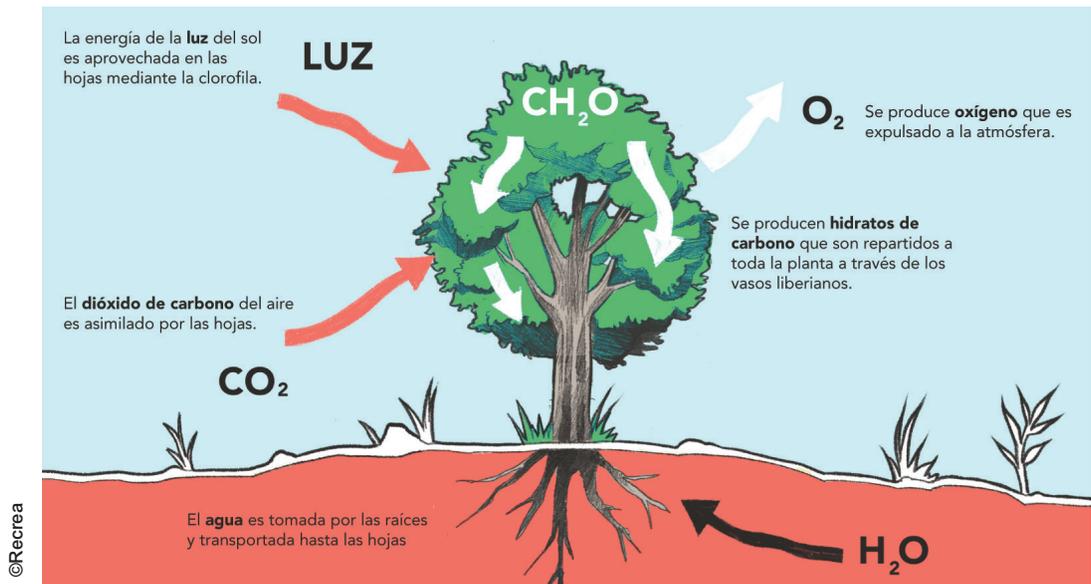
©Recrea

Fuente: Adaptado de IPCC, 2006.

Ciclo del carbono y manejo forestal

Los flujos de dióxido de carbono (CO_2) entre la atmósfera y los ecosistemas se controlan fundamentalmente por captación, mediante la fotosíntesis de las plantas y por la liberación a través de la respiración, la descomposición y la combustión de materia orgánica (Figura 3).

Figura 3: *Proceso de fotosíntesis*



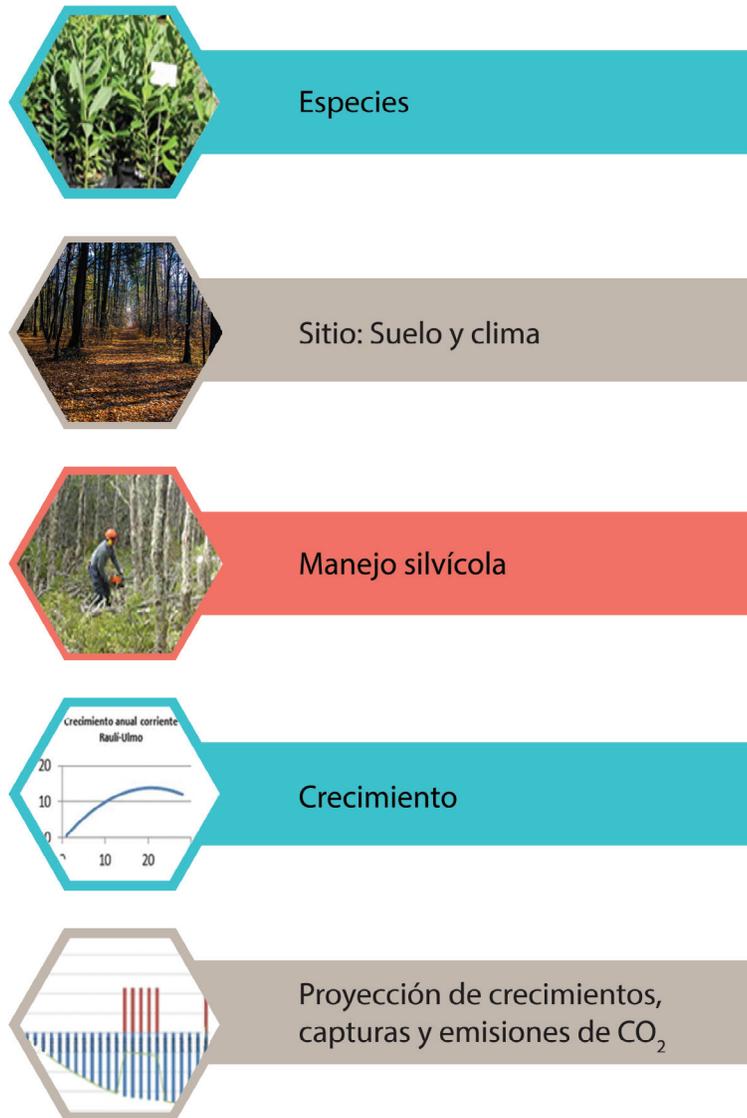
Fuente: CMNUCC. 2019. Modificado por INFOR. 2019.

La biomasa vegetal, incluyendo sus partes aéreas y subterráneas, constituye el principal medio de absorción de CO_2 de la atmósfera, junto con las grandes cantidades de CO_2 que se transfieren entre la atmósfera y los ecosistemas terrestres a través de la fotosíntesis y de la respiración.

La producción de biomasa se ve influenciada por el uso y la gestión de la tierra a través de una diversidad de actividades antropogénicas, como son la deforestación, la forestación, la fertilización, la irrigación, las cosechas y la elección de especies.

Es por ello que cuando miramos el bosque con el fin de conocer la capacidad de almacenamiento de carbono, se requiere tener detalles de las especies que se evalúan, el sitio donde se desarrollan, el manejo silvícola que se realiza y la especificación de sus intervenciones (raleos, cortas intermedias, entre otras), así como el crecimiento de las especies. Con esta información se proyectan las capturas y emisiones de CO_2 (Figura 4).

Figura 4: Factores para analizar en la capacidad de almacenamiento de carbono



Fuente: CMNUCC. 2019. Modificado por INFOR. 2019.

Para contabilizar el carbono presente en el componente arbóreo del ecosistema forestal y determinar la biomasa, se pueden considerar dos alternativas de acuerdo con la disponibilidad de información (IPCC, 2006):

- **Directamente**, es decir, midiendo en el campo los atributos de los árboles, tales como sus diámetros y alturas, y aplicando ecuaciones alométricas específicas para cada especie.
- **Indirectamente**, transformando los datos de volumen disponibles de los inventarios forestales.



Capítulo 2

Metodología

Inventarios forestales

En esta aproximación se hace necesario establecer un mecanismo objetivo de levantamiento de datos desde el terreno, que facilite de forma insesgada y con calidad estadística la estimación de contenido de carbono incluido en las formaciones boscosas de interés. Destaca aquí la aplicación de técnicas de inventario forestal en sus distintas alternativas, ya sean estas bajo un enfoque probabilístico o no probabilístico.

Muestreo

Las técnicas de muestreo aplicadas sobre los bosques son claves para obtener los datos necesarios para estimar el carbono. En este contexto, se debe al menos:

- Identificar con claridad la población sujeta a muestreo.
- Identificar cuáles son los depósitos de carbono que se requiere medir.
- Identificar con claridad los datos mínimos necesarios para habilitar la estimación del contenido de carbono en los distintos depósitos.
- Identificar el marco muestral que se utilizará, ya sea aleatorio, sistemático con o sin estratificación, etc.
- Establecer o recuperar desde iniciativas existentes el manual de procedimientos de terreno.
- Establecer o recuperar desde iniciativas existentes el manual de procesamiento de datos.
- Establecer un diseño de la unidad muestral asociada al levantamiento de datos desde el terreno.
- Establecer las expresiones de los estadígrafos asociados al esquema de muestreo seleccionado.
- Identificar las relaciones funcionales necesarias para el procesamiento de carbono.

En lo concreto, el registro de parcelas de terreno contiene la información de tamaño y crecimiento de los árboles, diferenciada por especie para distintas variables dasométricas, destacando al diámetro de la altura del pecho (DAP), la altura, diámetro de copas, entre otras.

a) Método directo

El país cuenta con una base importante de funciones alométricas o funciones de biomasa que permiten cuantificar la biomasa de los árboles de distintas especies nativas a partir de variables dasométricas medidas en un inventario de terreno. A saber: “Compendio de funciones alométricas para la estimación de biomasa de especies forestales presentes en Chile” (Milla *et al.*, 2013) y “Funciones alométricas para el bosque mediterráneo chileno, modelos de biomasa y carbono para las especies Quillay, Peumo, Espino y Litre distribuidas en la zona de bosques mediterráneos de Chile” (Cruz *et al.*, 2014).

Además, en el marco del proyecto SIMEF, se desarrollaron dos estudios para complementar la información existente:

- “Funciones alométricas y factores de expansión para estimar biomasa y carbono para las especies Hualo, Boldo, Molle y Maitén”.
- “Cuantificación de volumen y biomasa en formaciones de matorrales arborescentes de la Macrozona mediterránea, Región de O’Higgins”.

Esta información se encuentra disponible para ser utilizada.

b) Método indirecto

Existen muchos inventarios volumétricos regulares y tradicionales, que se han realizado y continúan desarrollándose, que pueden ser y son efectivamente utilizados hoy en el territorio. Es así como el método indirecto los considera tomando ventajas de la relación existente entre el volumen cúbico y la biomasa, pudiendo obtener la biomasa de los árboles (t) a partir del volumen comercial (m³) y de la densidad de la madera (t/m³).

El volumen obtenido corresponde, en la mayoría de los casos, al volumen fustal. Cuando este se expresa en biomasa, se lleva a biomasa aérea total del árbol, utilizando factores de expansión, que son aquellos que expanden el peso en seco del volumen comercial de existencias en crecimiento para justificar los componentes no comerciales del árbol, de acuerdo con:

$$\text{Biomasa aérea (t/ha)} = \text{VC} * \text{D} * \text{FEB}$$

Donde,

VC: Volumen comercial (m³/ha)

D: Densidad (t/m³)

FEB: Factor de expansión

Para la planificación de un inventario de carbono, Calderón *et al.* (2002) describen un capítulo completo que desarrolla muy bien el tema en referencia.



Calderón, S., Gayoso, J., Guerra, J., y Schlegel, B. 2002. *Manual de Procedimientos de Inventarios Forestales para Contabilidad de Carbono*.

Corporación Nacional Forestal (CONAF). 2016. *NREF/ NRF Niveles de referencia de Emisiones Forestales/ Nivel de Referencia Forestal Subnacional de Chile*. Santiago de Chile.

Cruz, P., Bascuñán, A., y Velozo, J. 2014. *Funciones alométricas para el bosque mediterráneo chileno*. Santiago de Chile.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*, cords. Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. Japan. Published: IGES.

Milla, F., Emanuelli, P., Sartori, A., y Emanuello, J. 2013. *Compendio de funciones alométricas para la estimación de biomasa de especies forestales presentes en Chile*. Santiago de Chile. CONAF.

Calderón, S., y Guerra, J. 2002. *Inventario de biomasa y contabilidad de carbono*. Informe Técnico.

Este documento forma parte de una serie de 21 publicaciones técnicas y refleja algunas de las actividades y resultados alcanzados durante cinco años de trabajo del proyecto Sistema Integrado de Monitoreo y Evaluación de los Ecosistemas Forestales Nativos (SIMEF), una iniciativa del Gobierno de Chile, con apoyo técnico de la FAO y financiamiento del Fondo para el Medioambiente Mundial (FMAM). La iniciativa ha implementado un inventario nacional incorporando las dimensiones biofísicas, socioeconómicas, biodiversidad y el cambio de uso de la tierra, consolidando finalmente un sistema de monitoreo y la evaluación del stock de carbono de los bosques chilenos.

Estas publicaciones se agrupan en protocolos técnicos, que sistematizan las diversas modalidades de inventario de los ecosistemas forestales nativos; informes técnicos con presentación de los resultados producto de la aplicación de estos protocolos y también se entrega un conjunto de manuales técnicos útiles para profesionales y propietarios en su trabajo de campo.

ISBN 978-92-5-133275-7



9 789251 332757

CB0869ES/1/03.21