

Contrato No.: 7172295

Vendedor No.: 137889

Servicios: Desarrollo del nivel de referencia REDD+ de Costa Rica

Productos: 3. Rationale, compatibility MF-FCPF, VCS-JNR, UNFCCC & FREL/FRL methodology
4. Forest Reference Emission Level for Costa Rica
6. Methodology for harvested products

Nivel de referencia de emisiones y absorciones forestales de Costa Rica ante el Fondo de Carbono de FCPF: metodología y resultados

Preparado para el Gobierno de Costa Rica bajo el Fondo Cooperativo para el Carbono de los
Bosques (FCPF)

por

Lucio Pedroni, Andrés Espejo y Juan Felipe Villegas

Versión final

18 de septiembre de 2015

Preámbulo

Este reporte constituye la versión final del **Producto 3** (*Rationale, compatibility MF-FCPF, VCS-JNR, UNFCCC & FREL/FRL methodology*) y del **Producto 4** (*Forest Reference Emission Level for Costa Rica*) de la consultoría de *Carbon Decisions International* (CDI) contratada por el Banco Mundial para la construcción del nivel de referencia de emisiones y remociones forestales de Costa Rica. De acuerdo al plan de trabajo de la consultoría, este informe incluye también los elementos relevantes del **Producto 6** (*Methodology for harvested products*).

La preparación de este informe ha sido precedida por numerosas reuniones entre el equipo de CDI y funcionarios y consultores del Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO), Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica (IMN) y Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), así como con delegados del Banco Mundial (en tres misiones realizadas entre el 06 y el 12 de agosto de 2014, el 16 y el 27 de marzo de 2015 y el 01 y 05 de junio de 2015). Durante estas reuniones se discutieron los temas metodológicos y estratégicos relacionados al nivel de referencia de emisiones y remociones forestales de Costa Rica y se tomaron todas las decisiones que permitieron construirlo de la manera que se reporta en este informe.

Además de las reuniones arriba mencionadas, en el desarrollo de la consultoría se realizaron varias reuniones adicionales con representantes de instituciones académicas, gubernamentales y no gubernamentales con sede en Costa Rica con el fin de obtener insumos, discutir aspectos metodológicos y construir el nivel de referencia con la información más actualizada, completa, transparente, exacta y consistente posible.

Esta versión del informe incluye ediciones a versiones previas que fueron presentadas el 19 de julio de 2015 en dos documentos separados¹. Las ediciones consideraron todos los comentarios recibidos del FONAFIFO y del Banco Mundial, incluyendo los comentarios al ERP, versión 18 de agosto de 2015.

Agradecimientos

Este informe ha sido preparado por *Carbon Decisions International* para el Gobierno de Costa Rica bajo el contrato 7172295 con el Banco Mundial. Los autores del mismo agradecen las generosas contribuciones de los participantes del Fondo de Carbono de FCPF al financiar este trabajo y los valiosos insumos técnicos recibidos del Gobierno de Costa Rica, del equipo técnico del FCPF del Banco Mundial y de numerosas otras personas e instituciones con sede en Costa Rica, sin los cuales la construcción del nivel de referencia de emisiones y absorciones forestales de Costa Rica no hubiera sido posible.

¹ Los informes previos a este informe son: el informe correspondiente al producto 3.1 de la consultoría de CDI, con título "*Racionalidad y compatibilidad de MF-FCPF, VCS-JNR, UNFCCC y la metodología utilizada en la construcción del nivel de referencia de emisiones y remociones forestales de Costa Rica*" y el informe correspondiente al producto 4.1 de la consultoría de CDI, con título "*Nivel de Referencia de Emisiones Forestales de Costa Rica*".



Descarga de responsabilidades

Aunque los autores hayan hecho su mejor esfuerzo para coordinar todos los aspectos técnicos de este informe con el Gobierno de Costa Rica y los funcionarios del Banco Mundial, el contenido y las apreciaciones que se presentan en este informe son de los autores y no representan necesariamente las opiniones del Gobierno de Costa Rica, de los participantes del Fondo de Carbono de FCPF y del Banco Mundial.

Contenido

Página

Contenido	4
Acrónimos	6
1. Introducción	11
2. Objetivos y alcances de este reporte	14
3. Definiciones y conceptos básicos	15
3.1 Área de contabilidad (“ <i>accounting area</i> ”).....	15
3.2 Relación del nivel de referencia con otras iniciativas que se reportan a la CMNUCC.....	18
3.3 Relación entre el nivel de referencia ante el Fondo de Carbono del FCPF y el nivel de referencia ante la CMNUCC	19
3.4 Implementación de los conceptos de “transparente”, “completo”, “consistente”, y “exacto” ..	21
3.5 Enfoque contable.....	22
3.6 Datos de actividad y factores de emisión.....	22
3.7 Actividades REDD+ incluidas en el nivel de referencia.....	24
3.8 Definición de las actividades REDD+	27
3.9 Período histórico de referencia	30
3.10 Directrices del IPCC adoptadas y nivel (<i>Tier</i>) de exactitud	32
4. Representación de tierras y estimación de los datos de actividad	32
4.1 Análisis de requerimientos	33
4.1.1 Método del IPCC.....	33
4.1.2 Unidad mínima de mapeo y resolución espacial.....	35
4.1.3 Sistema de clasificación de las categorías de uso del suelo	36
4.1.4 Épocas de mapeo.....	37
4.1.5 Incertidumbre de los datos de actividad	39
4.1.6 Resumen de requerimientos	41
4.2 Definición de bosque utilizada en la construcción del nivel de referencia	43
4.3 Análisis de imágenes de satélite.....	44
4.4 Regla utilizada para asignar fechas de referencia a los Mapas de Cobertura del Suelo	58
4.5 Estratificación de los bosques de Costa Rica.....	59
4.6 Definición de cohortes y clases de edad de los bosques nuevos	62
4.7 Tierras temporalmente con o sin árboles.....	64
4.8 Tierras convertidas a tierras forestales	64
4.9 Categorías de uso de la tierra representadas en los MCS.....	65
4.10 Generación de matrices de cambio de uso del suelo.....	67
4.11 Estimación de datos de actividad anuales interpolando las matrices de cambio de uso del suelo de los periodos históricos analizados	68
4.12 Herramienta de cálculo preparada para futuros reportes bienales de resultados.....	74
4.13 Definición de las actividades REDD+ utilizando matrices de cambio de uso del suelo	74

5. Factores de emisión	75
5.1 Análisis de requerimientos	75
5.1.1 Reservorios significativos	75
5.1.2 Nivel IPCC.....	77
5.1.3 Enfoque para el cálculo de los factores de emisión	79
5.1.4 Incertidumbre	80
5.1.5 Calidad de los datos.....	81
5.1.6 Resumen de requerimientos	82
5.2 Método empleado para estimar los factores de emisión	82
5.3 Datos utilizados para estimar las existencias de carbono	87
5.3.1 Definición de límites del análisis	88
5.3.2 Revisión de literatura.....	90
5.3.3 Resultados de la meta-análisis	92
5.3.4 Productos de madera	106
5.4 Emisiones de gases no CO ₂	110
5.5 Resultado de la estimación de existencias de carbono por reservorio y categoría	112
6. Construcción del nivel de referencia	118
6.1 Emisiones por deforestación	125
6.2 Aumento de existencias de carbono en bosques nuevos	128
6.3 Conservación de existencias de carbono en bosques primarios que permanecen bosques primarios.....	134
7. Análisis de incertidumbres	137
7.1 Incertidumbre de los datos de actividad	137
7.1.1 Incertidumbre de los Mapas de Cobertura del Suelo (MCS).....	138
7.1.2 Incertidumbre de los datos de actividad.....	147
7.2 Incertidumbre de los factores de emisión.....	150
7.3 Incertidumbre del nivel de referencia	160
7.4 Incertidumbre de las reducciones de emisiones	166
Referencias citadas	167
Anexo 1: Cumplimiento de los criterios e indicadores del marco metodológico del Fondo de Carbono del FCPF relativos al establecimiento de niveles de referencia de emisiones forestales o niveles de referencia forestales	171
Anexo 2: Aplicación de las ecuaciones del IPCC en la construcción del nivel de referencia	197
Anexo 3: Discusión sobre la definición de las actividades REDD+ y formas de contabilizarlas	218
Anexo 4: Datos del Inventario Forestal Nacional	222

Acrónimos

A	Forestación (<i>Afforestation</i>)
AAAA	Notación utilizada para referirse a un año histórico específico (e.g. 1986)
AAAA-AA	Notación utilizada para referirse a un períodos histórico específico (e.g. 1986-91)
AB	Biomasa aérea (<i>Aboveground Biomass</i>)
AE	Aumento de existencias de carbono
AE.bp	Aumento de existencias de carbono en bosques primarios que permanecieron bosques primarios
AE.bs	Aumento de existencias de carbono en bosques secundarios
AE.pf	Aumento de existencias de carbono en plantaciones forestales
AFE	Administración Forestal del Estado
AFOLU	Agricultura, Bosques y Otros Usos de la Tierra (<i>Agriculture, Forestry and Other Land Uses</i>)
ARD	Forestación, Reforestación y Deforestación (<i>Afforestation, Reforestation and Deforestation</i>)
BARA	Biomasa Arbórea Aérea
BARA	Biomasa No-arbórea Aérea
BARS	Biomasa Arbórea Subterránea
BB	Biomasa subterránea (<i>Belowground Biomass</i>)
BEF	Factor de expansión de biomasa (<i>Biomass Expansion Factor</i>)
Bh	Bosque húmedo
Bhp	Bosque muy húmedo pluvial
bn	Bosque nuevo
BNAS	Biomasa No-arbórea Subterránea
bp	Bosque primario
Bs	Bosque seco
BUR	Reporte Bienal de Actualización (<i>Biennial Update Report</i>)
By	Bosque de palma (Yolillales)
CL	Tierra de cultivos (<i>Cropland</i>)
CDI	<i>Carbon Decisions International</i>
CENIGA	Centro Nacional de Información Geoambiental
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCCC: <i>United Nations Framework Convention for Climate Change</i>)
CO	Conservación de existencias de carbono forestal
COS	Carbono Orgánico del Suelo
CP	Conferencia de las Partes de la CMNUCCC
D	Deforestación (<i>Deforestation</i>)

DA	Dato de Actividad (<i>Activity Data</i>)
DEM	Modelo de Elevación Digital (<i>Digital Elevation Model</i>)
DF	Deforestación
DF.an	Deforestación antrópica
DF.na	Deforestación no-antrópica
DF.to	Deforestación total
DG	Degradación
DOM	Materia orgánica muerta (<i>Dead Organic Matter</i>)
DW	Madera muerta (<i>Dead Wood</i>)
ERPA	Acuerdo de Pago por Reducciones de Emisiones (<i>Emission Reduction Payment Agreement</i>)
ERPD	Descripción del Programa de Reducción de Emisiones (<i>Emission Reduction Program Description</i>)
ER-PIN	Nota idea para un programa de reducción de emisiones (<i>Emission Reduction Program Idea Note</i>)
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>)
FL	Tierra forestal (<i>Forest Land</i>)
FCBM	Mapa de las áreas de bosque en una fecha determinada a partir de la cual solamente se cuentan las pérdidas de áreas de bosque (<i>Forest Cover Benchmark Map</i>)
FCPF	Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques (<i>Forest Carbon Partnership Facility</i>)
FDP	Función de Distribución de Probabilidad
FE	Factor de Emisión (<i>Emission Factor</i>)
FM	Manejo forestal (<i>Forest Management</i>)
FONAFIFO	Fondo Nacional de Financiamiento Forestal
FREL/FRL	Nivel de Referencia de Emisiones Forestales/Nivel de Referencia Forestal (<i>Forest Reference Emission Level/Forest Reference Level</i>)
GL	Pastizales (<i>Grassland</i>)
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GFOI	<i>Global Forest Observations Initiative</i>
GWP	Potencial de calentamiento global (<i>Global Warming Potential</i>)
GOFC-GOLD	<i>Global Observation for Forest Cover and Land Dynamics</i>
H	Hojarasca (también "Mantillo")
ha	Hectárea
HWP	Productos de madera cosechados (<i>Harvested Wood Products</i>)
ICAFFE	Instituto del Café de Costa Rica
IMN	Instituto Meteorológico Nacional

INDC	Contribución Intencionada Nacionalmente Determinada a la mitigación del cambio climático (<i>Intended Nationally Determined Contribution</i>)
INGEI	Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero
IPCC	Panel intergubernamental de cambio climático (<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>)
IPCC AFOLU	Guías del IPCC del 2006 para Agricultura, Bosques y Otros Usos de la Tierra (<i>Agriculture, Forestry and Other Land Uses</i>)
IPCC GL	Directrices del IPCC del 2006 para inventarios nacionales de GEI
IPCC GPG LULUCF	Guía de buenas prácticas del 2003 del IPCC para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (<i>Land Use, Land-Use Change and Forestry</i>)
LI	Hojarasca (<i>Litter</i>)
LU	Una de las seis categorías de uso de la tierra del IPCC: FL, CL, GL, SL, WL, OL
LULUCF	Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (<i>Land Use, Land-Use Change and Forestry</i>)
Ma	Manglar
MAG	Ministerio de Agricultura
MAM	Mapa de máscaras aplicadas en la edición de los MCS (máscara de áreas potenciales de “Manglares”, “Bosques de Palma (Yolillales)” y “Páramos”)
MBS86	Mapa del IMN con los bosques secundarios anteriores al 1986
MAC	Mapa del Área de Contabilidad
MC	Matriz de cambio de uso del suelo
MCS	Mapa de Cobertura del Suelo
MDC	Mapa de Densidades de Copas
MDL	Mecanismo para un Desarrollo Limpio (CDM: <i>Clean Development Mechanism</i>)
MF	Manejo forestal
MF.bp	Manejo forestal de bosques primarios
MF.bs	Manejo forestal de bosques secundarios
MF-FCPF	Marco metodológico del Fondo de Carbono de FCPF (<i>Methodological Framework of FCPF’s Carbon Fund</i>)
MINAE	Ministerio del Ambiente y Energía
MINAET	Ministerio del Ambiente, Energía y Telecomunicaciones
MM	Madera Muerta
MMC	Madera muerta caída
MMP	Madera muerta en pie
MMS	Madera muerta subterránea
MMU	Unidad mínima de mapeo (<i>Minimum Mapping Unit</i>)
MPMA	Mapa de Precipitaciones Medias Anuales
MR	Medición y Reporte

MRV	Medición, Reporte y Verificación
MTB	Mapa de Tipos de Bosque del SINAC
MTB-S	Mapa de Tipos de Bosque del SINAC
MVAP	Mapa de Vertientes Atlántica y Pacífica
MZV	Mapa de Zonas de Vida según Holdridge (1966)
N.A.	No aplica
NAMA	Acción de Mitigación Nacionalmente Apropriada (<i>Nationally Appropriate Mitigation Action</i>)
NFMS	Sistema nacional de monitoreo forestal (<i>National Forest Monitoring System</i>)
OL	Otras tierras (<i>Other Land</i>)
ONF	Oficina Nacional Forestal
OT	Otras tierras
PM	Productos de madera
PM.F1	Productos de madera – Fracción 1 del IPCC (productos de papel)
PM.F2	Productos de madera – Fracción 2 del IPCC (paneles no-estructurales)
PM.F3	Productos de madera – Fracción 3 del IPCC (contrachapado, tableros y paneles estructurales)
PM.F4	Productos de madera – Fracción 4 del IPCC (madera de aserrío)
RE	Reducción de Emisiones
R	Reforestación (<i>Reforestation</i>)
REDD+	Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de los bosques, Aumentos de Existencias de Carbono Forestal, Manejo Forestal y Conservación de existencias de Carbono Forestal (<i>Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation, conservation, sustainable management of forest and enhancement of forest carbon stocks</i>)
SL	Asentamientos (<i>Settlements</i>)
SI.b	Sin información (área sin información de uso del suelo en una fecha pero con cobertura forestal en otra fecha)
SIG	Sistema de Información Geográfico
SINAC	Sistema Nacional de Áreas de Conservación
SIREFOR	Sistema de Información de los Recursos Forestales de Costa Rica (http://www.sirefor.go.cr/)
SOC	Carbono orgánico del suelo (<i>Soil Organic Carbon</i>)
<i>tbd</i>	Por ser determinado (<i>to be determined</i>)
UNDP	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD (<i>United Nations Development Programme</i>)
UNEP	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA (<i>United Nations Environment Programme</i>)



UN-REDD	Programa colaborativo de las Naciones Unidas para reducir emisiones por deforestación u degradación forestal en los países en desarrollo (<i>The United Nations Collaborative Programme on reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation in Developing Countries</i>)
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
USFS	Servicio Forestal de los Estados Unidos de América (<i>United States Forest Service</i>)
VCS	Estándar para Carbono Verificado (<i>Verified Carbon Standard</i>)
VCS-JNR	Requerimientos para REDD+ jurisdiccional y anidado del VCS (<i>VCS Requirements for Jurisdictional and Nested REDD+</i>)
WL	Humedales (<i>Wetlands</i>)

1. Introducción

Este informe describe el nivel de referencia de emisiones y absorciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) relacionadas a los bosques de Costa Rica (FREL/FRL por sus siglas en inglés) ante el Fondo de Carbono de FCPF y los datos y métodos empleados para construirlo. El informe, con sus datos, mapas y cálculos relacionados, forma parte de los productos generados por y para Costa Rica en la fase de preparación para REDD+ bajo la coordinación del Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO), que es la institución encargada de coordinar la preparación de la Estrategia REDD+ en Costa Rica, según el Decreto Ejecutivo N°37352-MINAET.

Según la Decisión 1/CP.16 (párrafo 71) tomada en Cancún (2010) durante la décimo sexta Conferencia de las Partes (CP) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), la construcción de un nivel de referencia de emisiones y absorciones de GEI relacionadas a los bosques (en adelante: “nivel de referencia”) es uno de los cuatro elementos que deben ser desarrollados por los países que quieren recibir apoyos financieros, técnicos y tecnológicos adecuados y predecibles al emprender acciones de mitigación en el sector forestal en el marco denominado “REDD+”.

Es importante enfatizar que el nivel de referencia oficial de Costa Rica será el nivel de referencia que el país presentará a la CMNUCC. Dicho nivel de referencia podrá diferir del nivel de referencia presentado en este documento considerando que tomará en cuenta las emisiones y absorciones relacionadas a los bosques de Costa Rica desde el año 1986, mientras que el nivel de referencia presentado aquí las considera solamente a partir del año 1996, lo cual se hizo únicamente con el propósito de cumplir con el Marco Metodológico del Fondo de Carbono del FCPF. Por esta razón, Costa Rica propone utilizar el nivel de referencia presentado en este informe únicamente en el contexto de su programa de reducción de emisiones ante el Fondo de Carbono del FCPF.

Costa Rica entiende y acepta que en el caso de suscribirse un acuerdo de pagos por resultados (ERPA por sus siglas en inglés) con el Fondo de Carbono del FCPF, el nivel de referencia presentado en este informe formará parte de los términos del ERPA y de los elementos que se utilizarán para medir el desempeño de su programa de reducción de emisiones ante Fondo.

Como parte del Programa de Bosques y Desarrollo Rural del Gobierno de Costa Rica, la propuesta del país ante el Fondo de Carbono del FCPF consiste en un Plan de Acción que se enfoca en la reducción de emisiones por deforestación, la conservación de las existencias de carbono forestal y el aumento de existencias de carbono en bosques nuevos naturales (bosques secundarios) y plantados (plantaciones forestales). Por esta razón, el nivel de referencia ante el Fondo de Carbono del FCPF incluye, además de las emisiones por deforestación, también la conservación de existencias de carbono forestal y el aumento de existencias de carbono en bosques nuevos.

Es posible que en futuras fases del programa de reducción de emisiones el país decida incluir también otras actividades REDD+, tales como las emisiones por degradación y los cambios de existencias de carbono relacionados al manejo sostenible de los bosques, como lo permite la Decisión 1/CP.16 (párrafo 70=). Cualquier actualización del nivel de referencia, ya sea por un mejoramiento de los datos o de los métodos de medición y cálculo, o por la inclusión de actividades adicionales, requerirá una revisión de este informe y de las herramientas de cálculo que se mencionan en este informe.

Según los resultados obtenidos y presentados en este informe, Costa Rica tenía, al principio del 1986, 2,804,345.73 ha de bosque primario² (54.83% del territorio continental nacional³). De éstos, al final del

² 2,759,049 ha que existieron al final del 1986 más las 45,296 ha que se deforestaron en el 1986.

³ 5,113,939.50 ha.

2013, quedaron solamente 2.215.543.23 ha (43.32%). La disminución de 588,802.50 ha en 28 años (21,028.66 ha año⁻¹) equivale a una tasa de deforestación promedio de -0.63 % año⁻¹. Las pérdidas de áreas de bosque primario entre 1986 y 2013 generaron un total de 232,712,014 toneladas en emisiones de dióxido de carbono equivalente (tCO₂-e) (8,311,143 tCO₂-e año⁻¹), de las cuales 228,870,034 tCO₂-e (8,173,930 tCO₂-e año⁻¹), un 98.35%, son atribuibles a actividades antrópicas.

Por otro lado, al final del 1986, Costa Rica tenía 417,230.02 ha de bosques nuevos⁴ (8.15% del territorio continental nacional), compuestos principalmente por bosques secundarios y un área indefinida de plantaciones forestales. El área de bosques nuevos subió a 918,483.39 ha (17.96% del territorio continental nacional) al final del 2013. Entre 1986 y 2013 los bosques nuevos sacaron de la atmósfera 107,082,924 tCO₂-e, lo cual corresponde a un promedio anual de 3,824,390 tCO₂-e año⁻¹. Los cambios de área de los bosques nuevos fueron muy dinámicos, ya que el aumento neto de 501,253.37 ha entre 1986 y 2013 fue acompañado también por una pérdida acumulada de 400,983.03 ha, las cuales generaron 57,789,348 tCO₂-e en emisiones (2,063,905 tCO₂-e año⁻¹).

En total, el área de bosques de Costa Rica disminuyó de 3,221,575.76 ha al principio del 1986 (63.00% del territorio continental nacional) a 3,134,026.62 ha al final del 2013 (61.28%), pasando por 3,095,751.65 ha (60.54%) en 1996 y 3,046,520.25 (59.57%) en 2009. El año con la cobertura forestal más baja en toda la serie histórica fue el año 2007, con 3,035,825.01 ha (59.36%).

El balance neto de emisiones y absorciones de los bosques de Costa Rica, entre el principio del 1986 y el final del 2013, fue de 183,418,438 tCO₂-e emitidas, lo cual equivale a un promedio de emisiones anuales de 6,550,659 tCO₂-e año⁻¹ (1.35 tCO₂-e año⁻¹ capita⁻¹, calculando con 4.87 millones de personas en 2013).

Para el período 1996-2009, que es el período histórico de referencia ante el Fondo de Carbono del FCPF, el balance neto de emisiones y absorciones de los bosques de Costa Rica corresponde a una emisión neta total (antrópica y no-antrópica) de 40,826,171 tCO₂-e (2,916,155 tCO₂-e año⁻¹); excluyendo las emisiones no-antrópicas, este balance sería de 39,142,223 tCO₂-e (2,795,873 tCO₂-e año⁻¹).

Las incertidumbres asociadas a los estimados de emisiones y absorciones – calculadas mediante 10,000 simulaciones de Montecarlo - son importantes, debido, principalmente, al bajo nivel de exactitud alcanzado en los mapas de cobertura del suelo y, consecuentemente, a los errores asociados a los datos de actividad extraídos de estos mapas.

A un nivel de confianza del 90%, el nivel de referencia de emisiones por deforestación, calculado como el promedio anual de las emisiones por deforestación antrópica del período 1996-2009, está en el rango de 5,541,494 a 8,953,035 tCO₂-e año⁻¹ (con un promedio de 7,217,881 tCO₂-e año⁻¹), mientras que el promedio anual de absorciones está en el rango de -4,885,601 a -3,983,346 (con un promedio de -4,422,008 tCO₂-e año⁻¹). El nivel de incertidumbre estimado para el nivel de referencia ante el Fondo de Carbono del FCPF manifiesta por sí solo la necesidad que el país tiene, y reconoce, de mejorar su sistema nacional de medición y reporte de las emisiones asociadas al uso del suelo.

Para el último año de la serie histórica estudiada, el 2013, los bosques primarios de Costa Rica contenían aún un estimado de 1,237,477,379 toneladas de CO₂-e. Mantener este carbono almacenado en los bosques es un objetivo importante del programa propuesto por Costa Rica al Fondo de Carbono del FCPF, razón por la cual el gobierno de Costa Rica quiere incluir la actividad “conservación de existencias de carbono forestal” en su nivel de referencia, aunque no tenga la expectativa de recibir pagos por resultados del Fondo de Carbono del FCPF para esta actividad.

⁴ Es muy posible que una parte de los bosques clasificados como “primarios” en 1986 ya eran, en realidad, bosques secundarios. Se definen como “bosques secundarios” todos aquellos bosques que se desarrollaron en tierras no-forestales (esencialmente tierra de cultivos y pastizales abandonados).

Hoy en día, los bosques conservados y regenerados cumplen una función ambiental incalculable, brindando numerosos beneficios sociales y ambientales a los habitantes del país y protegiendo una parte significativa de la biodiversidad del planeta. El costo de mantener estos bosques ha sido alto y muchas de las leyes emitidas han generado afectaciones directas a los propietarios privados (e.g. prohibición del cambio de uso del suelo, limitaciones al uso de las tierras privadas en Áreas Silvestres Protegidas). La gestión política continuada y el monitoreo y control, tanto estatal como ciudadano, requeridos para mantener estos bosques en pie es también significativo, tanto desde el punto de vista institucional como de la inversión del país.

En este contexto, como muestran los resultados presentados en este informe, Costa Rica presenta evidencia que:

- (i) ha logrado mantener gran parte de sus bosques primarios;
- (ii) ha logrado disminuir la deforestación de sus bosques, y
- (iii) ha promovido exitosamente la regeneración de sus bosques. Estos son resultados tempranos, previos a la Conferencia de las Partes en Bali y Cancún, que permiten mostrar el rendimiento del país en implementar políticas y medidas REDD+.

Costa Rica parte del principio establecido en su R-PP, y las ideas iniciales del Programa de Reducción de Emisiones ante el Fondo de Carbono, que la Estrategia Nacional REDD+ y el Programa ante el Fondo de Carbono del FCPF inician en el año 2010. Por lo tanto, en caso de recibir pagos por reducciones de emisiones por el Fondo de Carbono, Costa Rica tiene la expectativa de que éstas se reconozcan a partir del año 2010.

2. Objetivos y alcances de este reporte

Además de presentar el nivel de referencia de emisiones y absorciones de GEI relacionadas a los bosques de Costa Rica, este informe incluye un análisis comparativo de los marcos metodológicos considerados en la construcción del nivel de referencia y una descripción de la metodología utilizada para construirlo.

Los marcos metodológicos considerados fueron:

1. Las decisiones de la Conferencia de las Partes (CP) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) relativas a REDD+;
2. El Marco Metodológico del Fondo de Carbono del Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques (en adelante “MF-FCPF” o “marco metodológico de FCPF”);
3. Los requerimientos para REDD+ jurisdiccional y anidado del Estándar para Carbono Verificado (VCS), versión 3.2 del 30 de octubre de 2014 (en adelante “VCS-JNR” o “requerimientos JNR del VCS”).

En la construcción del nivel de referencia se intentó cumplir con estos tres marcos metodológicos simultáneamente. Sin embargo, esto no fue siempre posible debido a incompatibilidades que existen entre los marcos metodológicos en algunos temas y también porque en algunos casos los datos y la información disponible no permitían cumplir con algunos de los requisitos, lo cual es consistente con los hallazgos de otro estudio (Sidman *et al.*, 2015)⁵. Dichas incompatibilidades y vacíos de información se mencionan y discuten en este informe.

Este informe, y el nivel de referencia que presenta, fueron preparados para contribuir a la preparación del ERPD (*Emission Reduction Program Description*) de Costa Rica. Por esta razón, cuando el cumplimiento simultáneo de los tres marcos metodológicos arriba mencionados no fue posible, se dio prioridad al marco metodológico de FCPF, con cuyos criterios e indicadores se cumplió cabalmente, como se detalla por cada criterio e indicador en el Anexo 1.

Este informe tiene la siguiente estructura:

1. Introducción: contextualiza el trabajo presentado en este informe en el marco de los esfuerzos de Costa Rica para conservar y manejar sosteniblemente sus bosques y preparar su participación en REDD+.
2. Objetivos y alcances de este reporte: expone los objetivos y la estructura de este informe.
3. Definiciones y conceptos básicos: aborda aspectos generales de la metodología empleada en la construcción del nivel de referencia, explicita las definiciones utilizadas y explica los conceptos y supuestos subyacentes.
4. Datos de actividad: describe la metodología empleada para estimar datos de actividad y presenta el resultado de la estimación de datos de actividad.
5. Factores de emisión: describe la metodología empleada para estimar los factores de emisión y presenta el resultado de la estimación de los factores de emisión.
6. Construcción del nivel de referencia: explica cómo se construyó el nivel de referencia a partir de los datos de actividad y factores de emisión estimados y presenta el nivel de referencia estimado.
7. Análisis de incertidumbres: describe la metodología empleada en el análisis de incertidumbres y presenta el resultado de dicho análisis.

⁵ Sidman, G, Casarim, F.M., Pearson, T.R.H., 2015. A Gap Analysis of Costa Rica’s National REDD+ Strategy relative to the VCS Jurisdictional and Nested REDD+ Requirements.

3. Definiciones y conceptos básicos

3.1 Área de contabilidad (“*accounting area*”)

En el contexto de los proyectos y programas jurisdiccionales de carbono, los flujos de GEI relacionados a los bosques suelen deducirse de los cambios de existencias de carbono⁶ que ocurren como consecuencia de actividades antrópicas en un “área de contabilidad” predefinida (“*accounting area*”). El área de contabilidad puede ser el área de un proyecto, el área de una ecorregión, el área de una jurisdicción subnacional o la totalidad de las tierras gestionadas de país.

En el contexto de REDD+ en general y, más específicamente, en el contexto del Marco Metodológico del Fondo de Carbono del FCPF (MF-FCPF)⁷, el área de contabilidad es el área para la cual se debe establecer un nivel de referencia de emisiones y absorciones de GEI para todas las actividades REDD+ que se quieren contabilizar y para la cual las emisiones y absorciones relacionadas a las actividades REDD+ seleccionadas serán medidas, reportadas y verificadas (MRV) consistentemente durante la vigencia del programa de reducción de emisiones.

En el contexto de los Inventarios Nacionales de GEI (INGEI), con los cuales, según las decisiones de la CP, los niveles de referencia REDD+ deben mantener consistencia⁸, el área de contabilidad es la suma de todas las “tierras gestionadas” (“*managed lands*”) consideradas en el inventario.

Hasta ahora, el INGEI de Costa Rica no incluyó los bosques naturales primarios (que llama “maduros”) en su concepto de “tierras gestionadas”, así que no reportó las emisiones y absorciones de GEI relacionadas a estos bosques. Sin embargo, el “área de contabilidad” para el nivel de referencia REDD+ ante el Fondo de Carbono del FCPF incluye todos los bosques de Costa Rica, con las excepciones que se explican a continuación. Esta decisión se tomó porque Costa Rica considera que la “conservación de existencias de carbono forestal” – una de las cinco actividades REDD+ - es el resultado de los esfuerzos del país ha venido haciendo para proteger sus bosques y por tanto debe incluirse en el nivel de referencia.

En el caso de Costa Rica se decidió que en el contexto de REDD+, tanto ante el Fondo de Carbono del FCPF como bajo la CMNUCC, **el área de contabilidad es todo el territorio nacional, excepto:**

- la isla del Coco,
- las áreas afectadas por disturbios naturales y
- las áreas cubiertas por nubes en los Mapas de Cobertura del Suelo (MCS) de la serie temporal 1986-2013⁹.

⁶ En el caso de los bosques, el cambio de existencias de carbono se utiliza también para estimar emisiones de gases no-CO₂, por ejemplo aquellas relacionadas con la quema de biomasa.

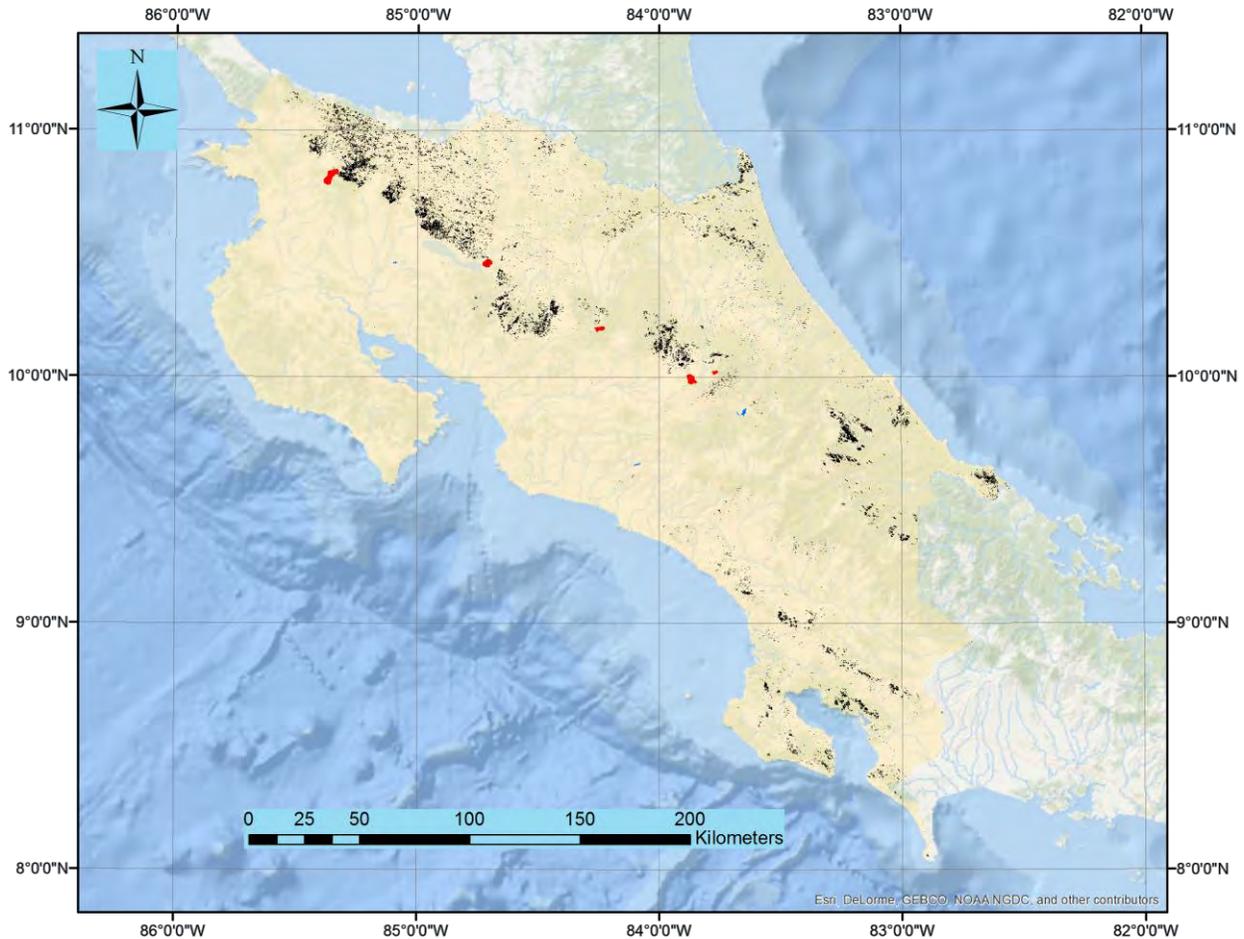
⁷ Ver “Glosario” del MF-FCPF, p. 28.

⁸ Ver por ejemplo la Decisión 9/CP-19, Anexo 1, párrafo 2.a, donde se dice que la revisión técnica de los niveles de referencia presentados por las Partes a la CMNUCC debe evaluar hasta qué punto el nivel de referencia de emisiones forestales y/o nivel de referencia forestal mantiene consistencia con las correspondientes emisiones por las fuentes antrópicas y absorciones por los sumideros antrópicos relacionadas a los bosques en el inventario nacional de GEI.

⁹ El área cubierta por nubes y sombras correspondiente a los años del período histórico de referencia bajo el Fondo de Carbono de FCPF (1996-2009) es de 76,946.22 ha, mientras que el área cubierta por nubes y sombras para toda la serie histórica (1986-2013) es de 115,364.16 ha. Dado que la diferencia es muy pequeña (38,417.94 ha) se optó por excluir del área de contabilidad ante el Fondo de Carbono del FCPF las 115,364.16 ha de toda la serie histórica. Esta decisión se tomó para que los datos de actividad utilizados para construir el nivel de referencia

El área de contabilidad se muestra en la Figura 1 (Mapa del Área de Contabilidad, MAC).

Figura 1. Área de contabilidad 1986-2013 para todos los niveles de referencia REDD+ de Costa Rica y para el Inventario Nacional de GEI



Áreas incluidas / excluidas del área de contabilidad		Área
Color	Descripción	ha
	Áreas excluidas asociados a volcanes activos	6,105.42
	Áreas excluidas asociadas a cueros de agua naturales	13,873.50
	Nubes y sombras de nubes	115,364.16
	Área de contabilidad	4,978,596.42
Área total		5,113,939.50

ante el Fondo de Carbono de FCPF puedan mantenerse consistentes y comparables con los datos de actividad que se utilizarán en la actualización del Inventario Nacional de GEI, en la construcción del nivel de referencia que Costa Rica presentará a la CMNUCC y también para la construcción de los escenarios desarrollados por el país en el contexto de su INDC en el sector forestal.

Las razones por las cuales se excluyen del área de contabilidad las áreas arriba mencionadas son las siguientes:

- La isla del Coco es un área protegida deshabitada (excepto por los funcionarios del SINAC que la resguardan), cuyos bosques no están sujetos a cambios de existencias de carbono causados por intervenciones antrópicas, razón por la cual se puede excluir. La Isla del Coco tampoco está incluida en el Inventario Nacional de GEI (INGEI).

La isla del Coco se encuentra a 532 km de la costa pacífica de Costa Rica, así que no existe ningún riesgo que el programa de reducción de emisiones genere un aumento de las emisiones relacionadas a los bosques en la Isla del Coco debido a un desplazamiento de agentes y causas de la deforestación y degradación de los bosques hacia esta isla como consecuencia de las políticas y programas de mitigación que Costa Rica está implementando.

- Las áreas afectadas por disturbios naturales¹⁰ son aquellas en las cuales los cambios de cobertura del suelo se pueden asociar inequívocamente al impacto de volcanes activos, terremotos, inundaciones, movimiento natural de los cauces de los ríos y otros cuerpos de agua naturales en áreas de bosques y a otros fenómenos naturales que causan pérdidas y recuperación de áreas de bosque.

Durante la construcción del nivel de referencia solamente se pudieron discriminar las áreas afectadas por los volcanes activos del país (Arenal, Irazú, Poas, Rincón de la Vieja y Turrialba: en total 6,105.42 ha o 0.12% del área total) y algunas de las áreas afectadas por el movimiento de cuerpos

¹⁰ Los requerimientos de los Marcos Metodológicos considerados no son consistentes en lo relativo al tema de cómo se deben considerar las emisiones y absorciones no-antrópicas atribuibles al impacto de disturbios naturales. De acuerdo a las directrices AFOLU del IPCC (2006), Volumen 4, Capítulo 1.1, las emisiones y absorciones que ocurren en “tierras gestionadas” (“*managed lands*”) se consideran “antrópicas” mientras que aquellas que ocurren en “tierras no-gestionadas” (“*unmanaged lands*”) se consideran “no-antrópicas” y no se deben reportar. Hasta ahora, los INGEI de Costa Rica consideraban todos los bosques maduros naturales como “tierras no-gestionadas”. La mayor parte de los bosques maduros naturales de Costa Rica se encuentran en áreas naturales protegidas, las cuales se consideran uno de los pilares fundamentales de las políticas públicas de conservación del país, así que no tiene sentido excluirlas en el contexto de REDD+. Por otro lado, algunas de las áreas naturales protegidas albergan sitios altamente expuestos a los impactos de fenómenos geológicos (erupciones volcánicas) y climáticos que pueden causar pérdidas no-antrópicas de áreas de bosque. Los requerimientos JNR del VCS (versión 3.2 del 30 de octubre de 2014) explícitamente requieren excluir emisiones y absorciones históricas del nivel de referencia cuando las mismas son atribuibles al impacto de disturbios naturales con impactos grandes (> 1,000.00 ha) y poco recurrentes (con un período de retorno > 10 años) relacionados a eventos geológicos y climáticos (Sección 3.11.12, (5)). En Costa Rica, entre 1996 y 2009 las pérdidas de áreas de bosque consideradas no-antrópicas sumaron 8,342.82 ha (18,273.96 ha entre 1986 y 2013), lo cual es significativo para Costa Rica. Muchas de estas pérdidas están asociadas a actividades volcánicas e inundaciones con un período de retorno > 10 años, así que la exclusión es consistente con los requerimientos JNR del VCS. El Marco Metodológico del Fondo de Carbono de FCPF no aborda el tema de las emisiones y absorciones de origen no-antrópico y solamente hace una referencia genérica a que “el programa de reducción de emisiones identifica los métodos del IPCC utilizados para estimar las emisiones y absorciones para construir el nivel de referencia y el MRV” (Indicador 5.1.).

La exclusión de las emisiones atribuidas a cambios de cobertura del suelo originados por fenómenos no-antrópicos es discutible, pero Costa Rica considera que es importante hacerla tanto en el nivel de referencia como en el MRV debido a la alta exposición que los bosques de Costa Rica tiene ante diversos fenómenos naturales, cuyos impactos podrían ser desastrosos para el país si deberían contabilizarse como antrópicos.

de agua naturales (en total 13,873.50 ha, 0.27%), lo cual suma un total de 19,978.92 ha (0,39%) excluidas del área de contabilidad debido al impacto de disturbios naturales.

No se pudo encontrar información confiable acerca de las áreas afectadas por eventos climáticos y terremotos, de los cuales se sabe que causan impactos en las áreas con cubierta forestal. Los cambios de cobertura del suelo asociados a dichos disturbios naturales están incluidos en el área de contabilidad por no haber sido posible excluirlas.

- Las áreas sin información son aquellas áreas para las cuales se desconoce su cobertura del suelo histórica debido a la presencia de nubes y sombras en las imágenes de satélite analizadas para crear Mapas de Cobertura del Suelo. El área excluida por estas razones suma 115,364.16 ha (2.26%).

El Mapa del Área de Contabilidad (MAC) creado para el período 1986-2013 (MAC 1983-2013) no es un mapa estático porque en períodos futuros aparecerán nuevas áreas afectadas por disturbios naturales y nuevas áreas cubiertas por nubes. Para cada período de medición y reporte se construirá un nuevo MAC acumulando las áreas excluidas, hasta que se pueda actualizar la serie histórica, reduciendo las áreas cubiertas por nubes, o hasta que las áreas excluidas por el impacto de disturbios naturales hayan recuperado su condición original, momento en que dichas áreas serán nuevamente incluidas en el área de contabilidad.

3.2 Relación del nivel de referencia con otras iniciativas que se reportan a la CMNUCC

Bajo un esquema jurisdiccional y anidado pueden existir diferentes “áreas de contabilidad”, una dentro de otra (“anidadas”). Esto también puede ocurrir cuando en el área de contabilidad existen diferentes iniciativas de mitigación que se relacionan con los bosques, como lo es, de hecho, el caso de Costa Rica, donde además de un programa nacional de reducción de emisiones existe un proyecto forestal registrado bajo el Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL), acciones de mitigación nacionalmente apropiadas (NAMAs por sus siglas en inglés) que pueden involucrar territorios con bosques y acciones sobre los bosques, y también posibles futuros proyectos voluntarios bajo diferentes estándares internacionales y el estándar nacional de carbono. A esa complejidad se suma el tema de las contribuciones nacionales de Costa Rica (INDCs, por sus siglas en inglés), las cuales también involucrarán acciones de mitigación sobre los bosques cuyos resultados deberán ser medidos y reportados a la CMNUCC.

En estas circunstancias, el país debe asegurar que toda la contabilidad de flujos de GEI relacionada a los bosques sea, además de transparente, completa, consistente y exacta¹¹ – como lo piden diferentes decisiones de la CP - suficientemente integrada y controlada nacionalmente para evitar cualquier riesgo de doble contabilidad y reporte inconsistente hacia la CMNUCC, fondos de carbono, donantes y esquemas del mercado carbono. Algunas consideraciones y recomendaciones para que Costa Rica pueda cumplir con este objetivo se presentan en otro informe de CDI (2015.a)¹².

Para asegurar que el nivel de referencia REDD+ sea consistente:

- (i) con el INGEI y el primer reporte bienal de actualización (BUR, por sus siglas en inglés) de Costa Rica, como lo piden las decisiones de la CP¹³;

¹¹ Ver por ejemplo la Decisión 9.CP-19, Anexo, Párrafo 2.c.

¹² CDI, 2015.a. Recomendaciones para la estrategia REDD+ y la carbono neutralidad. Informe de consultoría elaborado para el Fondo de Carbono de FCPF. 17 p.

¹³ Ver por ejemplo la Decisión 12.CP-17, párrafo 8 y la Decisión 9.CP-19, Anexo, párrafo 2.a.

(ii) con el Inventario Nacional Forestal (INF), actualmente en etapas de revisión y publicación; y el futuro sistema nacional de monitoreo forestal (NFMS, por sus siglas en inglés), actualmente en construcción;

(iii) con el INDC para el sector forestal que el país está preparando;

tanto la metodología como los datos empleados para construir el nivel de referencia fueron analizados, discutidos y consensuado, hasta donde fue posible, con:

(i) el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO), que es la institución encargada de la coordinación de REDD+ en Costa Rica (según el Decreto Ejecutivo N°37352-MINAET);

(ii) el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) de Costa Rica, que es la institución encargada del INGEI, de los BURs y de la coordinación de la INDC de Costa Rica;

(iii) el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), que es la institución encargada del Inventario Nacional Forestal (INF);

(iv) el equipo de consultores que está asesorando al gobierno de Costa Rica en la definición de la INDC.

Sin embargo, considerando que casi todas las actividades mencionadas arriba (NAMAs, INGEI, BUR, INF, NFMS, INDC) están aún en proceso de construcción, no es posible demostrar y asegurar que el nivel de referencia construido en el marco del programa de reducción de emisiones ante el Fondo de Carbono del FCPF es completamente consistente con los resultados de todos estos procesos, aunque se hayan realizado todos los esfuerzos posibles para lograr el mayor nivel de alineamiento y consistencia posible¹⁴.

Lo anterior quiere decir que en algunos aspectos el nivel de referencia podría tener diferencias con las emisiones y remociones del sector forestal que se reportarán en la próxima actualización del INGEI y en el BUR. Estas diferencias, hasta donde se pueden conocer en las circunstancias actuales, se explican y justifican en el presente informe y son una consecuencia de la aplicación del MF-FCPF y de decisiones tomadas con FONAFIFO y el IMN.

3.3 Relación entre el nivel de referencia ante el Fondo de Carbono del FCPF y el nivel de referencia ante la CMNUCC

Costa Rica tiene previsto presentar su nivel de referencia REDD+ oficial a la CMNUCC en el próximo ciclo de revisión. Se anticipa que este nivel de referencia tomará en cuenta las emisiones y las absorciones promedio anuales del período 1986-1995, como referencia para calcular los resultados de su programa de reducción de emisiones en el período 1996-2009, y las emisiones y absorciones promedio anuales del período 1986-2009, como referencia para calcular los resultados de su programa de reducción de emisiones en el período 2010-2020.

¹⁴ Es importante mencionar que mientras se estaba preparando la versión final de este informe (agosto 2015), surgieron nuevas inquietudes entre las instituciones del gobierno de Costa Rica relacionadas a la consistencia entre los procesos de preparación para REDD+, BUR, INGEI e INDC. Estas inquietudes fueron elevadas al despacho del Sr. Ministro del MINAE y dieron lugar a un ciclo de reuniones entre las instituciones interesadas (AFE, CENIGA, FONAFIFO, IMN, SINAC, entre otras) que aún no se ha concluido. Las decisiones que se tomarán al final de este ciclo de reuniones, cuyo fin es asegurar la consistencias del nivel de referencia REDD+ con el INGEI, el BUR y la INDC que Costa Rica presentará en la próxima CP de la CMNUCC, podría implicar que el nivel de referencia presentado en este documento tenga que ajustarse.

El período histórico de referencia considerado para construir el nivel de referencia propuesto al Fondo de Carbono del FCPF es el período 1996-2009¹⁵, ya que Costa Rica considera que su programa REDD+ bajo el Fondo de Carbono del FCPF empezó en el 2010¹⁶ (ver la sección 2.9 para la justificación de este período). Esta diferencia con los años considerados en el período histórico de referencia del nivel de referencia que Costa Rica tiene previsto presentar a la CMNUCC se debe a los requerimientos del Marco Metodológico del Fondo de Carbono del FCPF, que establecen que la fecha inicial del período histórico de referencia sea 10 años (excepcionalmente hasta 15 años)¹⁷, antes de la fecha final del período histórico de referencia, lo cual hace imposible considerar los mismos períodos históricos para ambos niveles de referencia.

Por otro lado, se anticipa que los datos, métodos y resultados obtenidos en la estimación de las emisiones y absorciones históricas anuales serán los mismos para ambos niveles de referencia, aunque no se puede descartar que para el nivel de referencia que se presentará a la CMNUCC podría ser necesario realizar algunos ajustes, para asegurar la consistencia entre el nivel de referencia oficial de Costa Rica con otros reportes a la CMNUCC que el país está preparando actualmente (INGEI, BUR, INDC, NAMAs), y también considerando que en el proceso de revisión de la CMNUCC podrían surgir consideraciones nuevas que obliguen a realizar ajustes o correcciones al nivel de referencia oficial del país.

Por lo arriba expuesto, para Costa Rica lo que en este documento se llama “nivel de referencia” no es más que una referencia de emisiones y remociones que se utilizará únicamente en el contexto de las negociaciones de un acuerdo de pagos por reducciones de emisiones (ERPA, por sus siglas en inglés) con el Fondo de Carbono de FCPF.

Cabe mencionar que la diferencia que ya se anticipa entre el nivel de referencia oficial de Costa Rica y el nivel de referencia propuesto en el contexto del Fondo de Carbono de FCPF no viola el Criterio 10 del Marco Metodológico del Fondo de Carbono del FCPF, según el cual el “nivel de referencia” está informado por el desarrollo de un nivel de referencia para la CMNUCC. En efecto, se cumplen todos los indicadores de este criterio:

- **Indicador 10.1:** *“El nivel de referencia se expresa en toneladas de dióxido de carbono equivalente por año”*. Efectivamente el nivel de referencia se expresa en tCO₂-e año⁻¹
- **Indicador 10.2:** *“El programa de reducción de emisiones (ante el Fondo de Carbono del FCPF) explica como el nivel de referencia puede informar o está informado por el desarrollo de un nivel de referencia de emisiones forestales o nivel de referencia forestal nacional y explica la relación entre el nivel de referencia y cualquier nivel de referencia de emisiones forestales o nivel de referencia forestal que el país tenga la intención de presentar a la CMNUCC”*. El nivel de referencia propuesto ante el Fondo de Carbono de FCPF es nacional y en esta sección del informe se está explicando la relación entre el nivel de referencia ante el Fondo de Carbono de FCPF y el nivel de referencia que el país tiene previsto presentar a la CMNUCC.
- **Indicador 10.3:** *“El programa de reducción de emisiones (ante el Fondo de Carbono del FCPF) explica los pasos que se tienen previstos para alcanzar consistencia ente el nivel de referencia y el emergente inventario nacional de GEI”*. Los pasos se explicaron en la sección 2.3 del informe.

¹⁵ Con los años 1996 y 2009 incluidos.

¹⁶ En octubre del 2012, Costa Rica presentó sus ideas tempranas (ER-PIN) al Fondo de Carbono de FCPF, incluyendo su intención de iniciar el programa en 2010.

¹⁷ Indicadores 11.1 y 11.2 de MF-FCPF.

3.4 Implementación de los conceptos de “transparente”, “completo”, “consistente”, y “exacto”

Varias decisiones de la CP¹⁸ hacen referencia a la necesidad que las estimaciones de flujos de GEI en el contexto de la construcción de niveles de referencia y de los inventarios nacionales de GEI deben ser “transparentes”, “completas”, “consistentes” y “exactas”, mientras que no mencionan el concepto de “comparabilidad”¹⁹, que sí se menciona en la literatura del IPCC. En el contexto de la construcción del nivel de referencia de Costa Rica estos conceptos se implementaron de la siguiente manera:

- **Transparencia.** Todos los datos utilizados en la construcción del nivel de referencia y todos los cálculos pueden revisarse en la herramienta Excel “FREL TOOL CR v.1”, la cual se puede descargar del www.reddcr.go.cr²⁰ junto con todos los mapas, informes técnicos, fuentes bibliográficas consultadas y citadas en este informe y otras hojas de cálculo desarrolladas en el contexto de la construcción del nivel de referencia. Asimismo, todos los supuestos utilizados en la construcción del nivel de referencia se hacen explícitos en este informe y en la herramienta de cálculo (“FREL TOOL CR v.1”).
- **Completo.** Todas las fuentes de emisiones y remociones de GEI, reservorios de carbono y gases considerados significativos fueron debidamente estimados, se reportan y están incluidos en el nivel de referencia.
- **Consistente.** Las metodologías utilizadas en la estimación de las emisiones y remociones fueron las mismas para todos los años del período histórico considerado (1986-2013) y se supone que serán las mismas en los futuros períodos de medición y reporte, así que las diferencias entre los años son (y serán) reales y no se deben a artefactos causados por cambios en las metodologías. Además, hasta donde es conocido por los autores de este informe, los datos y metodologías empleadas para construir el nivel de referencia son las mismas que el país está utilizando en la actualización de sus Inventarios Nacionales de GEI.
- **Exacto.** Las incertidumbres asociadas a los estimados de emisiones y remociones se estimaron siguiendo las mejores prácticas del IPCC y se reportan de manera transparente.

¹⁸ Por ejemplo: Decisión 11/CP.19, párrafo 2(c).

¹⁹ El concepto de “comparabilidad” se refiere a que las emisiones y absorciones reportadas por las Partes deberían ser “comparables” entre las Partes, para lo cual las Partes deberían usar metodologías y plantillas de reporte consensuadas por la CP para estimar y reportar sus INGEIs. Ver por ejemplo Todorva *et al.* (sin año de publicación).

²⁰ Aún no se han entregado al FONAFIFO todos los datos, documentos, mapas y herramientas colectados y generados en el contexto de la construcción del nivel de referencia. Esto se hará hacia el final de la consultoría, cuando todos los datos y productos hayan sido formalmente aprobados por FONAFIFO y el Fondo de Carbono del Banco Mundial. Esto para evitar confusiones entre diferentes versiones. Aquí se supone que FONAFIFO pondrá toda la información relevante en su sitio web para que esté accesible a los revisores del Fondo de Carbono de FCPF y de la CMNUCC.

3.5 Enfoque contable

Como se menciona en el Capítulo 2, sección 2.3.2.2 de IPCC-LULUCF (2000)²¹, existen dos enfoques contables para estimar los flujos de GEI en el sector “agricultura, bosques y otros usos del suelo” (AFOLU, por sus siglas en inglés):

- Enfoque basado en actividades (“*activity based accounting*”); y
- Enfoque de paisaje (“*land-based accounting*”).

Con el primer enfoque, los datos de actividad y los flujos de GEI se estiman por cada “actividad” de manera separada, mientras que con el segundo enfoque los flujos de GEI se contabilizan a nivel de unidades de tierras (“*land units*”) que luego se suman a nivel de un “paisaje” (o “área de contabilidad”), sin diferenciar por la actividad que generó cada flujo.

Los marcos metodológicos existentes aún no proveen lineamientos para la aplicación del “enfoque de paisajes”, así que, para la construcción del nivel de referencia de Costa Rica, se consideró más práctico adoptar el enfoque basado en actividades. Eso implica que el nivel de referencia se construyó a partir de “datos de actividad” y “factores de emisión”, como se explica en la siguiente sección.

3.6 Datos de actividad y factores de emisión

Con un enfoque contable basado en actividades, la estimación de flujos de GEI relacionados a los bosques pasa por la estimación de dos variables principales: los “datos de actividad” y los “factores de emisión”.

En el contexto de la construcción del nivel de referencia REDD+ estos conceptos pueden definirse de la siguiente manera:

- “Factor de emisión”: cambio de existencias de carbono y emisiones de gases no-CO₂ por quemas de biomasa que ocurren en una hectárea de bosque cuando ésta se convierte a otra categoría de uso del suelo, o cuando una hectárea de bosque permanece como bosque, o cuando una hectárea de una categoría de uso del suelo no-forestal se convierte en un bosque²²;
- “Dato de actividad”: cantidad de hectáreas en las cuales ocurrió el cambio de existencias de carbono y la emisión de gases no-CO₂ descritos anteriormente²³.

Aunque el período histórico de interés pueda abarcar varios años, los factores de emisión y los datos de actividad se calculan y reportan para cada año del periodo estudiado y luego se suman para conocer el total de todo el período. Por lo tanto, las emisiones y absorciones anuales de GEI relacionadas a los bosques

²¹ IPCC, 2000. Land Use, Land-Use Change and Forestry. Robert T. Watson, Ian R. Noble, Bert Bolin, N. H. Ravindranath, David J. Verardo and David J. Dokken (Eds.), Cambridge University Press, UK. pp 375. (http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/land_use/index.php?idp=61#s2-3-2-2).

²² Ver IPCC GPG LULUCF, 2003. Anexo A, Glosario, donde los factores de emisión se definen como “*A coefficient that relates the activity data to the amount of chemical compound which is the source of later emissions. Emission factors are often based on a sample of measurement data, averaged to develop a representative rate of emission for a given activity level under a given set of operating conditions*” (http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_files/Glossary_Acronyms_BasicInfo/Glossary.pdf).

²³ Ver IPCC GPG LULUCF, 2003. Anexo A, Glosario, donde los datos de actividad se definen como “*Data on the magnitude of human activity resulting in emissions or removals taking place during a given period of time. In LULUCF sector, data on land areas, management system, lime and fertilizer use are examples of activity data*” (http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_files/Glossary_Acronyms_BasicInfo/Glossary.pdf).

pueden calcularse como la suma de los productos de los datos de actividad correspondiente a las actividades incluidas en el nivel de referencia por sus respectivos factores de emisión:

$$E_t = \sum_{i=1}^I (DA_{i,t} * FE_{i,t}) \quad (\text{Ec.1})$$

Donde:

E_t	Emisiones o absorciones relacionadas a una actividad REDD+ en el año histórico t ; tCO ₂ -e año ⁻¹
$DA_{i,t}$	Datos de actividad en el estrato i de la categoría LU en el año histórico t relacionados a una actividad REDD+; ha año ⁻¹
$FE_{i,t}$	Factor de emisión o absorción aplicable al estrato i de la categoría LU en el año t ; tCO ₂ -e ha ⁻¹
i	Estrato i en la categoría LU ; sin dimensión
I	Número total de estratos en todas las categorías LU relacionadas a una actividad REDD+; sin dimensión
t	Un año de la serie histórica analizada; sin dimensión
LU	Una de las seis categorías del IPCC: Tierras Forestales (FL , por sus siglas en inglés), Cultivos (CL , por sus siglas en inglés), Pastizales (GL , por sus siglas en inglés), Humedales (WL , por sus siglas en inglés), Asentamientos (SL , por sus siglas en inglés), Otras Tierras (OL , por sus siglas en inglés).

Nota:

- Los resultados de la aplicación del término $(DA_{i,t} * FE_{i,t})$ de la ecuación Ec.1 se reportan para cada transición (tierras que permanecieron en la misma categoría de uso del suelo y tierras que cambiaron de categoría de uso del suelo) en las celdas de las matrices “E AAAA”²⁴ de la herramienta “FREL TOOL CR v.1”. Los valores sumados de las celdas correspondientes a un mismo tipo e bosque y actividad REDD+ (i.e. los valores calculados de E_t) se encuentran al final de las matrices “E AAAA” (celdas B240:S354) y también se reportan en la hoja “DECISIONES” (celdas B51:AZ 173)
- Los datos de actividad anuales $DA_{i,t}$ se reportan en las matrices de las hojas “DA AAAA” de la herramienta “FREL TOOL CR v.1”.
- Los factores de emisión $FE_{i,t}$ se reportan en las celdas de las matrices de las hojas “FE AAAA” de la herramienta “FREL TOOL CR v.1”.

Es importante mencionar que en la literatura del IPCC la ecuación Ec.1 no se encuentra en la forma que se escribió arriba. Sin embargo, existen varias ecuaciones del IPCC que ilustran el concepto que se describe en la ecuación Ec.1 de una manera similar. La relación entre la ecuación Ec.1 y las ecuaciones del IPCC se demuestra paso por paso en el Anexo 2.

Tanto los datos de actividad ($DA_{i,t}$) como los factores de emisión ($FE_{i,t}$) se estimaron para cada año de la serie histórica ya que ambos pueden variar anualmente. Por esta razón, también a futuro se seguirán estimando para cada año.

Los “estratos de bosque” (a veces también llamados “tipos de bosque”) son subdivisiones de las áreas clasificadas como “bosque” que se hacen para tomar en cuenta las diferencias en contenido de carbono. El contenido de carbono de los bosques puede variar significativamente en el espacio y en el tiempo por

²⁴ “AAAA” se refiere a un año específico.

cambios en la condición del bosque (degradación, crecimiento, manejo forestal) o por cambios de uso del suelo (deforestación, reforestación).

Otra observación importante es que dependiendo de la “actividad”, el término E_t puede tener un signo positivo, en cuyo caso representa una absorción neta de GEI hacia la atmósfera (y una disminución del contenido de carbono del bosque), o un signo negativo, en cuyo caso representa una absorción neta de GEI desde la atmósfera (y un aumento del contenido de carbono del bosque).

Para la construcción del nivel de referencia de Costa Rica se emplearon:

- **Datos de actividad espacialmente explícitos**, obtenidos de la combinación en un Sistema de Información Geográfica (SIG) de siete Mapas de Cobertura del Suelo (MCS) generados por un estudio independiente²⁵. Los MCS fueron creados utilizando una metodología consistente para los años 1985/86²⁶, 1991/92, 1997/98, 2000/01, 2007/08, 2011/12 y 2013/14 (más detalles en la sección 3 de este informe).
- **Factores de emisión estimados a partir de datos medidos nacionalmente**. Para este fin se analizó una base de datos preliminar²⁷, gentilmente otorgada por el SINAC, correspondiente al inventario nacional forestal (INF) 2013-2014. Estos datos se complementaron identificando y seleccionando, mediante una meta-análisis de datos publicados, otros datos medidos nacionalmente, lo cual permitió realizar las estimaciones de contenidos de carbono que se necesitaban para cumplir con los requerimientos de los marcos metodológicos (más detalles en la sección 4 de este informe).

3.7 Actividades REDD+ incluidas en el nivel de referencia

REDD+ incluye las siguientes cinco actividades:

- a) Emisiones por deforestación;
- b) Emisiones por degradación;
- c) Aumento de existencias de carbono forestal;
- d) Manejo forestal;
- e) Conservación de existencias de carbono forestal.

En el caso de Costa Rica el nivel de referencia incluye:

- **Emisiones por deforestación;**
- **Aumento de existencias de carbono forestal**
- **Conservación de existencias de carbono forestal.**

²⁵ Agresta, Dimap, Universidad de Costa Rica, Universidad Politécnica de Madrid, 2015.a. Informe Final: Generating a consistent historical time series of activity data from land use change for the development of Costa Rica's REDD plus reference level: Protocolo metodológico. Informe preparado para el Gobierno de Costa Rica bajo el Fondo de Carbono del Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques (FCPF). 44 p.

²⁶ Las notaciones 1985/86, (...), 2013/14 para identificar los MCS se usan para indicar que los MCS representan la situación en el campo al 31 de diciembre del primer año indicado en la notación y al 01 de enero del segundo año indicado en la notación y también para enfatizar que los MCS fueron generados analizando imágenes de satélite adquiridas en una ventana de tiempo de hasta 14 meses.

²⁷ La base de datos del INF se obtuvo del SINAC después de firmar dos cartas de confidencialidad, razón por la cual los autores de este informe no están autorizados para distribuirla y publicarla. La razón de la confidencialidad es que al momento de construir el nivel de referencia los datos del INF estaban aún siendo analizados y aún no existía una publicación de los mismos.

Para cumplir con el principio de transparencia, las emisiones y absorciones relacionadas a las primeras dos actividades se estiman y reportan separadamente y luego se suman para conocer el nivel de referencia total del país.

Por otro lado, la “conservación de existencias de carbono forestal” siempre se estiman y reportan por separado porque en este caso se trata de “existencias de carbono” y no de flujos de GEI asociados a cambios de existencias de carbono y a emisiones de gases no-CO₂ por quema de biomasa.

La degradación y el aumento de existencias de carbono en bosques primarios que permanecieron bosques primarios se excluyen del nivel de referencia por falta de datos que permitan estimar los flujos asociados a estas actividades en forma confiable y por la existencia de indicios que sugieren que los bosques primarios que permanecieron como tales no son una fuente significativa de emisiones de GEI según la definición de “significante” de MF-FCPF (> 10% de las emisiones totales)²⁸. La significancia de las emisiones por “degradación” se analiza y reporta en un informe separado²⁹.

“Manejo forestal”, en el contexto del nivel de referencia de Costa Rica, se define como el conjunto de actividades implementadas en áreas de bosque en las cuales existe extracción de madera aplicando prácticas sostenibles de aprovechamiento forestal.

El manejo forestal también se excluye del nivel de referencia de Costa Rica por falta de datos para estimar en forma confiable los flujos de carbono relacionados a las áreas bajo manejo forestal.

Los volúmenes de madera cosechada en áreas bajo planes de manejo forestal son bastante modestos en Costa Rica. Según el “Sistema de Información de los Recursos Forestales de Costa Rica” (SIREFOR)³⁰, entre 2002 y 2007 se han extraído un total de 666,393.5 m³ de madera de las áreas con planes de manejo forestal, lo cual equivale a un promedio anual de 30,983.88 m³ año⁻¹, valor que en el período reportado no muestra una tendencia significativa al aumento. Para que este volumen de madera extraída represente emisiones significativas (> 10% de las emisiones brutas totales del sector forestal) en el período 2002-2007, el factor de emisión por m³ de madera extraída debería ser del orden de magnitud de 1.96 Mg C m⁻³, lo cual está en el límite superior del rango de 0.99 – 2.33 Mg C m⁻³ estimado por Pearson *et al.* (2014)³¹ en concesiones forestales de seis países (Belice, Bolivia, Brasil, Guyana, Indonesia y República Democrática del Congo). Sin embargo, eso no quiere decir que la extracción de madera genere emisiones significativas en Costa Rica, ya que se aplican prácticas de aprovechamiento de bajo impacto y los volúmenes de madera aprovechada por hectárea, según la opinión de expertos nacionales consultados (i.e. MSc. German Obando), son más bajos³² que en las concesiones forestales estudiadas por Pearson *et al.*, así que es poco probable que los factores de emisión por metro cúbico de madera extraída sean tan altos en Costa Rica.

²⁸ Indicador 3.3 de MF-FCPF.

²⁹ CDI, 2015.c. Análisis de significancia de los cambios de existencias de carbono en bosques que permanecieron bosques. Informe de consultoría elaborado para el Gobierno de Costa Rica bajo el Fondo de Carbono del Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques (FCPF). 12 p.

³⁰ http://www.sirefor.go.cr/?page_id=941

³¹ Pearson, T. R. H., S. Brown, F. M. Casarim, 2014. Carbon emissions from tropical forest degradation caused by logging. *Environmental Research Letters*, 9 (2014), 034017, 11 p

³² Los números de árboles extraídos varían de 2 a más de 10 árboles por hectárea, con un promedio entre 3 y 6 árboles, según los datos presentados en Arroyo *et al.*, 2014.

Por otro lado, uno de los estudios más completos que se haya publicado hasta ahora sobre el manejo forestal en Costa Rica (Arroyo-Mora *et al.*, 2014)³³ destaca que desde la adopción de Ley Forestal 7575 (1996) Costa Rica ha desarrollado procedimientos técnicos para el aprovechamiento selectivo de los bosques, incluyendo estándares para la sostenibilidad del manejo forestal. Sin embargo, este mismo estudio afirma que es probable que los rodales de bosques natural aprovechados estén altamente afectados por la extracción de madera, ya que las operaciones de aprovechamiento se concentran en árboles grandes (≥ 60 cm DAP) y que la ley permite extraer el 60% del volumen comercial total, al menos que se trate de especies con menos de 0.3 individuos ≥ 30 cm DAP por hectárea. El estudio también menciona que el Código de Prácticas³⁴ para el manejo policíclico de bosques permite una segunda cosecha a los 15 años, con un mínimo a los 10 años, los cual podrían ser periodos demasiado cortos para que los bosques puedan recuperarse.

Es entonces importante reconocer que la información para estimar los impactos del manejo forestal y otros factores antrópicos sobre los flujos de carbono en los bosques de Costa Rica es aún insuficiente, así que se identifica esta área como uno de los temas que requerirán de mejoras en el futuro.

La exclusión de los flujos de carbono asociados a la degradación, aumento de existencias de carbono y manejo forestal en tierras forestales que permanecen tierras forestales debería generar una estimación conservadora del nivel de referencia de las emisiones relacionadas a los bosques de Costa Rica, ya que los estudios publicados sobre manejo forestal sugieren que el manejo forestal genera más emisiones que absorciones (i.e. Arroyo-Mora *et al.*, 2014; Svob *et al.*³⁵, 2014; Pearson *et al.*, 2014) y que en total el balance de emisiones y absorciones para los bosques primarios de Costa Rica es de una emisión neta³⁶, así que las emisiones totales del sector forestal podrían ser incluso más altas de las que se estimaron e incluyeron en el nivel de referencia.

La exclusión de los flujos de carbono asociados a la degradación, aumento de existencias de carbono y manejo forestal en tierras forestales que permanecen tierras forestales es, además, consistente con el INGEI de Costa Rica, que no reporta flujos de GEI asociados a los bosques primarios que permanecen bosques primarios, con la excepción de las emisiones de gases no-CO₂ asociadas a los incendios forestales, las cuales no son significativas en Costa Rica (menos del 1.00% de las emisiones totales del sector según la última actualización del inventario nacional de GEI³⁷).

Las emisiones de gases no-CO₂ asociadas a los incendios forestales en tierras forestales que permanecen tierras forestales se excluyeron del nivel de referencia por la insuficiencia de datos para estimar los datos de actividad y los factores de emisión de manera confiable (exacta y completa) para toda la serie histórica. Esta es otra área identificada para las mejoras futuras.

³³ Arroyo-Mora, P.J., S. Svob, M. Kalacska y R. L. Chazdon, 2014. *Historical patterns of natural forest management in Costa Rica: the good, the bad and the ugly*. *Forests*, 5:1777-1797.

³⁴ SINAC, 2009. Estándares de sostenibilidad para manejo de bosques naturales: Código de prácticas. In: Resolución R-SINAC-021-2009; La Gaceta: San José, Costa Rica, 2009.

³⁵ Svob, S., J. P. Arroyo-Mora, M. Kalacska, 2014. *The development of a forestry geodatabase for natural forest management plans in Costa Rica*. *Forest Ecology and Management*, 327:240-250.

³⁶ CDI, 2015.c. Análisis de significancia de los cambios de existencias de carbono en bosques que permanecieron bosques. Informe de consultoría elaborado para el Gobierno de Costa Rica bajo el Fondo de Carbono del Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques (FCPF). 12 p.

³⁷ Chacón, A. R, Jiménez, G., J. Montenegro, J. Sasa y K. Blanco, 2014. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero y Absorción de Carbono 2010. MINAE, IMN, GEF, PNUD, Costa Rica, 64 p.

3.8 Definición de las actividades REDD+

Aunque existan definiciones de “forestación” (A – “*Afforestation*”), “reforestación” (R – “*Reforestation*”) y “deforestación” (D – “*Deforestation*”), colectivamente ARD (por las siglas en inglés), y “manejo forestal” (FM – “*Forest Management*”) aplicables a los países del Anexo 1 en el contexto del Protocolo de Kioto, por el lado de la convención (CMNUCC) aun no existen definiciones explícitas de las cinco actividades REDD+. El Marco Metodológico del Fondo de Carbono del FCPF y los requerimientos JNR del VCS, por su lado, tampoco proveen elementos suficientes para que sea posible definir las actividades REDD+ inequívocamente y para delimitarlas, espacialmente y temporalmente, en la contabilidad del carbono.

Por eso, si no se adopta una definición transparente de cada actividad, incluyendo reglas para contabilizarlas, existe el riesgo de que ciertos flujos de GEI relacionados a los bosques sean omitidos o contabilizados dos o hasta más veces en diferentes actividades REDD+. Una discusión sobre este riesgo se presenta en el Anexo 3.

Para ayudar a los países a definir las actividades REDD+ de manera transparente y consistente, UN-REDD³⁸, en su publicación más reciente, incluye una tabla (Tabla 3, p. 21) que relaciona las categorías de conversión de usos del suelo del IPCC con las actividades REDD+ de la siguiente manera:

- Tierras forestales convertidas a otras categorías de uso del suelo:
 - Reducción de emisiones por deforestación.
- Tierras forestales que permanecen tierras forestales:
 - Reducción de emisiones por degradación;
 - Conservación de existencias de carbono forestal;
 - Manejo sostenible de bosques.
 - Aumento de existencias de carbono forestal
- Otras tierras convertidas a tierras forestales:
 - Aumento de existencias de carbono forestal.

En esta misma publicación, UN-REDD presenta además el caso de México (p. 21), en cuya *submission* del nivel de referencia REDD+ a la CMNUCC los cambios de área reportados para cada categoría del IPCC se relacionan con las actividades REDD+ en una matriz de cambios de usos del suelo. Este enfoque es similar a la representación que hace el IPCC de la relación entre las categorías de uso del suelo de la CMNUCC y las actividades bajo el Protocolo de Kioto (ver Tabla 2.1 de IPCC 2013, Capítulo 2. Sección 2.1, p. 2.12)³⁹

Para definir las actividades REDD+ en el caso de Costa Rica se decidió seguir los ejemplos del IPCC y de México, asignando una y una sola actividad REDD+ a cada celda de las matrices de cambio de uso suelo. En estas matrices, todas las celdas que representan un cambio de categoría donde la categoría inicial y/o la categoría final es una categoría o sub-categoría de las Tierras Forestales (“*Forest Land*”) tiene una actividad REDD+ asignada, como se muestra en Figura 2 y en la hoja “ACTIVIDADES” de la herramienta “FREL TOOL CR v.1”.

³⁸ FAO, UNDP and UNEP, 2015. *Technical considerations for Forest Reference Emission Level and/or Forest Reference Level construction for REDD+ under the UNFCCC*. 31 p.
(http://theredddesk.org/sites/default/files/resources/pdf/rel-e-web_1.pdf).

³⁹ IPCC, 2013. *Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol*. (http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/kpsg/pdf/KP_Separate_files/KP_Chapter_2_Methods_Estimation_Measurement_Monitoring_Reporting.pdf).

Figura 2. Definición de las actividades REDD+ utilizando matrices de cambio de uso del suelo

		FL												CL	GL	WL	SL	OL	
		Bmh				Bh				etc...									
		bp	bn			bp	bn			bp	bn								
			... -1985	1986 - 1991	... 2022 - 2023		... -1985	1986 - 1991	... 2022 - 2023		... -1985	1986 - 1991	... 2022 - 2023						
FL	Bmh	bp																	
		bn	... -1985																
			1986-91																
			... 2022-23																
	Bh	bp																	
		bn	... -1985																
			1986-91																
			... 2022-23																
	etc...	bp																	
		bn	... -1985																
			1986-91																
			... 2022-23																
CL																			
GL																			
WL																			
SL																			
OL																			

- Categorías del IPCC que corresponden a la actividad REDD+ "deforestación"
- Categorías del IPCC que corresponden a la actividad REDD+ "conservación de existencias de carbono forestal"
- Categorías del IPCC que corresponden a la actividad REDD+ "aumento de existencias de carbono forestal" en "bosques nuevos existentes"
- Categorías del IPCC que corresponden a la actividad REDD+ "aumento de existencias de carbono forestal" en "tierras convertidas a tierras forestales"

FL: Tierras Forestales; **CL:** Cultivos; **GL:** Pastizales; **SL:** Asentamientos; **OT:** Otras Tierras; **Bmh** = Bosques muy húmedos pluviales; **Bh:** Bosques húmedos; **bp:** bosques primarios; **bn:** bosques nuevos; **AAAA-AA** Cohorte de edad de los bosques nuevos (período en el cual aparecieron)

El enfoque utilizado para definir las actividades REDD+ tiene las siguientes ventajas:

- Muestra claramente la relación entre las categorías de cambios del IPCC y las actividades REDD+;
- Hace imposible omitir o contar dos veces una fuente o un sumidero forestal;
- Permite contabilizar y reportar de manera transparente y consistente a lo largo del tiempo los flujos de GEI asociados a cada actividad REDD+; y
- Facilita mantener y demostrar la consistencia entre el INGEI, el nivel de referencia REDD+ y MRV de los períodos futuros.

Las definiciones de las actividades REDD+ incluidas en el nivel de referencia pueden resumirse de la siguiente manera.

- Deforestación:
 - Deforestación bruta de los “bosques primarios”. Estos son todos los bosques que no fueron clasificados como “bosques nuevos” en el Mapa de Cobertura del Suelo más antiguo de la serie temporal, el MCS 1985/86.
 - La deforestación antrópica bruta de los bosques nuevos. Los “bosques nuevos” son todos los bosques que no fueron clasificados como “bosques primarios” en el MCS del año 1985/86. Los “bosques nuevos” incluyen áreas que en el 1985/86 se clasificaron como “bosques secundarios” y todos los bosques que aparecieron después del año 1985/86 en tierras que en el MCS 1985/86 fueron clasificadas en categorías de tierras no forestales e incluyen, además de los bosques secundarios, también las plantaciones forestales establecidas después del año 1985/86.

Nótese que la deforestación bruta no-antrópica también se reporta en las hojas de cálculo (i.e. “FREL TOOL CR v.1”, y en este informe, pero la misma no se incluye en el nivel de referencia. La deforestación no-antrópica es la deforestación que se puede asociar, sin ambigüedad, a las actividades de los volcanes activos de Costa Rica, a los impactos de los terremotos, a las inundaciones, al movimiento de los cauces de los ríos y otros cuerpos de agua naturales en las áreas de bosque y a otros disturbios naturales.

El nivel de referencia de Costa Rica incluye solamente las emisiones por deforestación bruta de origen antrópico. Las emisiones por deforestación no-antrópica se excluyen⁴⁰.

- Aumento de existencias de carbono forestal:
 - Considerando que solamente las áreas de bosque nuevo pudieron identificarse sin ambigüedad en los MCS generados para el período 1986-2013, el nivel de referencia incluye solamente el aumento de existencias de carbono en los bosques nuevos y excluye cualquier tipo de cambios de existencias de carbono en los “bosques primarios” que permanecieron como tales.

⁴⁰ Como se mencionó anteriormente, el IPCC supone que todas las emisiones son “antrópicas” cuando ocurren en tierras gestionadas y que son “no-antrópicas” cuando ocurren en “tierras no-gestionadas”. En el pasado el INGEI de Costa Rica consideraba las áreas naturales protegidas como “tierras no-gestionadas”, concepto que cambiaría en el contexto de la actualización del INGEI actualmente en curso. La exclusión de las emisiones por deforestación “no-antrópica” en el contexto de REDD+ se hace para todo tipo de tierra (que sea o no “gestionada”, ya que todas las tierras del país se incluyeron en el nivel de referencia, excepto aquellas que se mencionaron en la sección 3.1). Dicha exclusión representa una diferencia con el INGEI y se justifica por la exposición que los bosques de Costa Rica tienen a fenómenos geológicos y climatológicos extremos, que en un futuro podrían causar emisiones tan altas que podrían cancelar todos los resultados del programa de reducción de emisiones antrópicas, lo cual sería injusto.

El nivel de referencia incluye el aumento de existencias de carbono en bosques nuevos. Los cambios de existencias de carbono en bosques primarios no se incluyen en el nivel de referencia.

- Conservación de existencias de carbono forestal:
 - Se incluye y estima como la cantidad de carbono que permanece almacenada en los bosques primarios, asumiendo que dichos bosques tienen un contenido de carbono por hectárea estable en el tiempo.

El nivel de referencia incluye la conservación de las existencias de carbono de los bosques primarios. La conservación de las existencias de carbono en los bosques nuevos no se incluye en el nivel de referencia.

3.9 Período histórico de referencia

De manera consistente con el principio de transparencia, los cambios de existencia de carbono y emisiones de gases no-CO₂ asociados a los bosques de Costa Rica estimados para todos los años del período 1986 – 2013 y se reportan en este informe, independientemente de los años incluidos en el nivel de referencia.

Como se mencionó anteriormente (sección 3.3), el nivel de referencia oficial de Costa Rica será el que se presentará a la CMNUCC en el próximo ciclo de revisión. Se anticipa que este nivel de referencia se construirá para los siguientes dos períodos de implementación de los programas y políticas públicas de reducción de emisiones de Costa Rica:

- **Período 1996-2009.** Este es el primer periodo para el cual Costa Rica empezó a implementar políticas y programas públicos para reducir la deforestación, conservar los bosques y contribuir a la mitigación del cambio climático, reconociendo – entre otros - que el carbono es un servicio ambiental de los bosques. Este período inicia con la adopción de la Ley Forestal 7575 del 1996, cuyos instrumentos financieros, institucionales y de control de la deforestación se consideran los hitos históricos que marcan el inicio de este período. El nivel de referencia para este período tomará como referencia las emisiones y remociones antrópicas asociadas a los bosques del período **1986-1995**.
- **Período 2010-2020.** Este segundo período inicia con el año en que se actualiza el nivel de referencia (2010) tomando como referencia las emisiones y remociones antrópicas asociadas a los bosques del período **1986-2009**. El nivel de referencia de este segundo período incluye, entonces, los efectos de las políticas y programas públicos de control de la deforestación que se implementaron desde el 1996.

Considerando que los dos períodos históricos de referencia arriba mencionados no cumplen con los indicadores 11.1 y 11.2 del MF-FCPF, para efectos de establecer una referencia en el contexto de las negociaciones de un ERPA con el Fondo de Carbono de FCPF se tomará como **periodo histórico de referencia los años 1996-2009** (14 años). La duración de este periodo histórico de referencia no cumple con los requerimientos VCS-JNR, los cuales exigen que la duración del período histórico de referencia esté entre 8 y 12 años⁴¹.

⁴¹ Sección 3.11.12.1.a de VCS-JNR, versión 3.2.

La justificación de este período es la siguiente:

- El año inicial del periodo histórico es el 1996 porque este es el año en que se adoptó la Ley Forestal 7575 y en que se empezó a implementar sus instrumentos financieros, institucionales y de control de la deforestación. De tal manera, el periodo histórico de referencia ya incluye los efectos de las políticas y programas que el país ha venido implementando y fortaleciendo desde el 1997, lo cual genera un nivel de referencia con emisiones y remociones más bajas del que se daría al considerar años más antiguos, cuando dichas políticas y programas aún no se habían implementado. El 1996 como año de inicio genera un periodo que no es mayor a los 15 años, como requiere el indicador 11.1 del MF-FCPF.

El año final del período histórico es el 2009 porque Costa Rica considera que su programa REDD+ bajo el Fondo de Carbono de FCPF inició en el 2010. Esta fecha es cercana al 03 de julio del 2008, día en que se publicó en la Gaceta la Ley N° 8640 del Proyecto Ecomercados II. Mediante esta ley se aumentan los recursos para el pago de servicios ambientales en \$ 30 millones (para los siguientes cinco años) y se asegura una donación de \$ 10 millones para crear un fondo patrimonial para la protección de la biodiversidad (Fondo de Biodiversidad Sostenible) y se mejora la efectividad del PSA (apoyo a pequeños productores, monitoreo del impacto social, atención de zonas de mayor pobreza y atención de cuencas prioritarias, entre otros). Los cambios ocurridos en los programas públicos ocurridos después de la adopción de la Ley N° 8640 justifican, para Costa Rica, el año 2010 como el año de inicio de su programa de reducción de emisiones ante el Fondo de Carbono de FCPF. Se establece el año 2010 como fecha de inicio, considerando que entre la aprobación de la Ley por la Asamblea Legislativa en 2008 y su implementación plena en 2010 fue necesario completar procedimientos operativos y financieros para desencadenar los desembolsos por parte del Banco Mundial y luego incorporar los recursos recibidos en el presupuesto anual, además de los ajustes propios en el Manual de Procedimientos del PSA que se revisa anualmente. Para efecto de participación de los sectores en esta época se estaba realizando la evaluación del primer Plan Nacional de Desarrollo Forestal y construyendo las bases para el Plan Nacional de Desarrollo Forestal vigente en la actualidad, la cual incorpora claramente las acciones REDD+ como parte de la política pública.

Cabe además recordar que el año 2010 representa el inicio de la Estrategia Nacional REDD+, así como está explícito en el documento de Estrategia, según los diálogos sectoriales durante los procesos de información y pre-consulta de REDD+, además de su definición explícita en las ideas tempranas del Programa de Reducción de Emisiones (ER-PIN) presentadas al Fondo de Carbono en octubre del 2012. En esta reunión, el Fondo de carbono emitió su resolución CFM/5/2012/1, la cual reconoció la alta calidad del ER-PIN (párrafo 1) y otorgó financiamiento adicional para avanzar hacia el Programa de Reducción de Emisiones (párrafos 2 y 3). Además, en el anexo de la resolución, el Fondo de Carbono identificó los problemas clave que el país debería resolver para desarrollar las ideas del ER-PIN, el cual no incluye una objeción al inicio del programa en 2010. Adicionalmente, en

Adicionalmente, el periodo seleccionado es coincidente con el nivel de referencia de emisiones forestales/nivel de referencia forestal que Costa Rica presentará ante la Convención en el próximo ciclo de revisión. Ante la Convención el país argumentará dos periodos de reducciones de emisiones: 1986-1995 y 1986-2009. El segundo periodo incluye el nivel de referencia presentado al Fondo de Carbono. Por lo que las reducciones de emisiones para el Fondo de Carbono serán evaluadas a partir del promedio anual histórico para 1996-2009, pero serán descontadas del periodo 1986-2009, según se reporte a la Convención.

3.10 Directrices del IPCC adoptadas y nivel (*Tier*) de exactitud

Los métodos utilizados para calcular las emisiones y absorciones de GEI relacionadas a los bosques en la construcción del nivel de referencia se acordaron con el IMN y por tanto deberían ser consistentes con los métodos empleados para estimar las emisiones y absorciones del sector forestal que el país reportará en la actualización de su INGEI.

En ambos casos se adoptaron las guías de buenas prácticas del IPCC del año 2006, aplicando – siempre que haya sido posible - los métodos que corresponden a un nivel 2 o más alto (*“Tier level”*).

El método utilizado para estimar datos de actividad se basa en el enfoque 3 del IPCC para la representación de tierras, es decir que los datos de actividad se determinan de manera espacialmente explícita, cruzando los Mapas de Cobertura de Suelo (MCS) preparados para los años 1985/86, 1991/92, 1997/98, 2001/02, 2008/09, 2011/12 y 2012/13 para detectar los cambios de categorías de cobertura del suelo y cuantificar las áreas que cambiaron.

Los cambios de categorías se reportan en hectáreas por cada período histórico analizado (1986-1991,1992-1997,1998-2001,2002-2008,2009-2011,2012-2013) en matrices de cambio de uso del suelo. Estas matrices están disponibles en las hojas “MC AAAA-AA” (donde AAAA-AA indica los años, por ejemplo 1986-91) del archivo Excel “FREL TOOL CR v.1”. Este archivo fue diseñado como una herramienta de soporte a la toma de decisiones para ayudar al FONAFIFO en la toma de decisiones relevantes para la construcción del nivel de referencia y también para reportar de manera transparente y verificable todos los datos y cálculos relacionados con el nivel de referencia y los futuros resultados del programa de reducción de emisiones de Costa Rica bajo el Fondo de Carbono de FCPF. La herramienta “FREL TOOL CR v.1” puede ser descargado desde www.reddcr.go.cr.

Con la excepción de las conversiones de tierras forestales a otras categorías de uso del suelo, donde el factor de emisión incluye, además del cambio de existencias de carbono también las emisiones de gases no-CO₂ asociadas a la quema de biomasa, en todas las demás categorías, los factores de emisión son equivalentes al cambio de existencias de carbono⁴².

El método utilizado para estimar los cambios de existencias de carbono es el método del IPCC llamado “cambios de existencias de carbono” (*“stock-change method”*). En efecto, a cada celda de las matrices de cambios de usos del suelo se le asignó un factor de emisión cuyo componente de cambio de existencias de carbono se calculó como la existencia de carbono promedio por hectárea estimada para la categoría existente antes del cambio menos la existencia de carbono promedio por hectárea estimada para la categoría existente después de cambio. Eso se hizo tanto en tierras que permanecieron en la misma categoría como en tierras que cambiaron de categoría.

4. Representación de tierras y estimación de los datos de actividad

En esta sección se presentan con más detalle los métodos empleado para representar las tierras y estimar los datos de actividad.

⁴² Como se muestra en la ecuación Ec.2 en el Anexo 2, los factores de emisión se estiman como la suma de dos componentes: el cambio de existencia de carbono y las emisiones de gases no CO₂. Con la excepción del caso de las tierras forestales convertidas a otras categorías de uso del suelo, el segundo componente es igual a cero.

4.1 Análisis de requerimientos

En esta sección se presenta un análisis de los requerimientos de los marcos metodológicos considerados relativos al tema de la representación de tierras y estimación de los datos de actividad.

4.1.1 Método del IPCC

Las directrices del IPCC del 2006 (2006 IPCC GL, por sus siglas en inglés) presentan tres “enfoques” o “métodos” para la representación de las tierras⁴³:

- **Método 1:** Representa las áreas totales de las diferentes categorías de uso de la tierra en una unidad espacial determinada (o “área de contabilidad”) pero sin dar información sobre la ubicación exacta o el patrón de usos y cambios de usos de la tierra dentro de la unidad espacial. Al no ser espacialmente explícito, este método no permite determinar los cambios entre categorías de uso de la tierra.
- **Método 2:** Proporciona información de las pérdidas o ganancias netas en área de las diferentes categorías de uso de la tierra. Esto resulta en una matriz de conversión del uso del suelo pero la misma no resulta de un análisis espacialmente explícito.
- **Método 3:** Se caracteriza por observaciones explícitas en el espacio de las categorías de uso de la tierra y de las conversiones del uso de la tierra, lo que resulta en datos espacialmente explícitos y en matrices de cambio de uso del suelo.

En el contexto de REDD+, el “Método 1” debe descartarse de antemano ya que daría información de deforestación neta (e.g. deforestación menos forestación/reforestación) con lo que no serviría para desagregar emisiones por actividad REDD+.

Las decisiones de la Conferencia de las Partes (CP) de la CMNUCC no proveen requerimientos específicos en relación con el método de representación de las tierras y de los datos de actividad⁴⁴, pero establecen que para la medición y reporte (MR) debe emplearse la última versión de las directrices del IPCC, ya sean adoptadas (es decir 1996 IPCC GL⁴⁵) o recomendadas (es decir, 2006 IPCC GL⁴⁶).

Las directrices 2006 IPCC GL no indican ningún requerimiento en relación con el método a aplicar, aunque incluyen recomendaciones de los casos en los que conviene utilizar un método u otro.

El Marco Metodológico del Fondo de Carbono del FCPF (MF-FCPF), por su lado, indica claramente la necesidad de aplicar el “Enfoque 3” de IPCC (“Método 3”) en el MR para deforestación, mientras que para degradación permite aplicar también métodos indirectos como proxis⁴⁷. Ya que MF-FCPF establece que el

⁴³ Sección 3.3.1 - Capítulo 3 – Volumen 4 - 2006 IPCC GL.

⁴⁴ FCCC/CP/2009/11/Add.1 Decision 4/CP.15. Methodological guidance for activities relating to reducing emissions from deforestation and forest degradation and the role of conservation, sustainable management of forests and enhancement of forest carbon stocks in developing countries. 11 p. (<http://unfccc.int/resource/docs/2009/cop15/eng/11a01.pdf>).

⁴⁵ IPCC, 1996. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. (<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>).

⁴⁶ IPCC, 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4, Chapter 12; Volume 5, Chapters 2 and 3. (<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>).

⁴⁷ Indicador 14.2, MF-FCPF.



MR debe utilizar métodos consistentes con el nivel de referencia⁴⁸, se entiende que también el FREL debe aplicar el “Método 3” para deforestación y que se puede utilizar el mismo método, o un método indirecto, para degradación.

Los requerimientos del VCS para REDD+ Jurisdiccional y Anidado (VCS-JNR, por sus siglas en inglés), por otro lado, son similares a los del MF-FCPF, ya que exigen para MR aplicar el “Método 3” para la deforestación⁴⁹, mientras que para la degradación y el aumento de existencias de carbono forestal permiten el uso de métodos indirectos.

Los requerimientos de los diferentes marcos metodológicos relativos al método que debe aplicarse para estimar los datos de actividad se resumen en la Tabla 1.

⁴⁸ Indicador 14.1, MF-FCPF.

⁴⁹ Sección 3.14.9, VCS-JNR, versión 3.2.

Tabla 1 Resumen de los requerimientos de los distintos marcos metodológicos en relación con el método de representación de las distintas categorías de uso del suelo: 2006 IPCC GL, MF-FCPF y VCS-JNR

Marco metodológico	Criterios
2006 IPCC GL	✓ Se puede emplear el Método 1, 2 o 3, dependiendo de las circunstancias nacionales.
MF-FCPF	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Debe emplearse el Método 3 para deforestación. ✓ Se pueden emplear métodos indirectos (diferentes al “Método 3”) para degradación y aumento de existencias de carbono.
VCS-JNR	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Debe emplearse el Método 3 para deforestación. ✓ Se pueden emplear métodos indirectos (diferentes al “Método 3”) para degradación y aumento de existencias de carbono

4.1.2 Unidad mínima de mapeo y resolución espacial

La Unidad Mínima de Mapeo (MMU, por sus siglas en inglés) es una de las principales especificaciones que deben reportarse en la metodología empleada para definir los datos de actividad. La MMU depende por un lado de la definición de “bosque”, ya que no debería ser mayor al umbral de “área mínima” utilizado en la definición de “bosque”, y por el otro de la resolución espacial de las imágenes satelitales analizadas para obtener los datos de actividad. Por varias razones, tales como evitar los efectos de “sal y pimienta”, la MMU puede ser mayor a la resolución espacial de las imágenes, pero ningún marco metodológico proporciona requerimientos relativos a la relación entre MMU y resolución espacial.

Pese a que el MMU es una especificación importante, el 2006 IPCC GL no establece ningún requerimiento relacionado. El MF-FCPF tampoco establece un requerimiento específico en relación con el MMU o la resolución espacial de los mapas.

El único marco metodológico que establece requerimientos específicos relativos a la resolución de los mapas y MMU es VCS-JNR. De acuerdo a VCS-JNR la resolución espacial final deberá ser no mayor de 100 metros X 100 metros⁵⁰, y el MMU de los mapas de usos del suelo no puede ser superior a una hectárea, independientemente de la definición de bosque⁵¹.

Tabla 2. Resumen de los requerimientos de los distintos marcos metodológicos en relación con la unidad mínima de mapeo y resolución espacial de los mapas: 2006 IPCC GL, MF-FCPF y VCS-JNR

Marco metodológico	Criterios
2006 IPCC GL	✓ No establece ningún requerimiento.
MF-FCPF	✓ No establece ningún requerimiento.
VCS-JNR	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La resolución espacial final deberá ser no mayor de 100 metros X 100 metros; ✓ el MMU de los mapas de usos del suelo no puede ser superior a una hectárea, independientemente de la definición de bosque.

⁵⁰ Sección 3.11.8 (1), VCS-JNR, versión 3.2.

⁵¹ Sección 3.11.8 (2), VCS-JNR, versión 3.2.

4.1.3 Sistema de clasificación de las categorías de uso del suelo

El sistema de clasificación es importante, no sólo para cumplir con los requisitos de los distintos marcos metodológicos, sino también para asegurar una representación completa y consistente de todas las categorías de uso de la tierra que son de interés para el país. El sistema de clasificación también es fundamental desde un punto de vista de la factibilidad de la obtención de los datos de actividad, ya que tiene una influencia directa sobre los costos de mapeo: cuantas más categorías se quieran mapear mayores serán los costos de producción para una exactitud determinada.

Las directrices 2006 IPCC GL definen seis categorías de uso del suelo⁵²: Tierras forestales (F), Tierras de cultivos (C), Pastizales (G), Humedales (W), Asentamientos (S), Otras tierras (O); y dentro de estas categorías define una serie de sub-categorías de cambio (i.e. Tierras que permanecen como tales; Tierras convertidas a otra categoría).

En el contexto de REDD+, las siguientes categorías de cambios de uso del suelo del IPCC deben representarse para que sea posible reportar emisiones o absorciones de carbono para cada actividad REDD+:

- Deforestación:
 - FC: tierras forestales convertidas a tierras de cultivo;
 - FG: tierras forestales convertidas a pastizales;
 - FW: tierras forestales convertidas a humedales;
 - FS: tierras forestales convertidas a asentamientos;
 - FO: tierras forestales convertidas a otras tierras.
- Degradación y aumento de existencias de carbono forestal:
 - FF: tierras forestales que permanecen como tales.
- Aumento de existencias de carbono forestal (bosques nuevos):
 - CF: tierras de cultivo convertidas a tierras forestales;
 - GF: pastizales convertidos a tierras forestales;
 - WF: humedales convertidos a tierras forestales;
 - SF: asentamientos convertidos a tierras forestales;
 - OF: otras tierras convertidas a tierras forestales.

Las directrices 2006 IPCC GL establecen que las seis categorías de uso de la tierra pueden estratificarse más según el clima o la zona ecológica, el suelo, el tipo de vegetación, etc., según sea necesario, para ajustar las superficies de tierra a los métodos para evaluar los cambios en las existencias de carbono y las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero⁵³.

Por otra parte, las decisiones de la CP⁵⁴ establecen que los sistemas nacionales de vigilancia forestal (NFMS, por sus siglas en inglés) deben "permitir la evaluación de distintos tipos de bosques dentro de un país, entre ellos los bosques naturales, con arreglo a la definición del Estado parte", lo que indica la necesidad de

⁵² IPCC GL (2006) se refiere genéricamente al uso de la tierra como "el conjunto de las actividades y los insumos que las personas llevan a cabo en un determinado tipo de cobertura de la tierra". En nuestro contexto, debido a la disponibilidad de datos y las dificultades para interpretar el uso del suelo con los datos de observación de la tierra (EO, por sus siglas en inglés) actual, nos referiremos a la cobertura de la tierra "la cubierta física y biológica observada en el suelo de la tierra, como la vegetación o elementos construidos por el ser humano".

⁵³ Sección 3.2 - Capítulo 3 – Volumen 4 – 2006 IPCC GL.

⁵⁴ FCCC/CP/2013/10/Add.1. Decision 11/CP.19. Modalities for national forest monitoring systems, para 4 (a).

diferenciar entre los diferentes tipos de bosques. Por lo que, se entiende que la categoría de tierras forestales del IPCC debería ser desagregada en estratos o tipos de bosques.

MF-FCPF, por su lado, no establece ningún requerimiento a parte de la obligación de utilizar los métodos del IPCC⁵⁵. VCS-JNR, en cambio, establece que en el caso de los mapas de coberturas del suelo, éstos deben seguir un sistema de estratificación y clasificación de clases identificables y que no pueden solaparse⁵⁶. Asimismo, establece que en el caso en que los bosques presenten cambios cíclicos en la cobertura de bosques (i.e. bosques temporalmente sin existencias de carbono forestal) estos deben separarse en un estrato separado del resto de los bosques. Por otra parte, VCS-JNR establece requerimientos relacionados con la exclusión de eventos de deforestación en el pasado asociados a grandes proyectos de infraestructura que no se van a construir en el futuro y a fenómenos naturales inusuales (con períodos de retorno mayores a 10 años e impactos mayores a 1,000 ha)⁵⁷, con lo que esto debe tenerse en cuenta a la hora de definir las distintas categorías de usos del suelo.

Tabla 3. Resumen de los requerimientos de los distintos marcos metodológicos en relación con el sistema de clasificación: 2006 IPCC GL, MF-FCPF y VCS-JNR

Marco metodológico	Criterios
2006 IPCC GL	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Establece que en el sistema de clasificación se deben al menos definir las categorías de uso del suelo del IPCC y las categorías de cambio de usos del suelo del IPCC; ✓ Las categorías se pueden desagregar en función del clima, suelos, gestión, etc. ✓ La decisión CP 11/CP 19 indica que la categoría de bosque debería estratificarse.
MF-FCPF	<ul style="list-style-type: none"> ✓ No establece ningún requerimiento.
VCS-JNR	<ul style="list-style-type: none"> ✓ El mapeo debe seguir un sistema de estratificación y clasificación de clases identificables y que no pueden solaparse; ✓ Los bosques con cambios cíclicos de existencias de carbono (e.g. bosques temporalmente sin existencias de carbono forestal) o que tienen una existencia de carbono inferior al promedio, se deben mantener como un estrato independiente; ✓ Deforestación causada en el pasado por fenómenos naturales inusuales o grandes proyectos de infraestructura que no se van a construir en el futuro deben excluirse en la estimación de las tasas brutas de deforestación.

4.1.4 Épocas de mapeo

Con el fin de delimitar claramente las actividades REDD+ en el espacio y evitar el solapamiento de actividades y, por ende, el doble conteo, es necesario delinear el bosque en un "punto de referencia" determinado en el tiempo. Como indican Angelsen *et al.* (2009)⁵⁸, "este mapa área forestal inicial (denominado aquí como un mapa de referencia o FCBM, por sus siglas en inglés) debe estar vinculado a un año de referencia contra el cual se monitorearan todas las actividades de REDD+ en el futuro. El uso de un

⁵⁵ Indicador 5.1, MF-FCPF.

⁵⁶ Sección 3.11.8 (3), VCS-JNR, versión 3.2.

⁵⁷ Section 3.11.12 (5), VCS-JNR, versión 3.2.

⁵⁸ Angelsen, A., S. Brown, C. Loisel, L. Peskett, C. Streck, D. Zarin, 2009. Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD); An Options Assessment Report, Meridian Institute Report, Prepared for the Government of Norway. p.21.

FCBM también hace que el monitoreo sea potencialmente menos costoso, ya que la interpretación o clasificación de imágenes sucesivas únicamente tiene que identificar las áreas (o píxeles) que cambiaron su cobertura comparado con el mapa de referencia”.

Junto con el FCBM, la estimación de las tasas históricas de cambio de usos del suelo requiere que se estimen los datos de actividad para varios periodos históricos. Asumiendo que los datos de actividad para cada periodo se determinan combinando mapas de usos del suelo para distintas épocas (i.e. con el método de post-clasificación), es necesario determinar cuántas épocas serán necesarias para determinar las tasas históricas de cambio.

Los marcos metodológicos establecen de manera directa requisitos en relación con el número de periodos o número de épocas (puntos en el tiempo), y también establecen requisitos temporales para definir el periodo histórico de análisis de las tasas.

MF-FCPF establece que la fecha final del periodo histórico debe ser la fecha más reciente anterior a 2013 para la cual existen datos de cobertura de bosques para poder aplicar un “Método 3”, al menos que exista una justificación convincente para otra fecha⁵⁹. Por tanto, el primer punto para el análisis histórico no puede ser posterior a 2013, al menos que exista una justificación. Otro requisito definido por el MF-FCPF es que la fecha de comienzo del periodo de referencia histórico debe ser 10 años antes de la fecha final del periodo histórico, a no ser que esté justificado una fecha de comienzo diferente en cuyo caso no podrá ser mayor de 15 años⁶⁰. Esto significa que la fecha final del periodo debe ser anterior a 2013 y que debe ser de entre 10-15 años.

VCS-JNR, por su lado, establece varios requerimientos. Por una parte, establece claramente la necesidad de tener al menos tres puntos (años) de mapeo en el periodo histórico (dos periodos) y que dichos puntos estén alejadas más de 2 años entre sí⁶¹. Por otra parte, establece que el punto más reciente en el tiempo debe estar dentro de los 2 años previos a la fecha de comienzo del programa, y que el FCBM construido para la fecha de inicio del programa será utilizado para medir y reportar la deforestación de allí en adelante. Asimismo, VCS-JNR indica requerimientos relacionados con el periodo de referencia a considerar: el periodo de referencia debe ser de 8-12 años finalizando dentro de los dos años anteriores a la fecha de comienzo (si una media histórica es utilizada para establecer el nivel de referencia) o debe ser un periodo de 10 años finalizando dentro de los dos años anteriores a la fecha de comienzo (si una tendencia histórica es utilizada para establecer el nivel de referencia)⁶². Esto significa que deben utilizarse mapas de al menos 3 años (2 periodos) dentro de un periodo histórico de 10 años, finalizando ± 2 años de la fecha de comienzo del programa. La fecha de inicio del programa de reducción de emisiones no puede ser anterior al 01 de enero de 2006⁶³.

Finalmente, VCS-JNR exige que los mapas de cobertura del suelo estén construidos con imágenes adquiridas en una ventana de tiempo no mayor a los 14 meses⁶⁴.

⁵⁹ Indicador 11.1, MF-FCPF.

⁶⁰ Indicador 11.2, MF-FCPF.

⁶¹ Sección 3.11.8 (4), VCS-JNR, versión 3.2.

⁶² Sección 3.11.12 (1), VCS-JNR, versión 3.2.

⁶³ Sección 3.3.1, VCS-JNR, versión 3.2.

⁶⁴ Sección 3.11.8.5.a, VCS-JNR, versión 3.2.

Tabla 4. Resumen de los requerimientos de los distintos marcos metodológicos en relación con los períodos históricos de referencia: 2006 IPCC GL, MF-FCPF y VCS-JNR

Marco metodológico	Criterios
2006 IPCC GL	<ul style="list-style-type: none"> ✓ No establece ningún requisito.
MF-FCPF	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La fecha final del periodo histórico debe ser la fecha más reciente anterior a 2013 para la cual existen datos de cobertura de bosques para poder aplicar el “Enfoque3” de IPCC (“Método 3”). ✓ La fecha de comienzo del periodo de referencia histórico debe ser 10 años antes de la fecha final del periodo, a no ser que esté justificado una fecha de comienzo diferente en cuyo caso no podrá ser mayor de 15 años.
VCS-JNR	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se debe disponer al menos de tres puntos de mapeo en el tiempo en el periodo histórico de referencia (dos periodos) y que dichas puntos estén alejadas más de 2 años entre sí. ✓ El punto más reciente en el tiempo en el análisis debe estar dentro de los 2 años previos a la fecha de comienzo del programa. ✓ La fecha de comienzo del programa no puede ser anterior al 01 de enero de 2006. ✓ El periodo histórico debe ser de 8-12 años finalizando dentro de los dos años anteriores a la fecha de comienzo (si una media histórica es utilizada para establecer el nivel de referencia) o debe ser un periodo de 10 años finalizando dentro de los dos años anteriores a la fecha de comienzo (si una tendencia histórica es utilizada para establecer el nivel de referencia). ✓ Para la construcción de un mapa de cobertura del suelo se pueden combinar imágenes adquiridas en una ventana de tiempo no mayor a 14 meses.

4.1.5 Incertidumbre de los datos de actividad

La precisión de los datos de actividad tiene un impacto muy significativo en la incertidumbre total de las emisiones y absorciones estimadas. Considerando que pueden existir numerosas incertidumbres asociadas a los distintos pasos de la cadena de procesamiento de las imágenes satelitales (e.g. incertidumbres en la georreferenciación, incertidumbres asociadas al algoritmo de clasificación, etc.) la estimación de la precisión de los Mapas de Cobertura del Suelo (MCS) o de los mapas de cambios de cobertura del suelo es indispensable.

Los principales factores que influyen en la magnitud de las incertidumbres son⁶⁵: la calidad de los datos de satélite; la interoperabilidad de los diferentes sensores; incertidumbres asociadas al procesamiento radiométrico y geométrico; los estándares cartográficos y temáticos; los procedimientos de interpretación de imágenes; el post-procesamiento de los productos cartográficos; y finalmente, la disponibilidad y calidad de los datos de referencia.

En el caso de los datos de actividad, una evaluación de las incertidumbres debería conducir a una estimación cuantitativa de los errores de clasificación incluyendo la estimación de indicadores de exactitud

⁶⁵ Sección 2.7.3.1.1, GOF-C-GOLD REDD Sourcebook 2014. (<http://www.gofcgold.wur.nl/redd/>).

temática, el establecimiento de intervalos de confianza para las estimaciones de las áreas, y/o un ajuste de las áreas estimadas para cada categoría de uso del suelo⁶⁶.

Tal y como indicado por el GOFC-GOLD REDD Sourcebook⁶⁷ y las directrices del GFOI⁶⁸, la estimación de la incertidumbre de un mapa debe determinarse mediante la aplicación de un muestreo estadístico y una obtención de datos de referencia independientes a los utilizados para la clasificación, con el fin de determinar la exactitud global del mapa (en inglés: “*overall accuracy*”), y los errores de comisión y omisión de cada clase temática.

En el caso de los datos de actividad obtenidos mediante el método de post-clasificación (combinación de dos mapas independientes de dos fechas diferentes), la incertidumbre de cada uno de los mapas independientes no es una indicación real de la incertidumbre de los datos de actividad. Dos mapas independientes, con reducidas incertidumbres, que se combinan con el fin de determinar datos de actividad pueden dar lugar a muy altas incertidumbres en los datos de actividad, tal y como indican Olofsson *et al.* (2014)⁶⁹. Por tanto, el análisis de incertidumbres (en inglés: “*accuracy assessment*”) debe concentrarse en analizar la incertidumbre del cambio y los intervalos de confianza de las superficies de las categorías de cambio, utilizando datos de referencia de cambios de usos del suelo en las dos épocas de los dos mapas independientes⁴⁸.

En relación con los marcos metodológicos, las directrices 2006 IPCC GL establecen la necesidad de evaluar las incertidumbres de los datos de actividad⁷⁰ aunque no establecen directrices de cómo realizar esta evaluación de incertidumbres ni limita las incertidumbres máximas de los mapas o de los datos de actividad.

MF-FCPF, por su lado, sí exige la estimación de la incertidumbre de los datos de actividad utilizando normas internacionales aceptadas, y exige que la propagación de estas incertidumbres con las incertidumbres de los factores de emisión se haga utilizando los métodos de Montecarlo y reportando las incertidumbres en forma de intervalos de confianza a dos lados al 90% de nivel de confianza⁷¹. El objetivo es reportar las incertidumbres de la reducción de emisiones con el fin de establecer los ajustes al valor estimado total siguiendo los valores de la tabla del criterio 22 del MF-FCPF.

VCS JNR, aunque presenta requerimientos relacionados con la incertidumbre de los datos de actividad, exige aplicar un enfoque diferente al del MF-FCPF, ya que requiere una exactitud global del 75% en la discriminación temática de las clases bosque/no-bosque⁷² para el FCBM y para el monitoreo, sin especificar incertidumbres máximas en las categorías de cambio. Por otra parte, VCS-JNR indica que las incertidumbres deben estar de acuerdo con el Estándar VCS⁷³, el cual indica a su vez que la incertidumbres de las

⁶⁶ Sección 2.7.3.1, GOFC-GOLD REDD Sourcebook 2014. (<http://www.gofcgold.wur.nl/redd/>).

⁶⁷ Sección 2.7.3.1.2, GOFC-GOLD REDD Sourcebook 2014. (<http://www.gofcgold.wur.nl/redd/>).

⁶⁸ Sección 3.7, GFOI (2013) Integrating remote-sensing and ground-based observations for estimation of emissions and removals of greenhouse gases in forests: Methods and Guidance from the Global Forest Observations Initiative: Pub: Group on Earth Observations, Geneva, Switzerland, 2014.

⁶⁹ Pontus Olofsson, Giles M. Foody, Martin Herold, Stephen V. Stehman, Curtis E. Woodcock, Michael A. Wulder, 2014. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change, Remote Sensing of Environment, Volume 148, 25 May 2014, Pages 42-57, ISSN 0034-4257. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.015>).

⁷⁰ Sección 3.5 – Capítulo 3 – Volumen 4, 2006 IPCC GL.

⁷¹ Indicadores 9.1 y 9.2, MF-FCPF.

⁷² Sección 3.11.8 (6) y sección 3.14.12, VCS JNR, versión 3.2.

⁷³ Sección 3.11.9 y Sección 3.14, VCS-JNR, versión 3.2.

reducciones de emisión deben presentarse al 95% o 90% de nivel de confianza, y el nivel de incertidumbre total máximo es del 30% o 20% respectivamente (i.e. 15% y 10% del margen de error relativo)⁷⁴. No obstante el propio estándar hace mención explícita que este requerimiento es aplicable únicamente al factor de emisión o absorción. En el caso en que se exceda este valor, el estimador deberá ser corregido con el fin de que éste esté dentro de los niveles exigidos de incertidumbre. Dicha incertidumbre, además deberá estimarse siguiendo métodos estadísticos reconocidos, tal y como los de las directrices del IPCC.

En conclusión, si se quiere cumplir con los requisitos de los distintos marcos metodológicos, se deberá:

- Estimar los intervalos de confianza para las transiciones entre clases y reportar estos en forma de intervalos de confianza a dos lados al 90% de nivel de confianza;
- La propagación de errores deberá realizarse por el método de Montecarlo;
- En el caso de incertidumbres por encima de los límites establecidos por los distintos marcos metodológicos, se deberán aplicar descuentos.

Los intervalos de confianza de los datos de actividad pueden estimarse por medio de los procedimientos indicados en Olofsson *et al.* (2014)⁷⁵.

Tabla 5. Resumen de los requerimientos de los distintos marcos metodológicos en relación con la incertidumbre de los datos de actividad: 2006 IPCC GL, MF-FCPF y VCS-JNR

Marco metodológico	Criterios
2006 IPCC GL	✓ Establece la necesidad de evaluar las incertidumbres de los datos de actividad, pero sin requerimientos específicos.
MF-FCPF	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se debe estimar la incertidumbre de los datos de actividad utilizando normas internacionales aceptadas. ✓ Las incertidumbres de los datos de actividad y de los factores de emisión deben propagarse y estimarse utilizando el método de Montecarlo. ✓ Se deben reportar las incertidumbres en forma de intervalos de confianza a dos lados al 90% de nivel de confianza.
VCS-JNR	<ul style="list-style-type: none"> ✓ El análisis de exactitudes e incertidumbres debe realizarse siguiendo las directrices del IPCC. ✓ Se debe alcanzar una exactitud global del 75% en la discriminación temática de las clases bosque/no-bosque para el FCBM y para el monitoreo.

4.1.6 Resumen de requerimientos

A continuación se presenta el resumen de los requerimientos identificados para la representación de tierras y datos de actividad. Con todos estos requerimientos se pudo cumplir, excepto con el requerimiento relativo al período histórico de referencia de VCS-JNR.

⁷⁴ Sección 4.1.4, VCS Standard, versión 3.5.

⁷⁵ Olofsson, Pontus, Giles M. Foody, Martin Herold, Stephen V. Stehman, Curtis E. Woodcock, Michael A. Wulder, 2014. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change, Remote Sensing of Environment, Volume 148, 25 May 2014, Pages 42-57, ISSN 0034-4257

Tabla 6. Resumen de los requerimientos relativos a representación de tierras y datos de actividad:

Especificación	Requerimiento
Método del IPCC	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se debe aplicar un Método 3 del IPCC para la representación de las categorías de cambio de uso del suelo para deforestación. 2. Para degradación y aumento de existencias de carbono forestal se pueden utilizar métodos indirectos (otros al Método 3). 3. Para la generación de un mapa de cobertura del suelo se pueden combinar imágenes satelitales adquiridas en una ventana de tiempo no mayor a 14 meses.
Unidad mínima de mapeo y resolución espacial	<ol style="list-style-type: none"> 4. La resolución espacial de los mapas no podrá ser mayor a 100 metros X 100 metros; 5. La MMU de los mapas de uso del suelo no puede ser superior a una hectárea, independientemente de la definición de bosque.
Sistema de clasificación	<ol style="list-style-type: none"> 6. El mapeo debe seguir un sistema de estratificación y clasificación de clases identificables y que no pueden solaparse. El sistema debe basarse en las categorías del IPCC, siendo recomendable un nivel mayor de desagregación. 7. Los bosques con contenidos de carbono cíclicos, temporalmente sin existencias de carbono forestal o con una existencia de carbono forestal inferior al promedio (de su estado natural), se deben mantener como un estrato independiente. 8. Deforestación causadas en el pasado por grandes proyectos de infraestructura (que no se construirán a futuro) y fenómenos naturales inusuales (con ciclos de retorno > 10 años e impactos > 1,000 ha) deben excluirse en la estimación de las tasas brutas de deforestación.
Períodos de mapeo	<ol style="list-style-type: none"> 9. La fecha final del período histórico de referencia debe ser la fecha más reciente anterior al 2013 para la cual se cuenta con un mapa de cobertura del suelo. Una fecha anterior puede ser aceptada solamente con una justificación convincente. Nótese que según VCS-JNR la fecha final no puede ser anterior a ± 2 años del 01 de enero de 2006. 10. La fecha inicial del período histórico de referencia es 10 años antes de la fecha final o hasta 15 años antes si existe una justificación convincente, notándose que según VCS-JNR la duración del período histórico de referencia debe ser entre 8 y 12 años cuando el nivel de referencia se establece como el promedio histórico de emisiones y remociones. 11. Deben existir al menos un mapa de cobertura del suelo para una fecha intermedia entre el principio y el fin del período histórico de referencia, con una separación de al menos 2 años entre la fecha de los mapas.
Incertidumbres	<ol style="list-style-type: none"> 12. Deben estimarse las incertidumbres asociadas a las transiciones entre categorías y las mismas deben reportarse en forma de intervalos de confianza a dos lados al 90% de nivel de confianza; 13. Los MCS deben tener una exactitud del 75% en la clasificación bosque/no-bosque. 14. La estimación de la incertidumbre total debida a la propagación de la incertidumbre asociada a los datos de actividad y a los factores de emisión deberá realizarse por el método de Montecarlo;

4.2 Definición de bosque utilizada en la construcción del nivel de referencia

La definición de bosque utilizada para la construcción del nivel de referencia se basa en los siguientes tres parámetros:

- **Área mínima: 1.00 ha;**
- **Cobertura de copas de los árboles mínima: 30%**
- **Altura mínima de los árboles: 5.00 m.**

Esta es la misma definición de bosque que Costa Rica presentó a la CMNUCC para el MDL. Esta definición es, además, consistente con la definición que el país está utilizando para la actualización del INGEI y para la preparación de la INDC, ya que los mapas de cobertura del suelo utilizados para estimar los datos de actividad son los mismos para los tres casos.

La definición de bosque que Costa Rica utilizó en el contexto de la evaluación de los recursos forestales de la FAO es diferente (10%, 0.5 ha, 5.0 m) a la que se utilizó para la construcción del nivel de referencia. La definición utilizada para la FAO no se aplicó para el nivel de referencia considerándose más apropiado utilizar una sola definición de bosque, de manera consistente, para todos los reportes relacionados al tema de emisiones del sector forestal que el país dirige a la CMNUCC (MDL, INGEI, FREL, INDC) o, en este caso, al Fondo de Carbono del FCPF.

Cabe mencionar que cuando se construyen Mapas de Cobertura del Suelo (MCS) analizando datos espectrales de sensores remotos no es posible asegurar que todas las áreas clasificadas como “bosque” en los MCS cumplan siempre cabalmente con la definición de “bosque”. En el proceso de análisis y clasificación de datos espectrales siempre ocurre que una proporción de las áreas clasificadas como “bosque” tiene en realidad una cobertura de copas y una altura de los árboles inferiores a los umbrales de la definición de bosque (30% y 5.00 metros, respectivamente, en el caso de Costa Rica). Inconsistencias entre el área clasificada como “bosque” y la definición de “bosque” casi nunca se reportan, pero son inevitables cuando se generan mapas de cobertura del suelo a partir de imágenes de sensores remotos. Estas inconsistencias forman parte de los factores que generen incertidumbres en los datos de actividad.

Para obtener un indicio sobre el grado de consistencia entre la definición de bosque y las áreas clasificadas como “bosque” en los MCS de la serie histórica 1986-2013 se realizó una evaluación del área clasificada como “bosque” que presentaba más del 30% de cobertura de copas y del área clasificada como “no-bosque” que presentaba menos del 30% de cobertura de copas según dos Mapas de Densidades de Copas (MDC) preparados por un estudio independiente⁷⁶ para los años 2001 y 2012.

Los MDCs fueron construidos midiendo el porcentaje de coberturas de copas en unas muestras de polígonos tomados sobre imágenes de alta resolución (RapidEye). Estos polígonos se utilizaron para calibrar un modelo que estima la densidad de copas a partir de una combinación de bandas espectrales (o “índice de vegetación”) de las imágenes Landsat.

Para evaluar la consistencia de los MCS con la definición de bosque, los MDCs de los años 2001 y 2012 se cruzaron en un SIG con los MCS de los años más cercanos (2000/01 y 2011/12). Los resultados de este cruce de mapas se reportan en la Tabla 7.

⁷⁶ Agresta, Dimap, Universidad de Costa Rica, Universidad Politécnica de Madrid, 2015.b. Índice de cobertura como base para la estimación de la degradación y aumento de existencias de carbono: *Generating a consistent historical time series of activity data from land use change for the development of Costa Rica's REDD plus reference level*. Informe preparado para el Gobierno de Costa Rica bajo el Fondo de Carbono del Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques (FCPF). 18 p.

Tabla 7. Resultado de la evaluación de la consistencia entre los Mapas de Cobertura del Suelo (MCS) de los años 2000/01 y 2012/13 con los Mapas de Densidades de Copas de los años 2000 y 2012.

Cobertura del suelo	MDC 2001		MDC 2012	
	<30%	>30%	<30%	>30%
Bosques primarios	7.64%	92.36%	6.55%	93.45%
Bosques nuevos	20.97%	79.03%	20.67%	79.33%
No-bosque	53.31%	46.69%	56.61%	43.39%

Como se desprende de la Tabla 7, para el año 2001 un 92.36 % de los bosques primarios y un 79.03 % de los bosques nuevos tenían más de un 30% de cobertura copas mientras que para el año 2012 el resultado fue 93.45 % y 79.33 %, respectivamente. Este resultado es bastante bueno considerando que ambos tipos de mapas tienen errores y demuestra que las áreas clasificadas como “bosque” en los MCS cumplen, en su gran mayoría, con los umbrales de la definición de “bosque”.

Por otro lado, los resultados para las áreas clasificadas como “no-bosque” revelan una consistencia menor para estas áreas con lo que según la definición de “bosque” deberían ser áreas de “no-bosque” (menos del 30% de coberturas de copas). En efecto, solamente el 53.31% de las áreas clasificadas como “no-bosque”, en el 2001, tenían menos del 30% de cobertura de copas, mientras que para el año 2012 este porcentaje fue del 56.61%. Este mayor grado de inconsistencia quizás se explique por la gran presencia de potreros arbolados y sistemas agro-forestales en Costa Rica.

La conclusión de este análisis es que la confiabilidad de los MCS es mayor para las áreas clasificadas como “bosque” que para las áreas clasificadas como “no-bosque”. Sin embargo, considerando que tanto los MCSs como los MDCs contienen errores de clasificación, el resultado de esta evaluación no puede interpretarse ni como una evaluación cuantitativamente exacta de que los bosques fueron clasificados acorde a su definición ni tampoco como una evaluación de la exactitud de los MDCs o de los MCSs. Sin embargo, la evaluación provee un indicio más sobre la exactitud de los mapas utilizados en la construcción del nivel de referencia.

4.3 Análisis de imágenes de satélite

Con el fin de generar información espacialmente explícita para la estimación de los datos de actividad se construyó una serie temporal de Mapas de Cobertura del Suelo (MCS) analizando imágenes de satélite de la serie Landsat adquiridas entre el 12 de enero del año 1986 y el 30 de marzo del año 2014. Los métodos utilizados para el análisis de las imágenes satelitales se describen con detalle en un informe técnico separado⁷⁷. El recuadro 1 presenta un resumen de los métodos empleados.

Una vez creados los MCS, éstos se cruzaron en un SIG para identificar las áreas con y sin cambios en cada una de las categorías representadas en los MCS. Los datos de actividad correspondientes a dichas áreas se reportan en Matrices de Cambios (MC) de uso del suelo para cada uno de los períodos históricos analizados, como se explica, con más detalle, en la sección 4.8.

⁷⁷ Agresta, Dimap, Universidad de Costa Rica, Universidad Politécnica de Madrid, 2015.a. Informe Final: Generating a consistent historical time series of activity data from land use change for the development of Costa Rica’s REDD plus reference level: Protocolo metodológico. Informe preparado para el Gobierno de Costa Rica bajo el Fondo de Carbono del Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques (FCPF). 44 p.

Recuadro 1. Resumen de la metodología empleada en el análisis de imágenes de satélite.

Para construir la serie histórica completa se han utilizado imágenes provenientes de cuatro sensores y satélites diferentes de la familia Landsat (Landsat 4 TM, Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, Landsat 8 OLI/TIRS).

Para minimizar la superficie cubierta por nubes se han combinado varias escenas de un mismo año (en la misma estación) o incluso de distintos años (en una misma estación) para conseguir, en la medida de lo posible, mapas libres de nubes en una ventana de tiempo no superior a los 14 meses y así cumplir con uno de los requerimientos VCS-JNR⁷⁸. El error medio cuadrático obtenido en los puntos de chequeo es inferior a 1 píxel (30 metros), y el error máximo en cualquiera de los puntos, de 2 píxeles (60 metros).

Para la toma de puntos de control para la validación geométrica de las pasadas de referencia se ha utilizado la ortofotografía de 2005 generada con la misión CARTA del proyecto BID-Catastro. El número de puntos correctos después de la depuración no es inferior a 20 puntos de control terrestre en cada pasada de referencia.

Así mismo se ha llevado a cabo una normalización radiométrica de la serie, con el objeto de reducir las diferencias radiométricas entre las imágenes que componen la serie debidas a las distintas condiciones atmosféricas y de calibración del sensor en las fechas en las que fueron captadas. El método más actualizado para este proceso se denomina IR-MAD (*Iteratively Reweighted Multivariate Alteration Detection*) propuesto por Canty y Nielsen (2008)⁷⁹.

Para limitar el efecto de la cobertura nubosa se ha trabajado con múltiples escenas para cada año, realizando una selección de las mejores imágenes por escena.

Las categorías iniciales clasificadas digitalmente fueron las siguientes:

- | | |
|----------------------------------|------------------------------|
| - Bosque | - Cultivos de piña |
| - Plantaciones Forestales | - Otros cultivos permanentes |
| - Yolliales (= Bosques de Palma) | - Agua |
| - Manglar | - Urbano (=Áreas urbanas) |
| - Herbazal (Pastizales) | - Páramo |
| - Cultivos anuales | - Suelo desnudo |
| - Cultivos de café | - Nubes |

Después de la clasificación digital, los productos resultantes fueron filtrados para reducir el efecto de “sal y pimienta” y generar mapas con una unidad mínima de mapeo lo más cercana posible al umbral de área mínima (1.00 ha)⁸⁰ de la definición de “bosque”. Posteriormente, se realizaron varias ediciones manuales con el fin de generar Mapas de Coberturas del Suelo (MCS) más exactos. Las ediciones realizadas fueron las siguientes:

1. Se han realizado modificaciones en las áreas clasificadas como “Cultivos de café” porque las mismas se presentaban sobre-clasificadas según otras fuentes de información disponibles en el país. Para mejorar el mapeo de las áreas de café se han utilizado mapas del Ministerio de Agricultura (MAG) del año 2001, del Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE) del año 2005 y mapas generados por el IMN para los años 2011 y 2013. Estos mapas se utilizaron para corregir las áreas clasificadas como “Cultivos de café” en

⁷⁸ Requerimiento VCS-JNR 3.11.7-5) c.

⁷⁹ Canty, M. J. y A. A. Nielsen, 2008. Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery with the iteratively re-weighted MAD transformation. *Remote Sensing of Environment* 112 (2008):1025-1036.

⁸⁰ Debido al tamaño de los píxeles de las imágenes clasificadas (30.00 m x 30.00 m) el área mínima de mapeo es de 0.99 ha, equivalente a 11 píxeles (11 x 30.00 m x 30.00 m).

los años 2000/01, 2007/08, 2011/12 y 2013/14. Para los mapas de la serie correspondientes a años anteriores al 2000/01 se creó una máscara de área de café potencial utilizando la localización y elevación de las áreas de café mapeadas en todas las fuentes disponibles (MAG, ICAFE e IMN).

2. Los Manglares y los Bosques de Palma (Yolillales) son formaciones forestales que aparecen en unas condiciones edáficas, de inundación y salinidad muy especiales con lo que es muy difícil que existan transiciones de este tipo de formaciones a otros tipos de bosque y viceversa. Es por ello que se ha generado una máscara de áreas potenciales de Manglar y otra de áreas potenciales de Yolillal para mejorar el mapeo de estos tipos de bosque en los MCS. Dentro de las máscaras generadas todos los píxeles clasificados como "Bosque" se reclasificaron como "Manglares" o "Bosques de palma (Yolillales)", (según el caso) y fuera de ellas todas las áreas clasificadas como "Manglares" o "Bosques de palma (Yolillales)" se reclasificaron como "Bosque".
3. La generación de la máscara de áreas potenciales de "Manglar" se creó de cuatro fuentes de información: (1) la suma de las áreas clasificadas como "Manglar" en todos los años de la serie histórica, más (2) el área clasificada como "Manglares" en el "Mapa de Tipos de Bosque del SINAC" (MTB-S) de 2013, menos (3) todas las áreas clasificadas como "Manglares" en los mapas anteriores que se encontraban arriba de los 20 metros sobre el nivel del mar y a menos de 0 metros sobre el nivel del mar de acuerdo a un modelo de elevación digital (DEM, por sus siglas en inglés). Finalmente, una vez realizado el cruce de las tres mapas citados, se realizó una revisión visual y edición manual de las áreas potenciales de Manglar en base a (4) imágenes de alta resolución (Rapideye) del año 2013 que ha permitido tener en cuenta áreas potenciales de Manglar que no estaban incluidas en el cruce de los tres primeros mapas.
4. Para la generación de la máscara de áreas potenciales de "Bosques de palma (Yolillales)" se han utilizado tres fuentes de información: (1) la suma de las áreas clasificadas como "Yolillales" en todos los años de la serie histórica y (2) las áreas clasificadas como "Yolillales" en el "Mapa de Tipos de Bosque del SINAC" (MTB-S) de 2013. Al igual que en el caso de la máscara de áreas potenciales de Manglar, en este caso también se ha realizado una revisión visual y edición manual de las áreas potenciales de los Yolillales que ha permitido mejorar algunas áreas potenciales de este tipo de bosque en base a (3) la fotointerpretación de imágenes de alta resolución (Rapideye) del año 2013.
5. Los páramos son ecosistemas que solo ocurren en elevaciones alta, por encima del límite superior donde naturalmente pueden crecer árboles. Para mejorar el mapeo de las áreas clasificadas como "Páramos", también se recurrió a la construcción de una máscara de áreas potenciales de "Páramos". Para la generación de esta máscara se ha tenido en cuenta únicamente el "Mapa de Tipos de Bosque del SINAC" (MTB-S) de 2013, además de una edición manual realizada en base a las imágenes RapidEye (de alta resolución espacial). Al igual que con las otras máscaras, la máscara de las áreas potenciales de "Páramos" se aplicó de forma consistente a todos los años de la serie temporal. Así, todos los píxeles clasificados como "Bosque" que estaban dentro de esta máscara se reclasificación como "Páramos", mientras que todos los píxeles que estaban clasificados como "Páramo" fuera de la máscara se reclasificaron como "Bosque".
6. Las máscaras de las áreas potenciales de "Manglares", "Bosques de palma (Yolillales)" y "Páramos" se juntaron en un Mapa de Máscaras (MAM) utilizadas para la edición de los MCS con el fin que puedan utilizarse también en las ediciones de futuros MCSs. El MAM se muestra en la Figura 3.
7. Algunas áreas clasificadas como "Suelos desnudos" tienen una respuesta espectral muy similar a la que se obtiene en áreas urbanas. Por esta razón, se creó una "Máscara de Áreas Potenciales Urbanas" (MAPU) por medio de la edición manual de áreas realmente urbanas según la interpretación visual de imágenes de alta resolución (Rapideye) del año 2013. Los píxeles clasificados como "Áreas urbanas"

en todos los años de la serie histórica y que estuvieran fuera de la MAPU se reclasificaron como “Suelos desnudos” y viceversa, todas los pixeles clasificados como “Suelos desnudos” dentro de la MAPU fueron reclasificados como “Áreas urbanas”, pero no así los pixeles clasificados en otra categoría. Los pixeles clasificados en otra categoría dentro de la MAPU solamente se reclasificaron como “Áreas urbanas” si en eran clasificados como tales en un año anterior, eso trabajando con el supuesto de que un área convertida a uso urbano no puede revertir a otros usos en años posteriores.

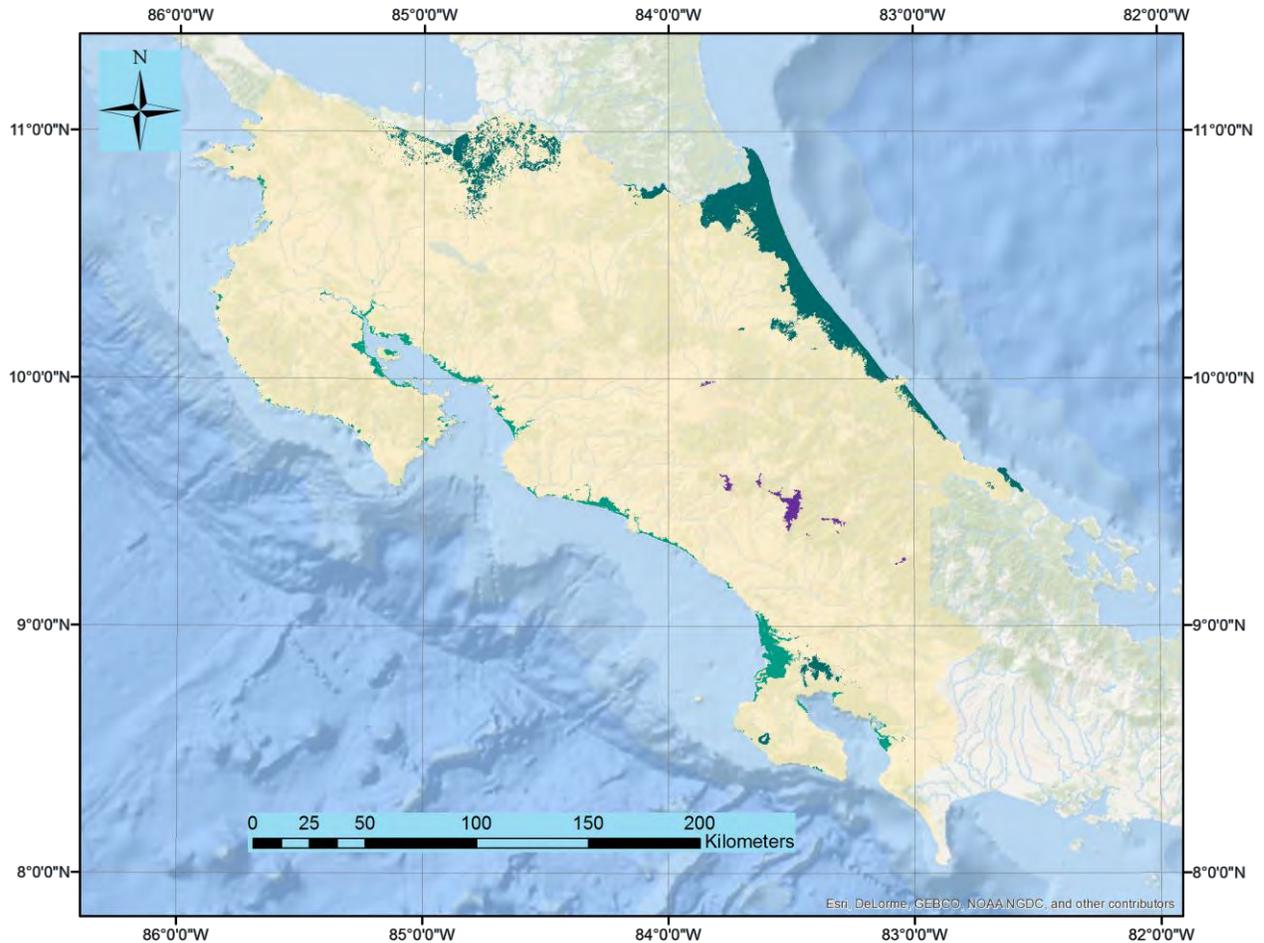
El resultado del análisis de imágenes de satélite y post-procesamiento permitió generar los siguientes Mapas de Cobertura del Suelo (MCS), los cuales se presentan la Figura 4:

- **MCS 1985/86:** Mapa de Cobertura del Suelo que representa la situación en el terreno al 31.12.1985 y al 01.01.1986.
- **MCS 1991/92:** Mapa de Cobertura del Suelo que representa la situación en el terreno al 31.12.1991 y al 01.01.1992.
- **MCS 1997/98:** Mapa de Cobertura del Suelo que representa la situación en el terreno al 31.12.1997 y al 01.01.1998.
- **MCS 2000/01:** Mapa de Cobertura del Suelo que representa la situación en el terreno al 31.12.2000 y al 01.01.2001.
- **MCS 2007/08:** Mapa de Cobertura del Suelo que representa la situación en el terreno al 31.12.2007 y al 01.01.2008.
- **MCS 2011/12:** Mapa de Cobertura del Suelo que representa la situación en el terreno al 31.12.2011 y al 01.01.2012.
- **MCS 2013/14:** Mapa de Cobertura del Suelo que representa la situación en el terreno al 31.12.2013 y al 01.01.2014.

Al cruzar estos mapas en el SIG se generaron también los mapas de cambios de cobertura forestal que se presentan en la Figura 5.

La razón por la cual se indican dos años para cada MCS es por un lado para enfatizar que los mapas fueron contruidos a partir de imágenes adquiridas en una ventana de tiempo de 14 meses y por el otro para indicar que el último día del primer año (31 de diciembre) se asume como el final del período anterior y el que el primer día (01 de enero) del segundo año se asume como inicio del período posterior (ver la sección 4.4 para una explicación de la regla utilizada para asignar fechas a los MCS).

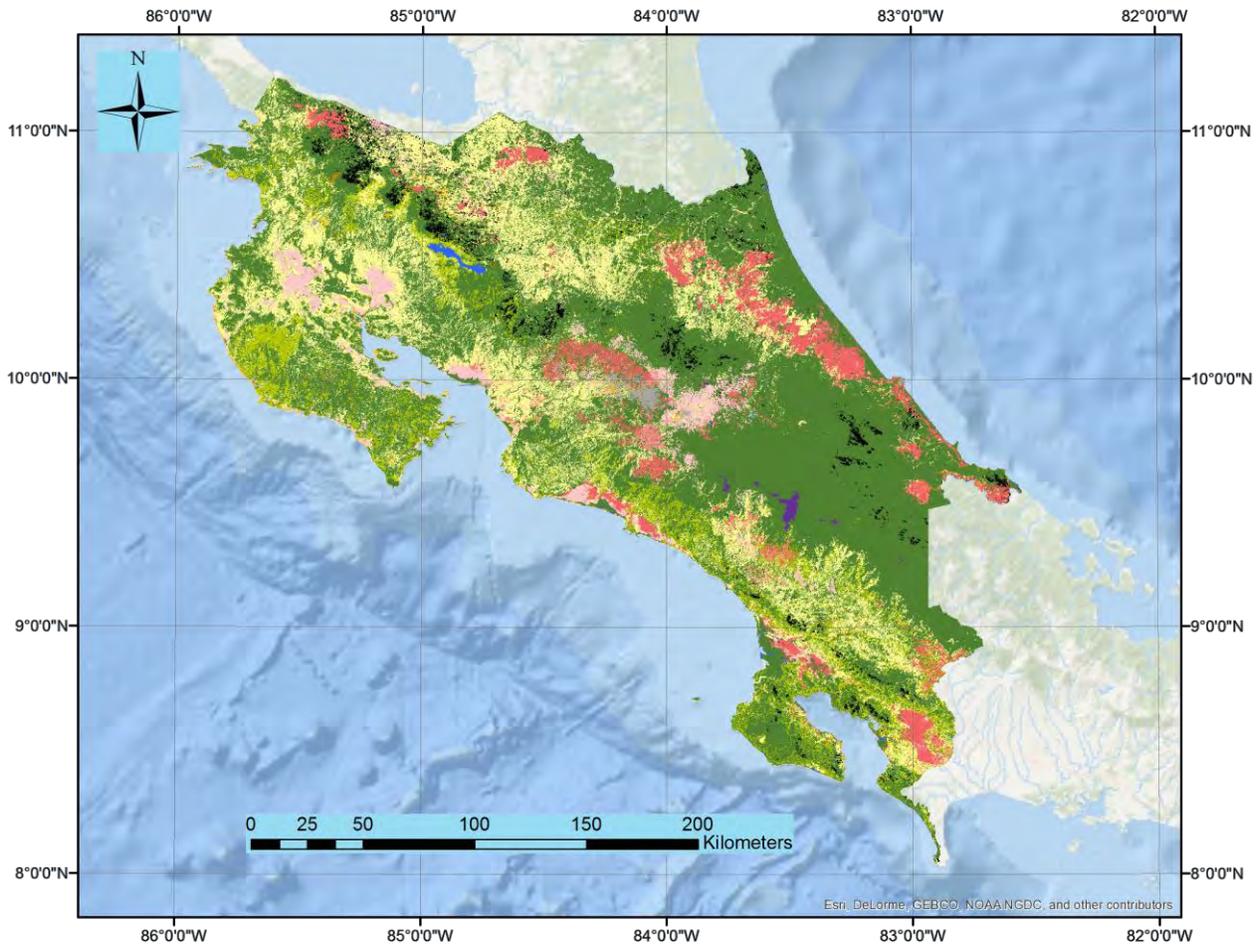
Figura 3. Mapa de las Máscaras para “Manglares”, “Bosques de Palma (Yolillales)” y “Páramos”(MAM) creada para la edición de dichas formaciones vegetales en los Mapas de Cobertura del Suelo (MCS).



Máscaras		Área
Color	Descripción	ha
	Máscara de manglares	53,894.61
	Máscara de bosques de palma (Yolillales)	182,903.31
	Máscara de páramo	10,430.19
	Otras categorías de cobertura del suelo	4,866,711.39
Área total		5,113,939.50

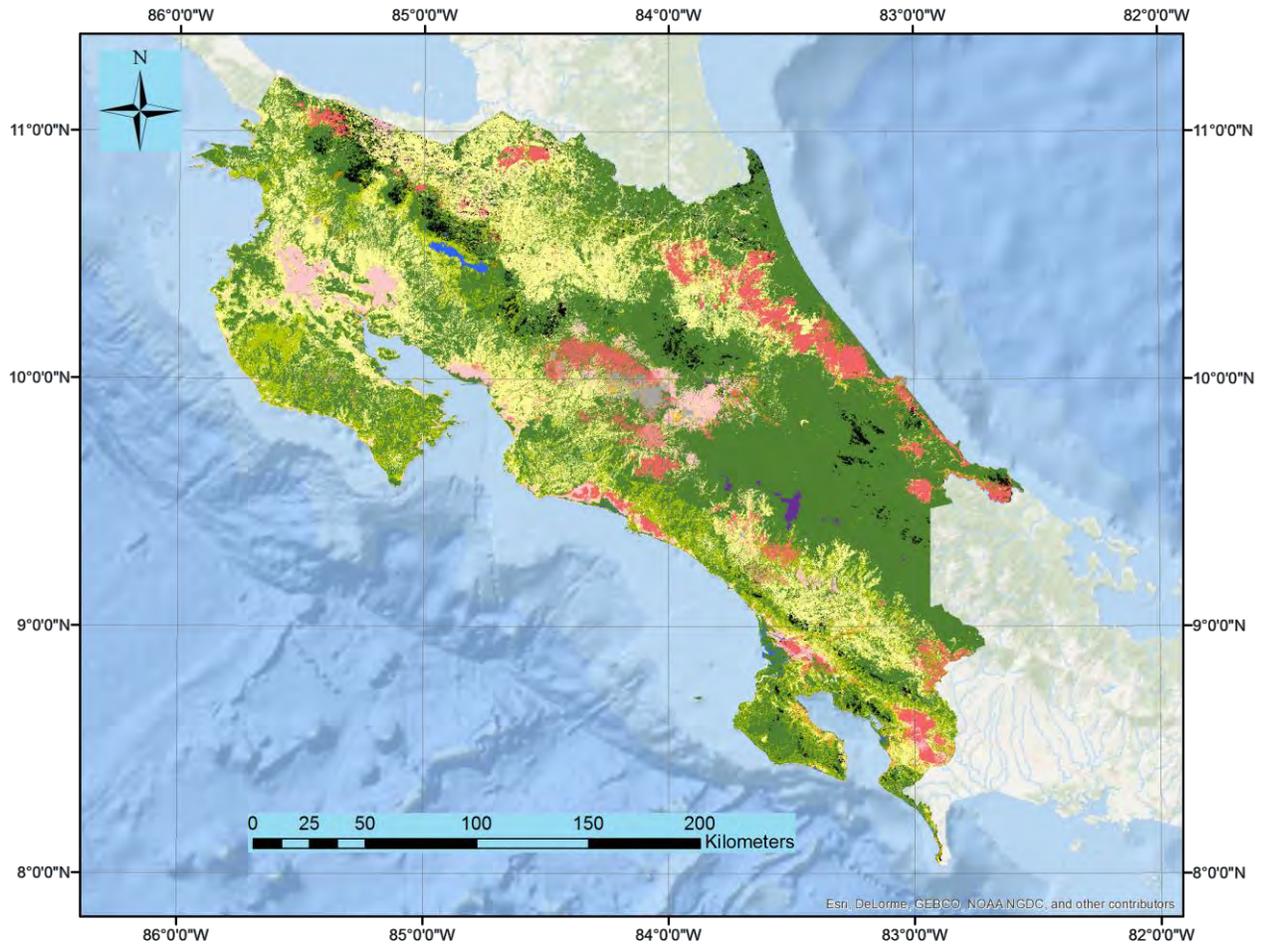
Figura 4. Mapas de Cobertura del Suelo del período 1986-2013

Mapa de Cobertura del Suelo 1985/86 (MCS 1985/86)



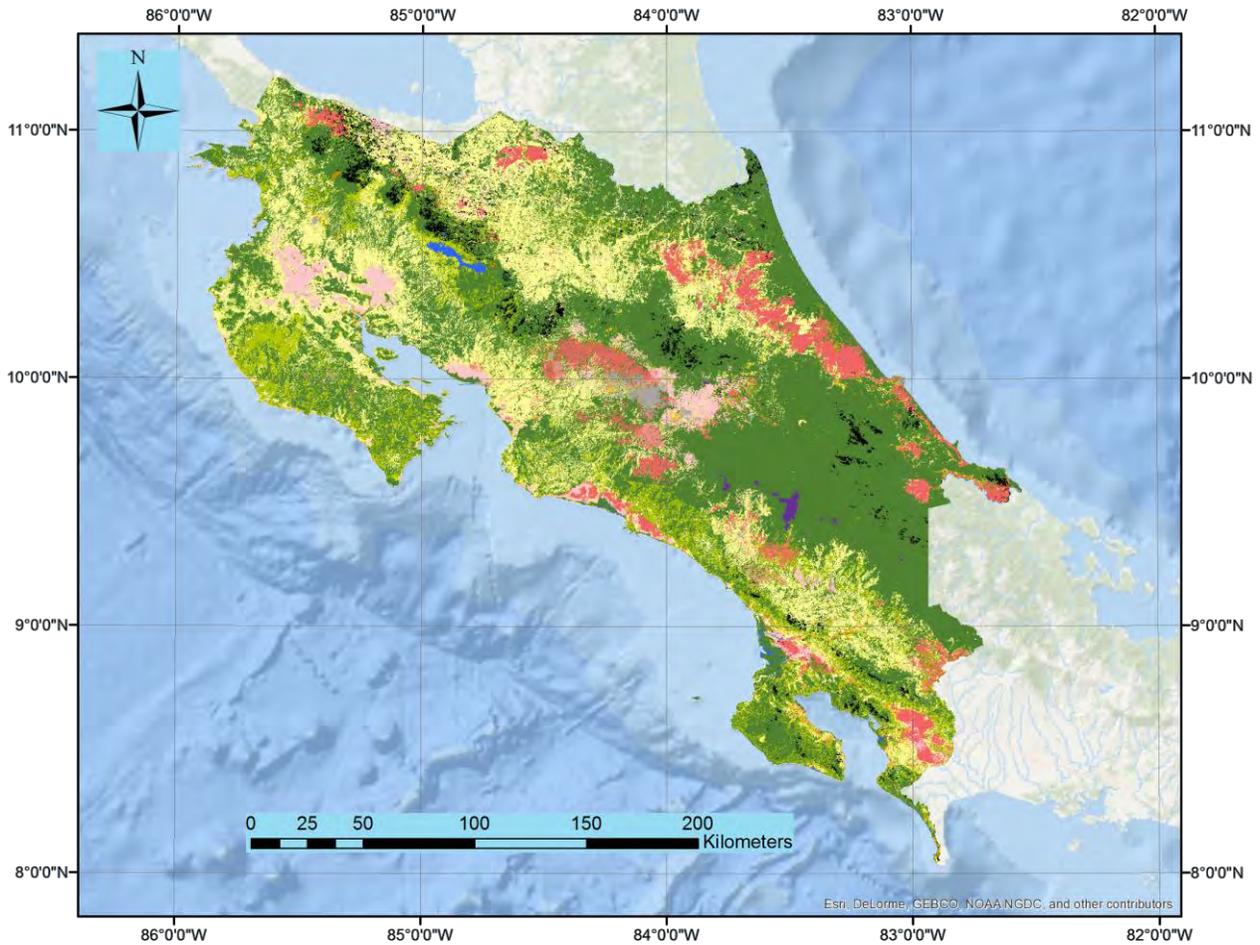
Cobertura del suelo		Área
Color	Descripción	ha
	TIERRAS FORESTALES - Bosques primarios	2,807,028.90
	TIERRAS FORESTALES - Bosques nuevos	380,685.24
	CULTIVOS - permanentes	336,664.35
	CULTIVOS - anuales	197,797.23
	PASTIZALES	1,190,245.23
	ÁREAS URBANAS	22,876.92
	HUMADALES - naturales	12,993.03
	HUMADALES - artificiales	89.55
	OTRAS TIERRAS - páramo	10,412.37
	OTRAS TIERRAS - suelos desnudos naturales	1,479.33
	OTRAS TIERRAS - suelos desnudos artificiales	38,303.19
	SIN INFORMACIÓN – nubes y sombras	115,364.16
Área total		5,113,939.50

Mapa de Cobertura del Suelo 1991/92 (MCS 1991/92)



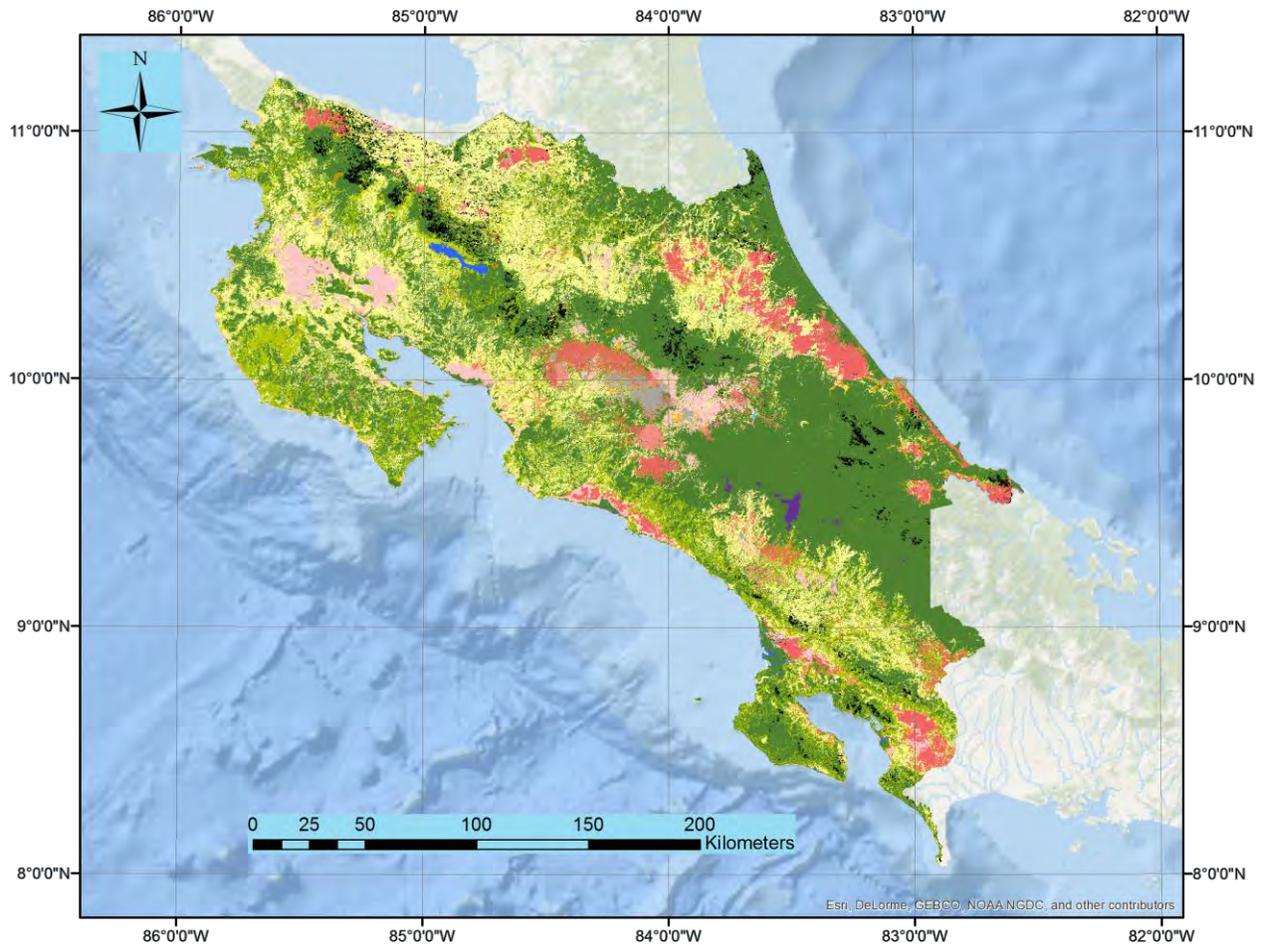
Cobertura del suelo		Área
Color	Descripción	ha
	TIERRAS FORESTALES - Bosques primarios	2,532,567.87
	TIERRAS FORESTALES - Bosques nuevos	586,538.10
	CULTIVOS - permanentes	331,386.39
	CULTIVOS - anuales	203,960.88
	PASTIZALES	1,239,471.36
	ÁREAS URBANAS	30,210.12
	HUMADALES - naturales	17,814.33
	HUMADALES - artificiales	659.88
	OTRAS TIERRAS - páramo	10,411.92
	OTRAS TIERRAS - suelos desnudos naturales	1,392.21
	OTRAS TIERRAS - suelos desnudos artificiales	44,162.28
	SIN INFORMACIÓN – nubes y sombras	115,364.16
Área total		5,113,939.50

Mapa de Cobertura del Suelo 1997/98 (MCS 1997/98)



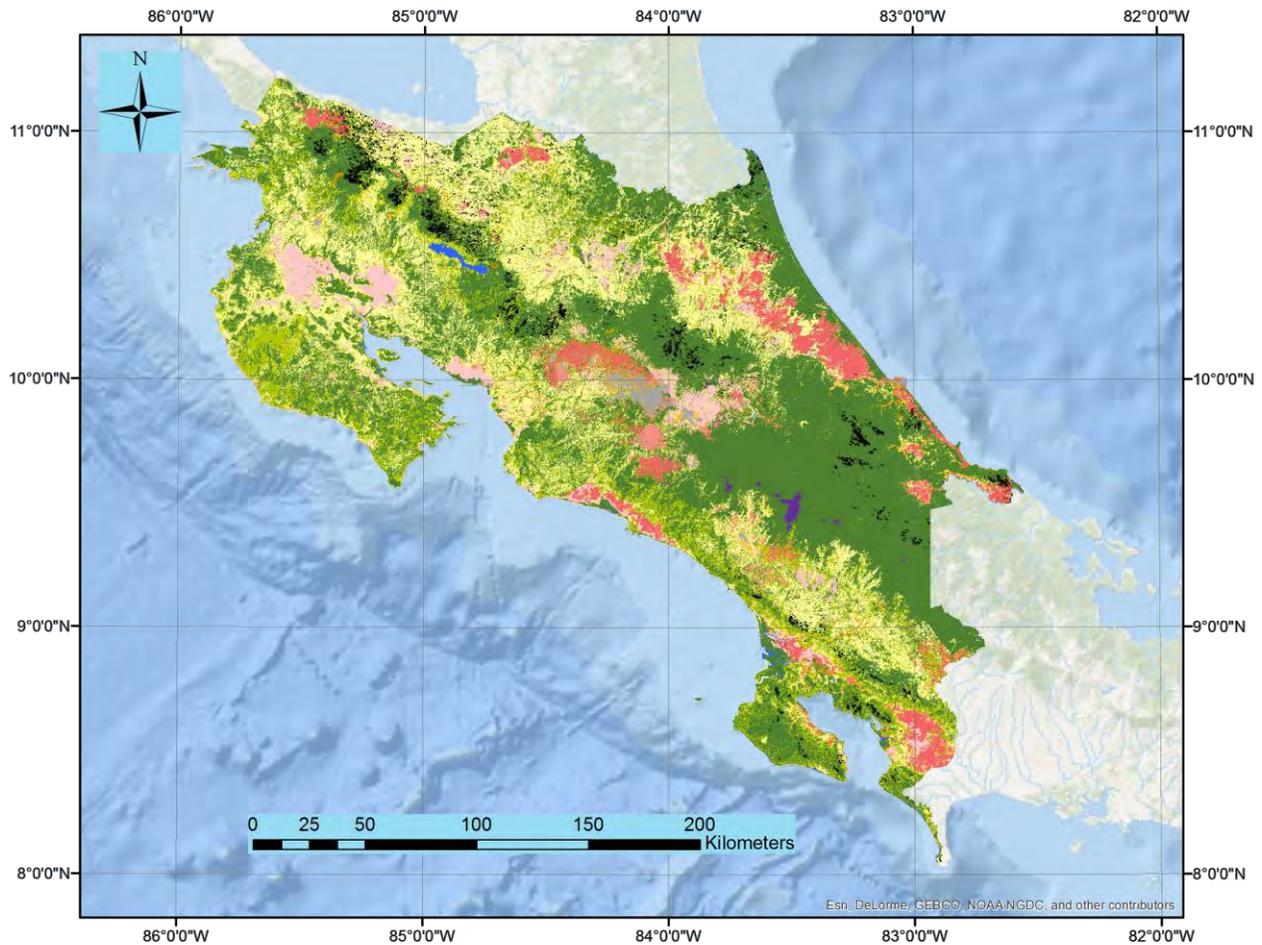
Cobertura del suelo		Área
Color	Descripción	ha
	TIERRAS FORESTALES - Bosques primarios	2,420,974.53
	TIERRAS FORESTALES - Bosques nuevos	670,106.25
	CULTIVOS - permanentes	345,113.28
	CULTIVOS - anuales	211,800.60
	PASTIZALES	1,239,510.42
	ÁREAS URBANAS	35,203.86
	HUMADALES - naturales	17,126.55
	HUMADALES - artificiales	190.08
	OTRAS TIERRAS - páramo	10,416.96
	OTRAS TIERRAS - suelos desnudos naturales	2,009.43
	OTRAS TIERRAS - suelos desnudos artificiales	46,123.38
	SIN INFORMACIÓN – nubes y sombras	115,364.16
Área total		5,113,939.50

Mapa de Cobertura del Suelo 2000/01 (MCS 2000/01)



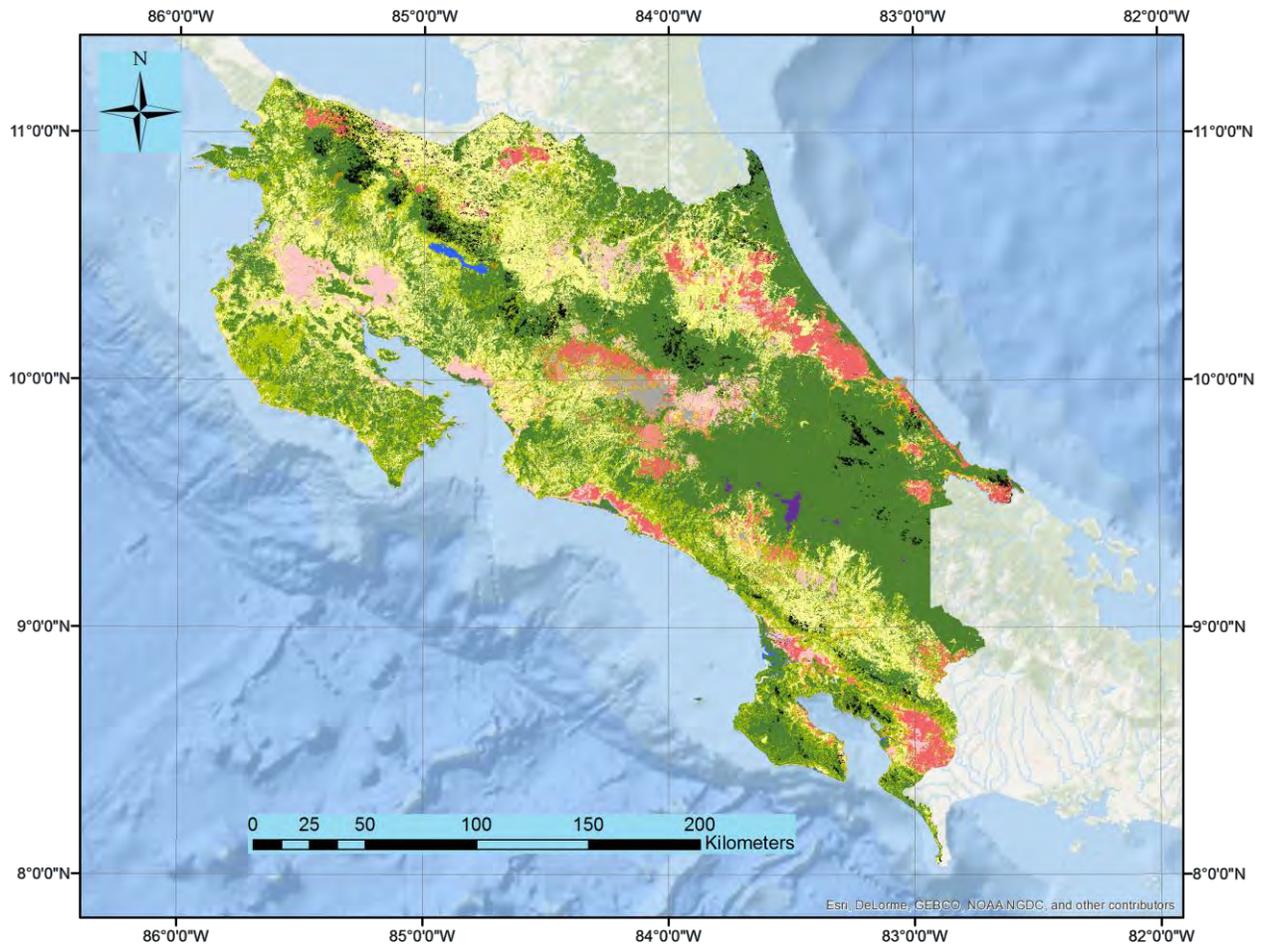
Cobertura del suelo		Área
Color	Descripción	ha
	TIERRAS FORESTALES - Bosques primarios	2,335,604.94
	TIERRAS FORESTALES - Bosques nuevos	735,865.83
	CULTIVOS - permanentes	351,353.43
	CULTIVOS - anuales	218,656.71
	PASTIZALES	1,242,871.56
	ÁREAS URBANAS	38,819.97
	HUMADALES - naturales	18,742.95
	HUMADALES - artificiales	324.36
	OTRAS TIERRAS - páramo	10,416.33
	OTRAS TIERRAS - suelos desnudos naturales	1,662.48
	OTRAS TIERRAS - suelos desnudos artificiales	44,256.78
	SIN INFORMACIÓN – nubes y sombras	115,364.16
Área total		5,113,939.50

Mapa de Cobertura del Suelo 2007/08 (MCS 2007/08)



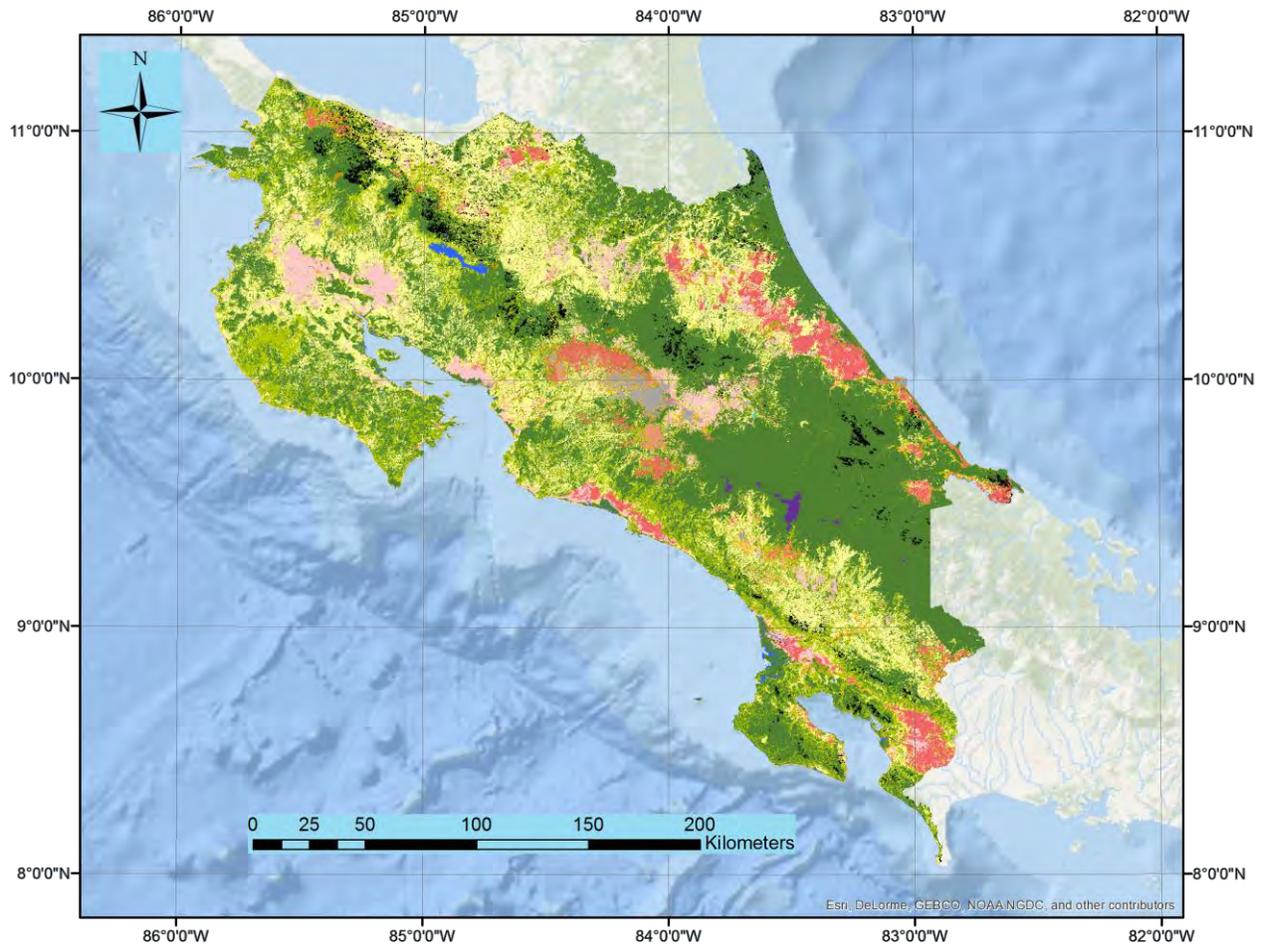
Cobertura del suelo		Área
Color	Descripción	ha
	TIERRAS FORESTALES - Bosques primarios	2,265,429.96
	TIERRAS FORESTALES - Bosques nuevos	770,395.05
	CULTIVOS - permanentes	323,930.52
	CULTIVOS - anuales	242,276.76
	PASTIZALES	1,260,219.24
	ÁREAS URBANAS	43,086.69
	HUMADALES - naturales	21,875.85
	HUMADALES - artificiales	294.12
	OTRAS TIERRAS - páramo	10,422.45
	OTRAS TIERRAS - suelos desnudos naturales	1,948.32
	OTRAS TIERRAS - suelos desnudos artificiales	58,696.38
	SIN INFORMACIÓN – nubes y sombras	115,364.16
Área total		5,113,939.50

Mapa de Cobertura del Suelo 2011/12 (MCS 2011/12)



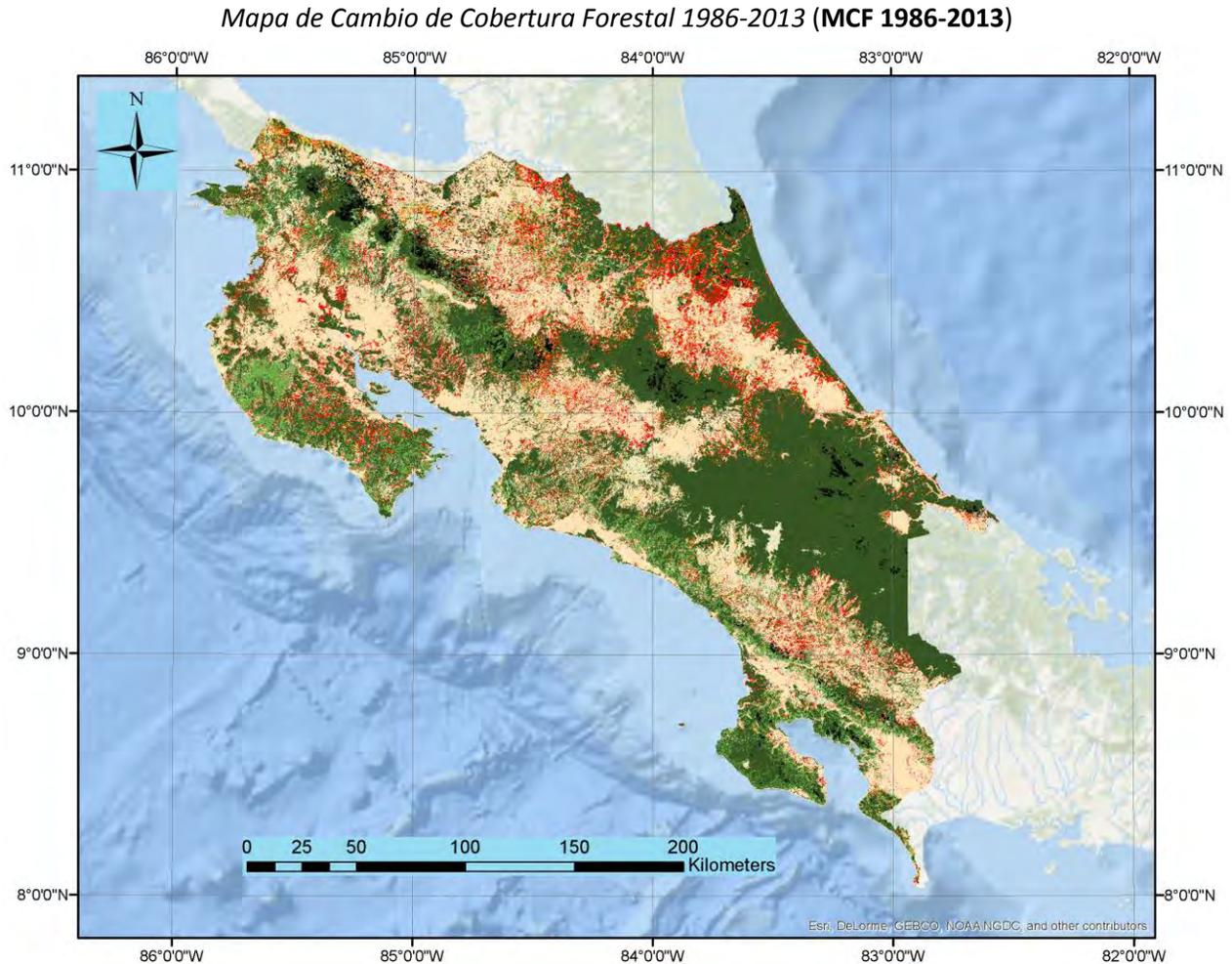
Cobertura del suelo		Área
Color	Descripción	ha
	TIERRAS FORESTALES - Bosques primarios	2,233,118.88
	TIERRAS FORESTALES - Bosques nuevos	824,096.61
	CULTIVOS - permanentes	311,794.20
	CULTIVOS - anuales	244,122.84
	PASTIZALES	1,247,688.99
	ÁREAS URBANAS	45,039.24
	HUMADALES - naturales	22,350.60
	HUMADALES - artificiales	336.69
	OTRAS TIERRAS - páramo	10,420.38
	OTRAS TIERRAS - suelos desnudos naturales	1,973.43
	OTRAS TIERRAS - suelos desnudos artificiales	57,633.48
	SIN INFORMACIÓN – nubes y sombras	115,364.16
Área total		5,113,939.50

Mapa de Cobertura del Suelo 2013/14 (MCS 2013/14)



Cobertura del suelo		Área
Color	Descripción	ha
	TIERRAS FORESTALES - Bosques primarios	2,215,543.23
	TIERRAS FORESTALES - Bosques nuevos	918,483.39
	CULTIVOS - permanentes	277,262.82
	CULTIVOS - anuales	251,873.55
	PASTIZALES	1,190,834.73
	ÁREAS URBANAS	46,998.90
	HUMADALES - naturales	24,484.86
	HUMADALES - artificiales	382.32
	OTRAS TIERRAS - páramo	10,423.71
	OTRAS TIERRAS - suelos desnudos naturales	1,897.29
	OTRAS TIERRAS - suelos desnudos artificiales	60,390.54
	SIN INFORMACIÓN – nubes y sombras	115,364.16
Área total		5,113,939.50

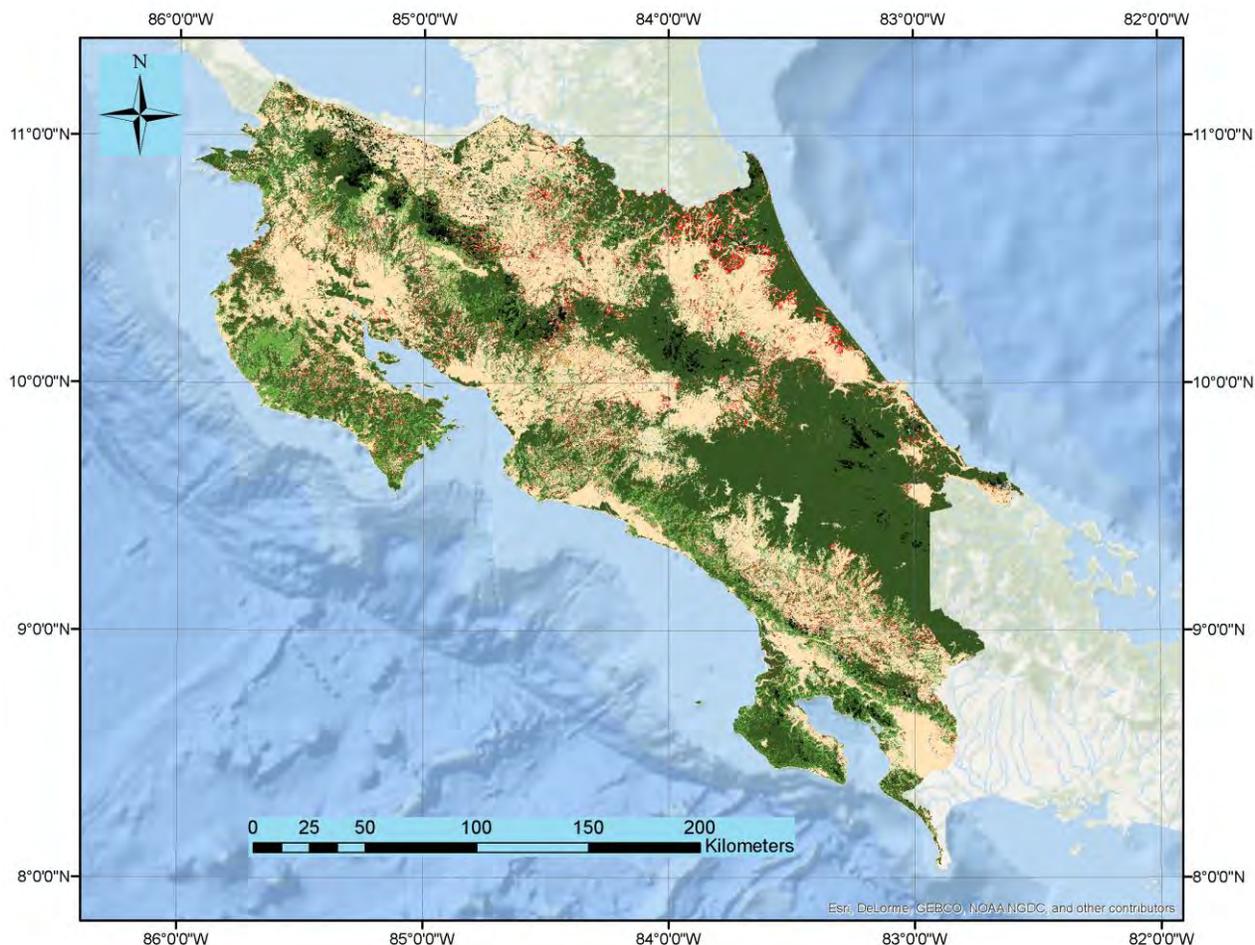
Figura 5. Mapas de Cambio de Cobertura Forestal del período 1986-2013



Categoría en MCS 1985/86	Categoría en MCS 2013/14	Actividades* REDD+	Color	Área* ha
Bosque primario	Bosque primario	CO		2,215,543.23
	Bosque nuevo	DF.bp+AE.bn		190,090.98
	No-bosque	DF		398,711.52
Bosque nuevo	Bosque nuevo	AE.bn		323,697.24
	No bosque	DF.bn		59,671.17
No bosque	Bosque nuevo	AE.bn		404,695.17
	No bosque	N.A.		1,406,166.03
Sin Información				115,364.16
Total				5,113,939.50

* Pueden existir más actividades considerando que algunas áreas pueden haber cambiado varias veces de una categoría a otra durante el período 1986-2013. Por esta razón los datos de áreas no son iguales a los que aparecen en otras tablas (excepto en el caso de los bosques primarios que permanecieron bosques primarios).

Mapa de Cambio de Cobertura Forestal 1997-2011 (MCF 1997-2011)



Categoría en MCS 1997/98	Categoría en MCS 2011/12	Actividades* REDD+	Color	Área* ha
Bosque primario	Bosque primario	CO	Dark Green	2,233,118.88
	Bosque nuevo	DF.bp + AE.bn	Yellow	36,940.50
	No-bosque	DF	Red	150,915.15
Bosque nuevo	Bosque nuevo	AE.bn	Light Green	529,521.93
	No bosque	DF.bn	Pink	140,584.32
No bosque	Bosque nuevo	AE.bn	Light Green	257,634.18
	No bosque	N.A.	Orange	1,649,860.38
Sin Información				115,364.16
Total				5,113,939.50

* Pueden existir más actividades considerando que algunas áreas pueden haber cambiado más de una vez de una categoría durante el período 1997-2011. Por esta razón los datos de áreas no son iguales a los que aparecen en otras tablas (excepto en el caso de los bosques primarios que permanecieron bosques primarios). El período 1997-2011 es el más cercano al período histórico de referencia bajo el Fondo de Carbono del FCPF para el cual se puede construir un mapa de cambios de coberturas del suelo.

4.4 Regla utilizada para asignar fechas de referencia a los Mapas de Cobertura del Suelo

Los MCS fueron construidos analizando imágenes de satélite adquiridas en fechas lo más cercanas posible a eventos que se consideran hitos importantes en la evolución de las políticas y programas públicos de Costa Rica en materia de conservación y uso sostenible de los bosques, y también en fechas anteriores e intermedias a dichos eventos para tener información que permita evaluar el estado de los bosques del país en diferentes períodos históricos y comprender el impacto de las políticas y programas públicos.

Entre las fechas más importantes que representan hitos en las políticas y programas públicos de Costa Rica se destacan las siguientes:

- 23 de enero de 1997: En este día se publicó en la Gaceta el Reglamento a la Ley Forestal 7575 mediante la cual se creó, entre otros, el FONAFIFO y el programa nacional de Pagos por Servicios Ambientales (PSA). A partir de esta fecha se implementa el PSA.
- 03 de julio del 2008: En este día se publicó en la Gaceta la Ley Nº 8640 del Proyecto Ecomercados II. Mediante esta ley se aumentan los recursos para el pago de servicios ambientales en \$ 30 millones (para los siguientes cinco años) y se asegura una donación de \$ 10 millones para crear un fondo patrimonial para la protección de la biodiversidad (Fondo de Biodiversidad Sostenible) y se mejora la efectividad del PSA (apoyo a pequeños productores, monitoreo del impacto social, atención de zonas de mayor pobreza y atención de cuencas prioritarias, entre otros).
- 01 de enero de 2010: El R-PIN de Costa Rica, con fecha 15 de febrero de 2013, manifiesta, en su sección 4.2, la intención de Costa Rica de implementar un programa de reducción de emisiones REDD+ en el periodo 2010-2020.
- 2021: Costa Rica aspira convertirse en un país carbono-neutral y para este año debería haber entrado en vigencia el nuevo acuerdo global de cambio climático.

Debido a la alta nubosidad que existe en Costa Rica y a la necesidad de utilizar varias imágenes satelitales para cubrir toda el área de contabilidad⁸¹ no fue posible combinar imágenes satelitales adquiridas en el mismo día para crear los mosaicos de los cuales se derivaron los MCS. Este hecho generó la necesidad de definir una regla para asignar una fecha específica a cada MCS. La regla utilizada fue la siguiente:

- a. La fecha de la imagen de satélite central del país, la que ocupa la mayor proporción del territorio nacional, se tomó como fecha de referencia.
- b. Si la fecha de referencia era anterior al 30 de junio del año, se asumió que el MCS representaba al mismo tiempo la cobertura del suelo al 31 de diciembre del año anterior y al 01 de enero del año en curso.
- c. Si la fecha de referencia era posterior al 30 de junio del año, se asumió que el MCS representaba al mismo tiempo la cobertura del suelo al 31 de diciembre del año en curso y al 01 de enero del año posterior.

Es importante notar que debido a la aplicación de la regla arriba expuesta las fechas de referencia de los MCS utilizadas en este informe discrepan, en algunos casos, con las fechas de referencia mencionadas en los informes de Agresta *et al.*, 2015.a.

⁸¹ Como se mencionó en la sección 2.1 el “área de contabilidad” es todo el territorio nacional menos la isla del Coco, las áreas afectadas por nubes y sombras y las áreas impactadas por disturbios naturales.

4.5 Estratificación de los bosques de Costa Rica

Considerando que los bosques tienen diferentes contenidos de carbono - dependiendo de su localización (por las condiciones climáticas y edáficas de cada lugar), manejo y edad - se realizó una estratificación de los mismos en 5 “tipos de bosque” o “estratos”, a saber:

- Bosques muy húmedos y pluviales;
- Bosques húmedos;
- Bosques secos;
- Manglares;
- Bosques de palma (Yolillales).

La estratificación se realizó cruzando las áreas clasificadas como “bosque” con un “Mapa de Tipos de Bosques” (MTB), lo cual es consistente con los métodos recomendados por el IPCC para países que adoptan el enfoque 3 para la representación consistente de sus tierras (ver IPCC GL, 2006, Ch3, Sección 3.3.2.2, p 3.18). El MTB, por su lado, se creó cruzando el “Mapa de Zona de Vidas” (MZV) según Holdridge (1966)⁸² con un “Mapa de las Vertientes Atlántica y Pacífica” (MVAP) del país y agrupando las 24 zonas de vida resultantes para formar los primeros tres tipos de bosque mencionados arriba.

El mapa de vertientes (MVAP) se utilizó para dividir algunas de las zonas de vida para las cuales se tienen modelos de acumulación de biomasa distintos para los bosques secundarios, como se puede deducir del nombre de las zonas de vida en la Figura 6, que muestra las agrupaciones de zonas de vida que se hicieron para definir los tres tipos de bosque. Las reglas utilizadas en las agrupaciones de zonas de vida y vertientes también se muestran en la hoja “LISTAS” de la herramienta “FREL TOOL CR v.1”.

Los “Manglares” y los “Bosques de Palma (Yolillales)” se mapearon directamente con la clasificación de las imágenes de satélite y las ediciones posteriores explicadas en la sección 4.3. Asimismo, la categoría “Páramo” se generó a partir de una máscara, como también se explica en la sección 4.3.

Cada tipo o estrato de bosque fue además dividido en:

- “bosque primario”, si la cobertura forestal existía en forma ininterrumpida desde el año 1985/86 y si en el Mapa de Coberturas del Suelo de esta fecha el área de bosque no había sido clasificada como “bosque secundario”; y
- “bosque nuevo”, si en mapas posteriores al MCS 1985/86 las áreas clasificadas como “bosque” aparecieron en áreas que en mapas anteriores estaban clasificadas en una categoría de “no bosque” o si en el MCS 1985/86 el bosque estaba clasificado como “bosque secundario”. Como se explica en la sección 4.6, los “bosques nuevos” se dividieron, además, en cohortes y clases de edad.

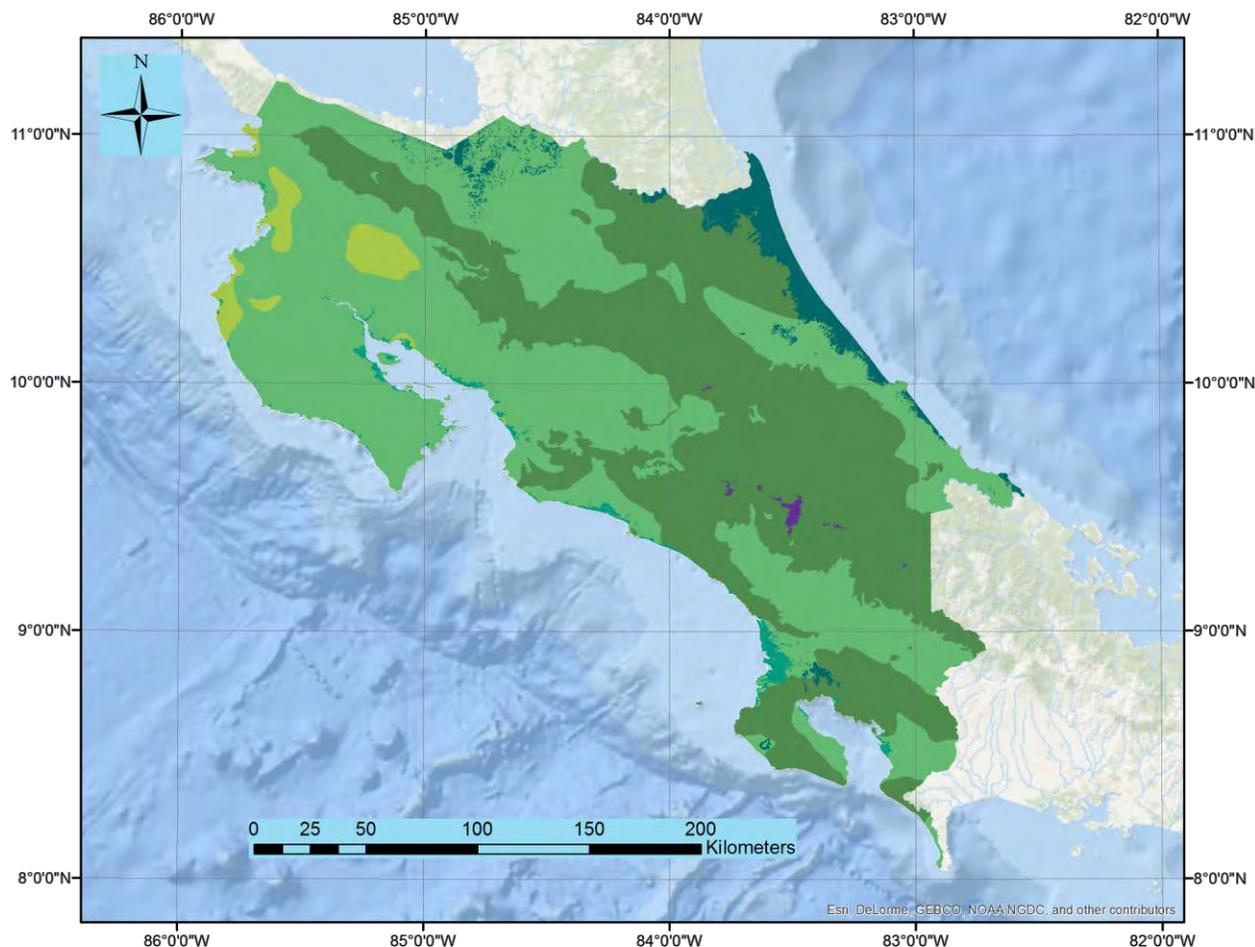
⁸² Holdridge, L.R.,1966. The Life Zone System, *Adansonia VI*: 2: 199-203.

Figura 6. Agrupación de zonas de vida realizada para estratificar los bosques de Costa Rica

Estratos de bosque						
ZONA DE VIDA SEGÚN HOLDRIDGE (1967)	Bosque muy húmedos y pluviales		Bosques húmedos			Bosques secos
	premontane rain	tropical wet	tropical premontane wet, transition to basal-pacific	tropical permontane wet transition to basal-atlantic	Tropical moist	Tropical dry
	Bosque muy húmedo / pluvial montano	Bosque muy húmedo tropical	Bosque muy húmedo premontano transición basal-pacífico	Bosque muy húmedo premontano transición basal-atlántico	Bosque húmedo tropical	Bosque seco
BOSQUE MUY HUMEDO MONTANO	recomendado - similar					
BOSQUE MUY HUMEDO MONTANO BAJO	recomendado - similar					
BOSQUE MUY HUMEDO MONTANO BAJO TRANSICION A HUMEDO	recomendado - similar					
BOSQUE PLUVIAL MONTANO	recomendado - conservador					
BOSQUE PLUVIAL MONTANO BAJO	recomendado - conservador					
BOSQUE PLUVIAL MONTANO TRANSICION A MONTANO BAJO	recomendado - similar					
BOSQUE PLUVIAL PREMONTANO	aplicable					
BOSQUE PLUVIAL PREMONTANO TRANSICION A BASAL	recomendado - similar					
BOSQUE MUY HUMEDO PREMONTANO-ATLANTICO		recomendado - similar				
BOSQUE MUY HUMEDO PREMONTANO TRANSICION A PLUVIAL-ATLANTICO		recomendado - similar				
BOSQUE MUY HUMEDO TROPICAL		aplicable				
BOSQUE MUY HUMEDO TROPICAL TRANSICION A PREMONTANO		aplicable				
BOSQUE MUY HUMEDO PREMONTANO TRANSICION A BASAL-PACIFICO			recomendado - similar			
BOSQUE MUY HUMEDO PREMONTANO TRANSICION A BASAL-ATLANTICO				aplicable		
BOSQUE MUY HUMEDO PREMONTANO-PACIFICO					recomendado - similar	
BOSQUE MUY HUMEDO PREMONTANO TRANSICION A PLUVIAL-PACIFICO					recomendado - conservador	
BOSQUE HUMEDO MONTANO BAJO					recomendado - conservador	
BOSQUE HUMEDO PREMONTANO					recomendado - conservador	
BOSQUE HUMEDO PREMONTANO TRANSICION A BASAL					recomendado - similar	
BOSQUE HUMEDO TROPICAL					aplicable	
BOSQUE HUMEDO TROPICAL TRANSICION A PERHUMEDO					recomendado - conservador	
BOSQUE HUMEDO TROPICAL TRANSICION A PREMONTANO					recomendado - conservador	
BOSQUE HUMEDO TROPICAL TRANSICION A SECO					recomendado - similar	
BOSQUE SECO TROPICAL						aplicable
BOSQUE SECO TROPICAL TRANSICION A HUMEDO						recomendado - similar

Nota: Costa Rica cuenta con seis modelos de cambios de existencias de carbono aplicables a bosques secundarios. Estos modelos fueron desarrollados por Cifuentes (2014) a partir de mediciones en 54 parcelas de diferente edad. Los modelos fueron desarrollados para zonas de vida específicas pero son aplicables a grupos de zonas de vida según el criterio de varios expertos nacionales consultados y según el criterio del propio autor de los modelos. El texto en negro en esta figura resume la recomendación de los expertos sobre la aplicabilidad de los modelos de Cifuentes a las diferentes zonas de vida que existen en Costa Rica. Para el cálculo de los factores de emisión, los seis modelos fueron reducidos a tres (como muestran las líneas rojas), para luego aplicarlos en forma consistente a los bosques nuevos existentes en los tres estratos “Bosques muy húmedos y pluviales”, “Bosques húmedos” y “Bosques secos”. La reducción de seis a tres modelos se decidió por un lado por la similitud de los modelos que se agruparon y por el otro para no complicar las matrices de cambio de uso del suelo

Figura 7. Mapa de Tipos de Bosques (MTB) de Costa Rica.



Tipo de bosque (potencial)		Área
Color	Nombre	ha
	Bosques muy húmedos y pluviales	2,138,674.32
	Bosques húmedos	2,593,615.41
	Bosques secos	134,421.66
	Manglares	53,894.61
	Bosques de palma (Yolillales)	182,903.31
	Páramo	10,430.19
Área total		5,113,939.50

Por su lado, los cultivos permanentes se estratificaron de acuerdo a su pertenencia a una “provincia de humedad” (1000 – 2000 mm año⁻¹ o > 2000 mm año⁻¹) tomando en cuenta que los valores por defecto de contenido de carbono del IPCC para estas categorías se definen por provincia de humedad. Para este fin se utilizó un “Mapa de Precipitaciones Medias Anuales” (MPMA). Como se explica más adelante en el informe, al final no se utilizaron los valores por defecto del IPCC para estimar los contenidos de carbono

de los cultivos permanentes ya que se encontraron suficientes datos nacionales. Una consecuencia de esto es que la subdivisión de los cultivos permanentes en dos sub-categorías no fue necesaria, pero se mantuvo dado que los datos de actividad se tenían calculados para cada sub-categoría por separado.

Nótese que la herramienta “FREL TOOL CR v.1” presenta niveles más sutiles de estratificación⁸³ que pero no se utilizaron al final por no haberse podido estimar los datos de actividad y/o los factores de emisión en una forma confiable para todas las sub-categorías previstas originalmente. Dichas estratificaciones más sutiles se dejaron en la herramienta pensando en mejoras futuras.

El Mapa de Tipos de Bosques (MTB) que se muestra en la Figura 7 asigna cada punto del país a un tipo de bosque (excepto en aquellas áreas que son páramos), aunque no exista bosque en cada punto actualmente. Eso se hizo para que se pueda asignar un tipo de bosque a los bosques nuevos que aparecen y seguirán apareciendo en futuro en áreas previamente clasificadas como “no bosque”.

4.6 Definición de cohortes y clases de edad de los bosques nuevos

Los “bosques nuevos” se subdividieron en cohortes de edad⁸⁴ según el período en que aparecieron en los MCS, y cada cohorte en clases de edad anuales⁸⁵. Para estimar las áreas de bosque nuevo existentes cada año en cada clase de edad se hicieron los siguientes supuestos:

1. Los bosques nuevos alcanzan el umbral de la definición de bosque, y se vuelven detectables como “bosque” en las imágenes satelitales, solamente a partir de una cierta edad mínima. Dicha edad mínima depende del tipo de bosque (estrato) y se definió consultando la opinión de los expertos del IMN, al no existir estudios que permitan definirla de otra manera. Según los expertos consultados, la edad mínima a la cual los bosques se vuelven detectables en las imágenes Landsat es de 8 años para los “bosques secos” y 4 años para todos los demás tipos de bosque.
2. Se asumió que el área de bosque nuevo establecida en un período determinado fue igual en cada año del período. Por lo tanto, el área total de “bosque nuevo” que apareció en cada período se dividió por el número de años de cada período para estimar el área de cada clase de edad.
3. Para identificar los bosques nuevos que existían antes del 1986 se utilizó un mapa auxiliar del IMN en el cual se discriminaban los bosques primarios y los bosques secundarios en el año 1980 (MBS80). Se asumió que los bosques secundarios presentes en el mapa construido para el año

⁸³ Al principio del estudio se tenía previsto separar en los MCS las áreas de bosque natural (primario y secundario) en las sub-categorías “con manejo forestal” y “sin manejo forestal” para poder incluir la actividad “manejo forestal” en el nivel de referencia. Además, se tenía previsto mapear tres sub-categorías de plantaciones forestales y dividir los bosques primarios sin manejo forestal en tres sub-categorías según su condición de alteración del contenido de carbono original (“intacto”, “degradado”, “muy degradado”). Estos criterios de estratificación no se pudieron aplicar debido por un lado a la ausencia de información espacialmente explícita y de buena calidad para toda la serie histórica (caso de las áreas bajo manejo forestal y de las sub-categorías de condición de alteración) y, por el otro, al alto nivel de incertidumbre asociado al intento de identificar espectralmente las plantaciones forestales.

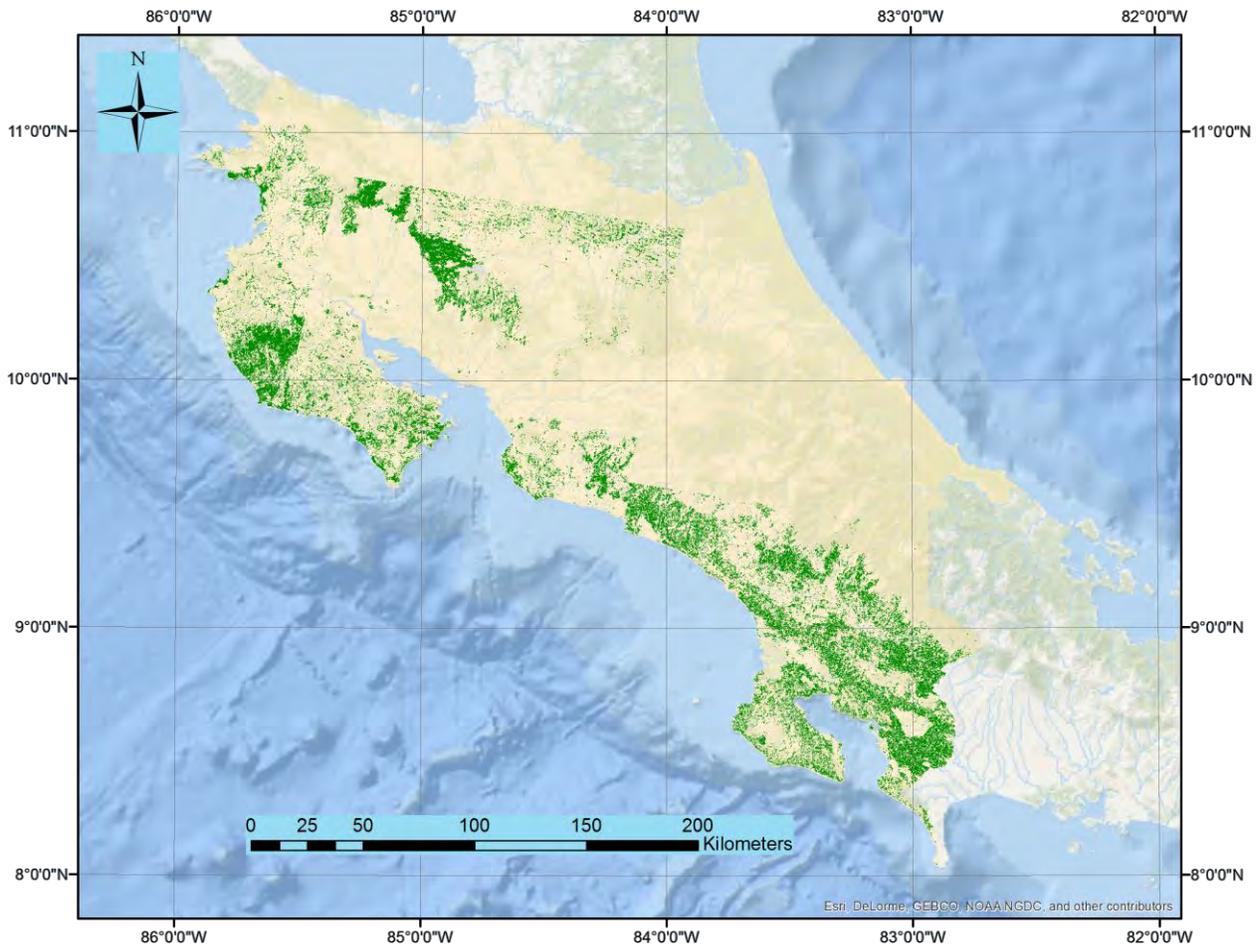
⁸⁴ Bajo “cohorte de edad” se entienden las clases de edad anuales que se regeneraron en un período histórico comprendido entre dos MCS. Por eso, las cohortes de edad se indican, en todas las tablas de este informe y en la herramienta “FREL TOOL CR v.1” con la indicación de los años en los cuales las cohortes aparecieron en los mapas: ...-1985, 1986-91, 1992-97, 1998-01, 2002-07, 2008-11, 2012-13.

⁸⁵ Bajo una “clase de edad” se reúnen todos los bosques que tienen la misma edad en años. El número de clases de edad es diferente según la cohorte de edad, ya que algunas incluyen más años que otras.

1986 estaban representados, en 1986, con todas las clases de edad en proporciones iguales de área.

Cabe notar que el mapa auxiliar del IMN parece proporcionar información incompleta acerca de la extensión de los bosques secundarios en el año 1980 porque no muestra áreas de este tipo de bosque en la vertiente atlántica de Costa Rica y tampoco en la zona más al norte del país (ver Figura 8). Sin embargo, se optó por incluir la información de este mapa en la construcción del nivel de referencia por contribuir a asignar factores de emisión más conservadores (= existencias de carbono más bajas) a las áreas de bosques clasificadas como “bosque nuevo” en el MCS 1985/86

Figura 8. Mapa auxiliar del IMN utilizado para identificar áreas de bosques nuevos en el MCS 1985/86.



Bosques secundarios anteriores al 1986		Área
Color	Descripción	ha
	Bosques secundario anteriores al 1986	579,955.68
	Otros categorías de uso del suelo	4,533,983.82
Área total		5,113,939.50

4.7 Tierras temporalmente con o sin árboles

En la construcción de los MCS, es inevitable que todas las áreas clasificadas como “bosque”, por sus características espectrales, se asignen a la categoría “tierras forestales” aunque una parte de las mismas sean en realidad tierras de cultivo en descanso, y por lo tanto “no-bosque”, aunque tengan transitoriamente una cobertura arbórea que cumple con la definición de “bosque” (“*temporarily stocked*”). También se da el caso inverso, que áreas clasificadas como “no-bosque”, debido a sus características espectrales, se asignen a cualquiera de las cinco categorías de “no-bosque” del IPCC, aunque una parte de las mismas sean en realidad bosques transitoriamente sin árboles debido, por ejemplo, a una cosecha previa (“*temporarily unstocked*”).

Para reconocer las tierras temporalmente sin árboles y las tierras temporalmente con árboles que en realidad permanecieron en la misma categoría se necesita información auxiliar, que no se puede obtener de los datos espectrales, que permita identificar cada uno de los polígonos que se encuentran en una de estas dos condiciones transitorias en cada una de las fechas históricas analizadas. Como esta información no estaba disponible, los conceptos de “*temporarily stocked*” y “*temporarily unstocked*” fueron ignorados en la construcción del nivel de referencia, sin que eso de lugar a razones para creer que el nivel de referencia contenga un sesgo, o que los resultados del programa de reducción de emisiones serán sesgados, ya que el monitoreo y los reportes futuros se harán de la misma manera, manteniendo así la consistencia a lo largo del tiempo. Tampoco existe una inconsistencia con el INGEI en este tema, porque con datos nacionales disponibles actualmente no es posible identificar los polígonos que están temporalmente con o sin árboles.

4.8 Tierras convertidas a tierras forestales

Las “tierras convertidas a tierras forestales” (i.e. los “bosques nuevos”) en algún momento deben considerarse “tierras forestales”, lo cual no quiere decir que de “bosques nuevos” se conviertan en “bosques primarios”. El período de tiempo por defecto que debe pasar para que las tierras convertidas a tierras forestales puedan clasificarse como “tierras forestales”, según las directrices del IPCC, es de 20 años, pero cada país puede definir un período de tiempo diferente. Sin embargo, cuando se construye un MCS para la fecha más antigua de una serie temporal, siempre queda la duda si todos los bosques catalogados como “tierras forestales” representan realmente solo “tierras forestales” o si también incluyen “tierras convertidas a tierras forestales”.

En el contexto de la construcción de un nivel de referencia REDD+ la diferenciación entre “tierras forestales” y “tierras convertidas a tierras forestales” no es relevante porque la diferenciación entre los dos tipos de tierras no tiene implicaciones sobre la cantidad de emisiones y absorciones incluidas en el nivel de referencia (con la salvedad del punto que se menciona en el próximo párrafo), así que esta distinción no se hizo en los mapas (representación de tierras) y tampoco en las hojas de cálculo.

Lo anterior no quiere decir que no se consideró relevante diferenciar entre tipos de bosque con un contenido de carbono distinto, ya que las diferencias en contenido de carbono sí afectan las estimaciones de las emisiones y absorciones incluidas en el nivel de referencia. Es por eso que se diferenció entre los bosques que tienen un contenido de carbono alto y estable (i.e. los “bosques primarios”) y los bosques que tienen un contenido de carbono más bajo y en aumento (i.e. los “bosques nuevos”). Esta diferenciación es importante tanto para el cálculo de las emisiones por deforestación como para el cálculo de las absorciones por aumento de existencias de carbono. En efecto, el cambio de existencia de carbono y, consecuentemente, el factor de emisión, es menor cuando se deforestan bosques nuevos que cuando se deforestan bosques primarios. Por otro lado, cuando una tierra forestal permanece en la misma categoría, se da un aumento de existencia de carbono y, por tanto, una absorción de dióxido de carbono,

cuando se trata de bosques nuevos que están creciendo, pero no se da ningún cambio de existencias de carbono y ninguna absorción cuando el bosque que permaneció en la misma categoría es un bosque primario.

Por esta razón, todos los tipos de bosque se subdividieron en “primarios” y “nuevos”, y los “nuevos” en cohortes y clases de edad con un contenido de carbono distinto.

4.9 Categorías de uso de la tierra representadas en los MCS

Al final de los ejercicios de clasificación digital de imágenes de satélite y post-procesamiento, con las ediciones explicadas en la sección 4.3 y las estratificaciones explicadas en las secciones 4.5 y 4.6, se crearon los seis Mapas de Cobertura del Suelo mencionados en la sección 4.4: MCS 1985/86; MCS 1991/92; MCS 1997/98; MCS 2000/01; MCS 2007/08; MCS 2011/12 y MCS 2013/14.

La leyenda de estos mapas, o las categorías de uso del suelo representadas en estos mapas, son las siguientes:

1. TIERRAS FORESTALES Y TIERRAS CONVERTIDAS A TIERRAS FORESTALES (FL):
 - 1.1 Bosques muy húmedos y pluviales (bhp):
 - 1.1.1 Primarios
 - 1.1.2 Nuevos
 - 1.1.2.1 Regenerados antes de 1986
 - 1.1.2.2 Regenerados entre 1986 y 1991
 - 1.1.2.3 Regenerados entre 1992 y 1997
 - 1.1.2.4 Regenerados entre 1998 y 2000
 - 1.1.2.5 Regenerados entre 2001 y 2007
 - 1.1.2.6 Regenerados entre 2008 y 2011
 - 1.1.2.7 Regenerados entre 2012 y 2013⁸⁶
 - 1.2 Bosques húmedos (bh):
 - 1.2.1 Primarios
 - 1.2.2 Nuevos
 - 1.2.2.1 Regenerados antes de 1986
 - ...
 - 1.2.2.7 Regenerados entre 2012 y 2013
 - 1.3 Bosques secos (bs):
 - 1.3.1 Primarios
 - 1.3.2 Nuevos
 - 1.3.2.1 Regenerados antes de 1986
 - ...
 - 1.3.2.7 Regenerados entre 2012 y 2013
 - 1.4 Manglares (ma):
 - 1.4.1 Primarios
 - 1.4.2 Nuevos
 - 1.4.2.1 Regenerados antes de 1986

⁸⁶ Nótese que la herramienta “FREL TOOL CR v.1” incluye cohortes de edad adicionales (para los períodos bienales incluidos entre 2014 y 2023) ya que ha sido diseñada para que pueda ser utilizada en el contexto de futuros reportes de medición de los resultados del programa de reducción de emisiones.

- ...
- 1.4.2.7 Regenerados entre 2012 y 2013
- 1.5 Bosques de palma – “Yolillales” (by):
 - 1.5.1 Primarios
 - 1.5.2 Nuevos
 - 1.5.2.1 Regenerados antes de 1986
 - ...
 - 1.5.2.7 Regenerados entre 2012 y 2013
- 1.6 Plantaciones forestales⁸⁷
 - 1.6.1 Tipo 1 (por ser determinado, *tbd*)
 - 1.6.2 Tipo 2 (*tbd*)
 - 1.6.3 Tipo 3 (*tbd*)
- 2. CULTIVOS:
 - 2.1 Anuales
 - 2.2 Permanentes
 - 2.2.1 En zonas húmedas (1000-2000 mm año⁻¹)
 - 2.2.2 En zonas lluviosas (> 2000 mm año⁻¹)
- 3. PASTIZALES
- 4. ÁRESA URBANAS
- 5. HUMEDALES:
 - 5.1 Naturales
 - 5.2 Artificiales
- 6. OTRAS TIERRAS:
 - 6.1 Páramos
 - 6.2 Suelos desnudos
 - 6.2.1 Naturales
 - 6.2.2 Artificiales

Notas:

1. En la herramienta “FREL TOOL CR v.1” tanto los bosques primarios como los secundarios se subdividen en “con manejo forestal” y “sin manejo forestal” para permitir el ingreso de información relativa a las áreas con manejo forestal en futuras actualizaciones del nivel de referencia. Sin embargo, para efectos del nivel de referencia finalmente construido, no se contó con información suficiente para desagregar las áreas con manejo forestal de las áreas sin manejo forestal, así que todos los bosques fueron tratados como si no tuvieran manejo forestal.
2. En el caso de los bosques primarios sin manejo forestal no se cuenta con información sobre su condición de alteración del contenido de carbono (“intacto”, “degradado”, “muy degradado”) para toda la serie histórica. Después de evaluar la significancia de la degradación y obtener

⁸⁷ Como se mencionó anteriormente, debido al alto nivel de incertidumbre asociado a las áreas clasificadas como “plantaciones forestales” en los MCS, se decidió eliminarlas de los mapas, convirtiendo las áreas clasificadas como “plantaciones forestales” a “bosques secundario” en los casos que en los mapas aparecían en tierras que en una fecha anterior habían sido clasificadas en una categoría de “no-bosque” o a “bosque primario” si en todas las fechas anteriores habían sido clasificadas como “bosque”.

indicios que la misma no es significativa, todos los cálculos se efectuaron asumiendo que los bosques primarios son “intactos”.

3. En la herramienta “FREL TOOL CR v.1” se mantuvo la denominación “Bosques secundarios” y la categoría “Plantaciones forestales” para mantener el espacio para ingresar futuras mejoras en los datos. Sin embargo, el concepto aplicado es de “Bosques nuevos” = “Bosques secundarios” + “Plantaciones forestales”.
4. En los MCS y en las matrices de cambio (MCs) los bosques nuevos se separan por clases de edad definidas con los años de inicio y fin del período histórico en el cual dichos bosques aparecieron por primera vez en las imágenes satelitales. Para cada una de estas clases de edad los factores de emisión se calcularon como el promedio ponderado por área de todas las clases de edad anuales presentes en las clases de edad representadas en las matrices. Este cálculo se hace en la hoja “BOSQUES NUEVOS” de la herramienta “FREL TOOL CR v.1” y se basa en el supuesto que los “bosques nuevos” que se veían en las imágenes de satélite al final del período estaban representadas por un número de clases de edad anuales equivalente a la duración del período y que la clase de edad anual más joven tenía la edad mínima en la cual los “bosques nuevos” se tornan visibles en las imágenes satelitales, la cual es 8 años para los “Bosques Secos” y 4 años para todos los demás estratos de bosque según los expertos del IMN consultados. La edad mínima es un parámetro que se puede variar en la hoja “LISTAS” de la Herramienta “FREL TOOL CR v.1”.
5. La herramienta “FREL TOOL CR v.1” está preparada para calcular los resultados del programa de reducción de emisiones de Costa Rica hasta el año 2023 y por esta razón se incluyeron, para los bosques nuevos, clases de edad bienales en las matrices preparadas para el período 2014-2023 (hojas “MC 2014-15”; ...; “MC-2022-23”).

4.10 Generación de matrices de cambio de uso del suelo

Los MCS se combinaron en un SIG para obtener información de cambios de cobertura del suelo para cada período histórico analizado. De esta manera se obtuvo la información necesaria para rellenar las siguientes matrices de cambio de uso del suelo:

- **MC 1986-91:** Cambios de usos del suelo (o datos de actividad) para el período 01.01.1986-31.12.1991.
- **MC 1992-97:** Cambios de usos del suelo (o datos de actividad) para el período 01.01.1992-31.12.1997.
- **MC 1998-00:** Cambios de usos del suelo (o datos de actividad) para el período 01.01.1998-31.12.2000.
- **MC 2001-07:** Cambios de usos del suelo (o datos de actividad) para el período 01.01.2001-31.12.2007.
- **MC 2008-11:** Cambios de usos del suelo (o datos de actividad) para el período 01.01.2008-31.12.2011.
- **MC 2011-13:** Cambios de usos del suelo (o datos de actividad) para el período 01.01.2012-31.12.2013.

4.11 Estimación de datos de actividad anuales interpolando las matrices de cambio de uso del suelo de los periodos históricos analizados

Como muestra el árbol de decisión en la Figura 3.1 de IPCC GL (2006, Ch.3, Sección 3.3.2.1, p.3.17), cuando no se dispone de datos de actividad anuales se deben hacer interpolaciones o extrapolaciones de los datos disponibles para estimar los datos de actividad de los años para los cuales no se tiene información.

Los datos de actividad plurianuales (que se muestran en las matrices “MC AAAA-AA” de la herramienta “FREL TOOL CR v.1”) fueron anualizados suponiendo que en cada año de un periodo determinado los cambios anuales fueron iguales, hasta sumar, para todo el período, el cambio total del período. Por ejemplo, para estimar los datos de actividad del año 1986 se dividieron por seis los datos de actividad reportados en la matriz del período 1986-1991 (“MC 1986-91”), excepto por el caso de los datos de actividad de la diagonal de la matriz, que representan las celdas sin cambios, las cuales se calculan restando del total inicial del año la suma de las áreas que cambian en el año, es decir, los números que aparecen en la misma fila de la matriz.

Las matrices de cambio de cobertura del suelo, con los datos de actividad de cada período histórico analizado, se reportan en las hojas “MC AAAA-AA” de la herramienta “FREL TOOL CR v.1”, mientras que los datos de actividad interpolados para estimar las áreas anuales se reportan en las hojas “DA AAAA” de la misma herramienta⁸⁸. Por su gran número de celdas, las matrices “MC AAAA-AA” y “DA AAAA” no caben en forma discernible en páginas de tamaño 8.5”x 11” y por esta razón no se reportan en este informe. Sin embargo, todas las matrices generadas para el período 1986-2013 están incluidas en la herramienta “FREL TOOL CR v.1” donde pueden ser revisadas.

El resultado de la interpolación de las matrices, i.e. los datos de actividad anuales, se muestran en forma resumida en la Tabla 8. Una versión más detallada de esta misma tabla se encuentra en la hoja “DECISIONES” de la herramienta “FREL TOOL CR v.1”.

La Figura 9 muestra la evolución de la cobertura forestal de Costa Rica entre 1986 y 2013 en hectáreas y en porcentaje.

⁸⁸ Las notaciones “AAAA-AA” y “AAAA” se refieren a períodos y años específicos, respectivamente. Por ejemplo, la hoja “MC 1986-91” contiene la matriz de cambio de usos del suelo con los datos de actividad correspondientes al período 1986-1991, mientras que la hoja “DA 1986” contiene la matriz de cambios de usos del suelo con los datos de actividad del año 1986.

Figura 9. Evolución de la cobertura forestal en Costa Rica entre 1986 y 2013 por tipo de bosque

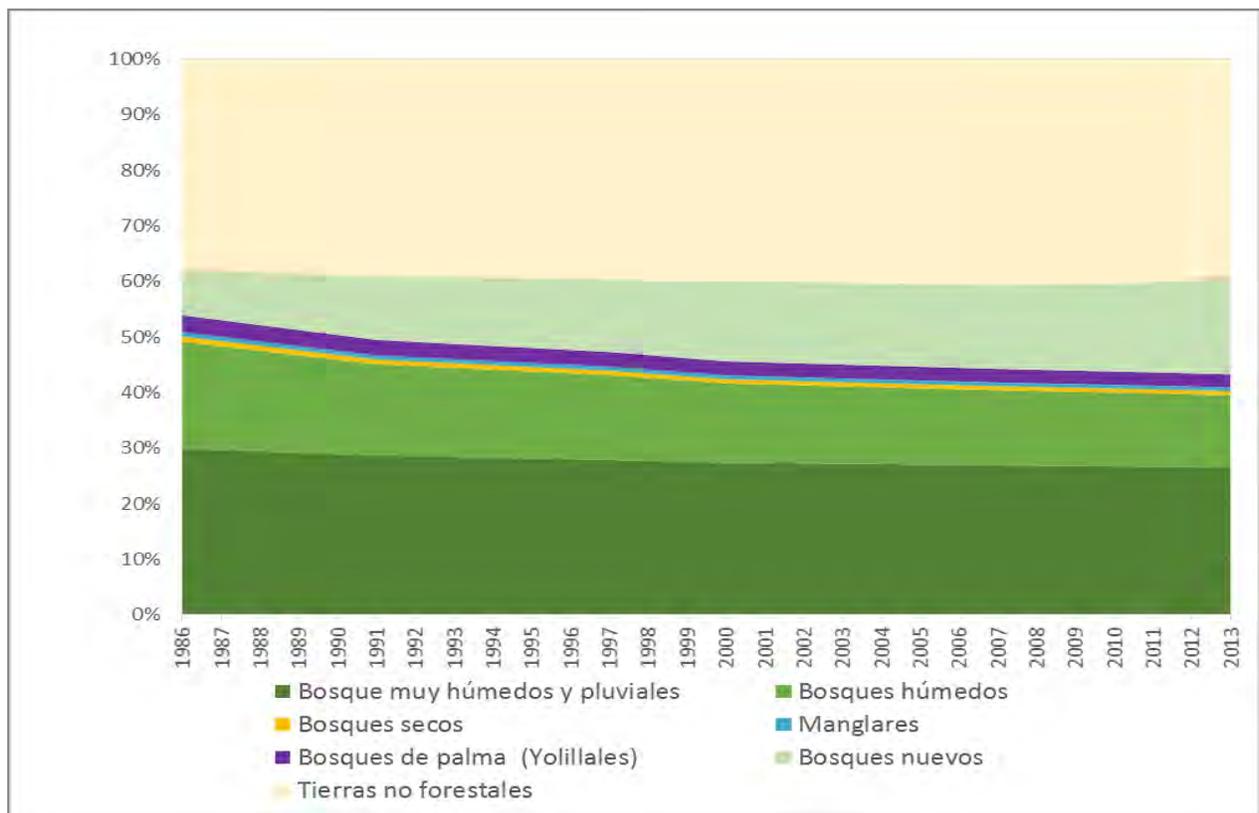
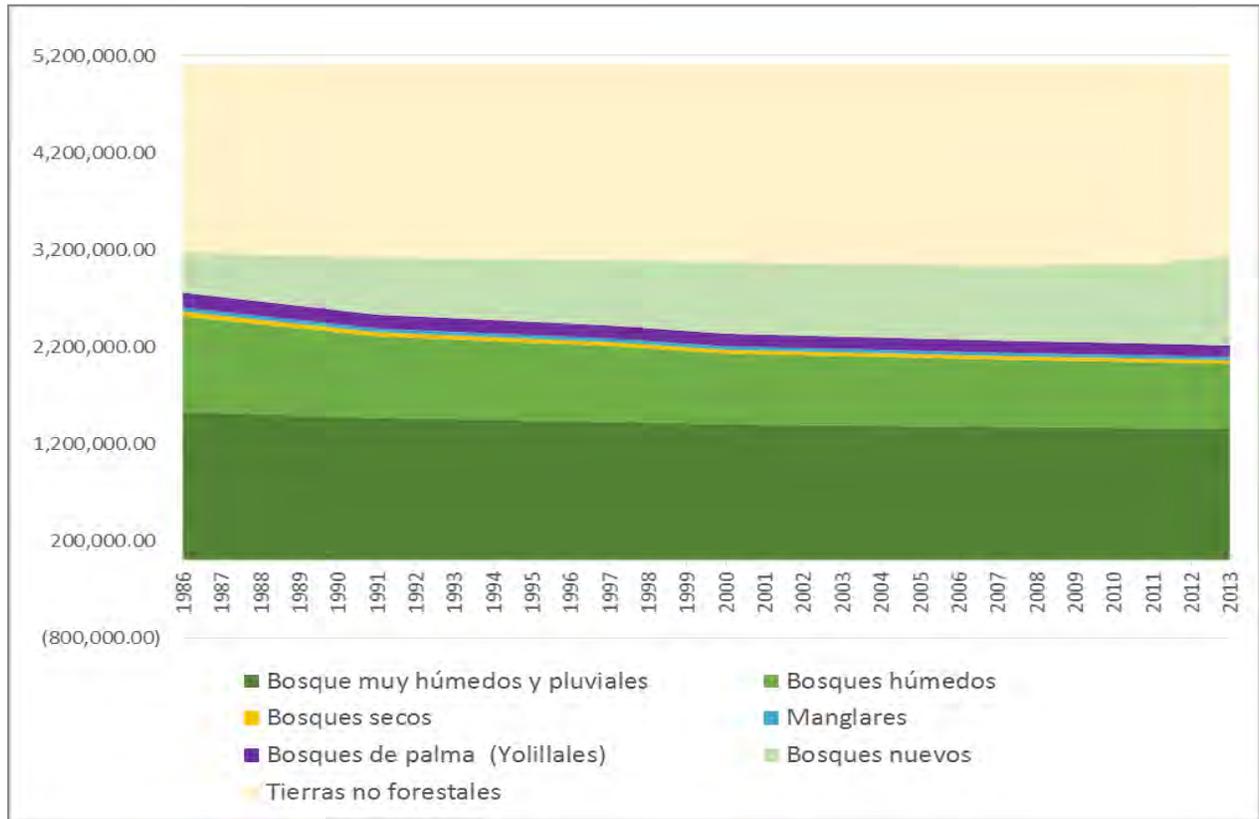




Tabla 8. Datos de actividad anualizados, en hectáreas, de las distintas actividades REDD+ consideradas.

Notas: **DF** = deforestación; **DG** = Degradación; **AE** = Aumento de Existencias de C; **MF** = Manejo Forestal; **CO** = Conservación; **SI** = Sin información; **OT** = Otras Tierras (no forestales); **an** = antrópica; **na** = no-antrópica; **to** = total; **bp** = bosque primario; **bn** = bosque nuevo; AAAA-AA = clases de edad; **TCTF** = Tierra Convertida a Tierra Forestal.

Años 1996-1999.

Nota: Los años 1986-1995 no forman parte del nivel de referencia bajo el Fondo de Carbono del FCPF pero se reportan para cumplir con el principio de transparencia.

Actividad	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
DF.an.to	50,947	50,947	50,947	50,947	50,947	50,947	28,666	28,666	28,666	28,666	28,666	28,666	54,442	54,442
DF.an.bp	44,550	44,550	44,550	44,550	44,550	44,550	18,363	18,363	18,363	18,363	18,363	18,363	28,194	28,194
DF.an.bn	6,397	6,397	6,397	6,397	6,397	6,397	10,304	10,304	10,304	10,304	10,304	10,304	26,249	26,249
... - 1985	6,397	6,397	6,397	6,397	6,397	6,397	2,884	2,884	2,884	2,884	2,884	2,884	4,169	4,169
1986-91	-	-	-	-	-	-	7,420	7,420	7,420	7,420	7,420	7,420	13,250	13,250
1992-97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,830	8,830
1998-00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001-07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2008-11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2012-13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DF.na.to	894	894	894	894	894	894	351	351	351	351	351	351	775	775
DF.na.bp	747	747	747	747	747	747	236	236	236	236	236	236	263	263
DF.na.bn	147	147	147	147	147	147	114	114	114	114	114	114	513	513
... - 1985	147	147	147	147	147	147	21	21	21	21	21	21	20	20
1986-91	-	-	-	-	-	-	93	93	93	93	93	93	51	51
1992-97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	442	442
1998-00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001-07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2008-11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2012-13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DF.to.to	51,841	51,841	51,841	51,841	51,841	51,841	29,017	29,017	29,017	29,017	29,017	29,017	55,218	55,218



Nivel de Referencia de Emisiones y Absorciones Forestales
de Costa Rica ante el Fondo de Carbono de FCPF

Actividad	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
DF.to.bp	45,296	45,296	45,296	45,296	45,296	45,296	18,599	18,599	18,599	18,599	18,599	18,599	28,457	28,457
DF.to.bn	6,544	6,544	6,544	6,544	6,544	6,544	10,418	10,418	10,418	10,418	10,418	10,418	26,761	26,761
... - 1985	6,544	6,544	6,544	6,544	6,544	6,544	2,905	2,905	2,905	2,905	2,905	2,905	4,189	4,189
1986-91	-	-	-	-	-	-	7,513	7,513	7,513	7,513	7,513	7,513	13,301	13,301
1992-97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,271	9,271
1998-00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001-07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2008-11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2012-13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AE.bp														
AE.bn	417,230	451,092	484,953	518,815	552,676	586,538	600,466	614,394	628,322	642,250	656,178	670,106	692,026	713,946
... - 1985	376,824	370,280	363,735	357,191	350,646	344,102	341,197	338,292	335,387	332,483	329,578	326,673	322,484	318,294
1986-91	-	40,406	80,812	121,218	161,624	202,030	234,923	227,410	219,897	212,383	204,870	197,357	184,057	170,756
1992-97	-	-	-	-	-	-	-	24,346	48,692	73,038	97,384	121,730	136,805	127,533
1998-00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	48,681
2001-07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2008-11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2012-13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TCTF	40,406	40,406	40,406	40,406	40,406	40,406	24,346	24,346	24,346	24,346	24,346	24,346	48,681	48,681
MF.bp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MF.bs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CO.bp	2,759,049	2,713,753	2,668,457	2,623,160	2,577,864	2,532,568	2,513,969	2,495,370	2,476,771	2,458,172	2,439,573	2,420,975	2,392,518	2,364,061
SI.b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OT	1,885,819	1,897,254	1,908,689	1,920,123	1,931,558	1,942,993	1,970,487	1,975,158	1,979,829	1,984,500	1,989,171	1,993,842	1,974,178	1,980,714
Área total	5,113,940	5,113,940	5,113,940	5,113,940	5,113,940	5,113,940	5,113,940	5,113,940	5,113,940	5,113,940	5,113,940	5,113,940	5,113,940	5,113,940



Años 2000-2013.

Nota: Los años 2010-2013 no forman parte del nivel de referencia bajo el Fondo de Carbono del FCPF y más bien muestran los resultados de los primeros años del programa de reducción de emisiones- Se reportan para cumplir con el principio de transparencia.

Actividad	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
DF.an.to	54,442	23,255	23,255	23,255	23,255	23,255	23,255	23,255	25,009	25,009	25,009	25,009	33,842	33,842
DF.an.bp	28,194	9,761	9,761	9,761	9,761	9,761	9,761	9,761	7,787	7,787	7,787	7,787	8,510	8,510
DF.an.bn	26,249	13,494	13,494	13,494	13,494	13,494	13,494	13,494	17,222	17,222	17,222	17,222	25,332	25,332
... - 1985	4,169	1,826	1,826	1,826	1,826	1,826	1,826	1,826	1,188	1,188	1,188	1,188	1,607	1,607
1986-91	13,250	2,891	2,891	2,891	2,891	2,891	2,891	2,891	2,194	2,194	2,194	2,194	2,128	2,128
1992-97	8,830	4,429	4,429	4,429	4,429	4,429	4,429	4,429	2,335	2,335	2,335	2,335	1,751	1,751
1998-00	-	4,349	4,349	4,349	4,349	4,349	4,349	4,349	5,824	5,824	5,824	5,824	4,918	4,918
2001-07	-	-	-	-	-	-	-	-	5,681	5,681	5,681	5,681	7,229	7,229
2008-11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,699	7,699
2012-13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DF.na.to	775	554	554	554	554	554	554	554	720	720	720	720	863	863
DF.na.bp	263	264	264	264	264	264	264	264	291	291	291	291	278	278
DF.na.bn	513	289	289	289	289	289	289	289	429	429	429	429	585	585
... - 1985	20	25	25	25	25	25	25	25	22	22	22	22	10	10
1986-91	51	33	33	33	33	33	33	33	29	29	29	29	31	31
1992-97	442	106	106	106	106	106	106	106	67	67	67	67	54	54
1998-00	-	125	125	125	125	125	125	125	76	76	76	76	51	51
2001-07	-	-	-	-	-	-	-	-	235	235	235	235	106	106
2008-11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	333	333
2012-13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DF.to.to	55,218	23,808	23,808	23,808	23,808	23,808	23,808	23,808	25,729	25,729	25,729	25,729	34,705	34,705
DF.to.bp	28,457	10,025	10,025	10,025	10,025	10,025	10,025	10,025	8,078	8,078	8,078	8,078	8,788	8,788
DF.to.bn	26,761	13,783	13,783	13,783	13,783	13,783	13,783	13,783	17,651	17,651	17,651	17,651	25,917	25,917
... - 1985	4,189	1,851	1,851	1,851	1,851	1,851	1,851	1,851	1,210	1,210	1,210	1,210	1,617	1,617
1986-91	13,301	2,924	2,924	2,924	2,924	2,924	2,924	2,924	2,223	2,223	2,223	2,223	2,160	2,160



Nivel de Referencia de Emisiones y Absorciones Forestales
de Costa Rica ante el Fondo de Carbono de FCPF

Actividad	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
1992-97	9,271	4,535	4,535	4,535	4,535	4,535	4,535	4,535	2,402	2,402	2,402	2,402	1,805	1,805
1998-00	-	4,473	4,473	4,473	4,473	4,473	4,473	4,473	5,900	5,900	5,900	5,900	4,969	4,969
2001-07	-	-	-	-	-	-	-	-	5,916	5,916	5,916	5,916	7,335	7,335
2008-11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,032	8,032
2012-13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AE.bp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AE.bn	735,866	740,799	745,731	750,664	755,597	760,530	765,462	770,395	783,820	797,246	810,671	824,097	871,290	918,483
... - 1985	314,105	312,254	310,403	308,552	306,701	304,850	302,999	301,148	299,938	298,728	297,518	296,309	294,691	293,074
1986-91	157,455	154,532	151,608	148,684	145,760	142,836	139,912	136,988	134,765	132,542	130,319	128,096	125,936	123,776
1992-97	118,262	113,727	109,192	104,656	100,121	95,586	91,051	86,516	84,113	81,711	79,309	76,906	75,101	73,296
1998-00	97,362	141,570	137,096	132,623	128,150	123,676	119,203	114,729	108,829	102,929	97,029	91,129	86,161	81,192
2001-07	-	-	18,716	37,432	56,149	74,865	93,581	112,297	125,097	119,181	113,265	107,349	100,015	92,680
2008-11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31,077	62,154	93,231	116,275	108,243
2012-13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	73,111
TCTF	48,681	18,716	18,716	18,716	18,716	18,716	18,716	18,716	31,077	31,077	31,077	31,077	73,111	73,111
MF.bp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MF.bs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CO.bp	2,335,605	2,325,580	2,315,555	2,305,530	2,295,505	2,285,480	2,275,455	2,265,430	2,257,352	2,249,274	2,241,197	2,233,119	2,224,331	2,215,543
SI.b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OT	1,987,251	2,023,753	2,028,845	2,033,937	2,039,029	2,044,122	2,049,214	2,054,306	2,047,038	2,041,690	2,036,342	2,030,995	1,983,613	1,945,208
Área total	5,113,940	5,113,940	5,113,940	5,113,940	5,113,940	5,113,940	5,113,940	5,113,940	5,113,940	5,113,940	5,113,940	5,113,940	5,113,940	5,113,940

4.12 Herramienta de cálculo preparada para futuros reportes bienales de resultados

La herramienta “FREL TOOL CR v.1” contiene cinco matrices, aún vacías de datos, que se han preparado para que puedan ser rellenas para períodos bienales futuros (“**MC 2014-15**”, “**MC 2016-17**”, “**MC 2018-19**”, “**MC 2020-21**” y “**MC 2021-23**”) para reportar, como en el caso de la matriz MC 2012-13 y de los años 2010-13, que ya se están reportando, los resultados del programa de reducción de emisiones. Estas matrices, una vez rellenas, se interpolarán automáticamente en las matrices anuales “DA 2014” hasta “DA 2023”, sin que el usuario de la herramienta tenga que ingresar datos adicionales en la herramienta.

En las hojas “E 1986” hasta “E 2023”, las matrices “DA AAAA” de la herramienta se multiplican con sus respectivas hojas “FE AAAA” (aplicando la ecuación Ec.1), que son las hojas en las cuales reportan los factores de emisión aplicables a todos los años (desde 1986 hasta 2023).

De esta manera, la herramienta “FREL TOOL CR v.1” permite calcular todas las emisiones y remociones asociadas a cada celda de las matrices de cambio de uso del suelo para todos los años (desde 1986 hasta 2023) y sumar, en las hojas “DECISIONES” y “RESULTADOS” las emisiones y remociones incluidas en el nivel de referencia con solo rellenar las matrices “MC AAAA-AA”.

Por lo tanto, **para la preparación de futuros reportes bastará rellenar las matrices periódicas de los cambios de uso futuros (“MC 2014-15”, “MC 2016-17”, “MC 2018-19”, “MC 2020-21” y “MC 2021-23”),** como ya se hizo con la matriz “MC 2012-13”, y la herramienta arrojará en forma automática e inmediata los resultados de cada período en la hoja “RESULTADOS” en forma totalmente consistente con el nivel de referencia.

4.13 Definición de las actividades REDD+ utilizando matrices de cambio de uso del suelo

Como se mencionó en la sección 3.8, además de utilizarse para calcular y reportar datos de actividad anuales, la plantilla de la matriz de cambio de uso se utilizó también para definir las actividades REDD+ de manera transparente y evitar cualquier posibilidad de doble conteo de emisiones o absorciones en más de una actividad REDD+.

Como se mostró en forma resumida en la Figura 2, esto se logró asignando a cada celda de la plantilla de las matrices una única actividad REDD+. Por razones de espacio, no es posible replicar la matriz completa con todas las asignaciones de actividades REDD+ en las páginas de este informe. Sin embargo, la matriz completa está disponible para ser revisada en la hoja “ACTIVIDADES” de la herramienta “FREL TOOL CR v.1”.

Como se mencionó anteriormente, la plantilla de la matriz de cambio de usos del suelo fue diseñada al principio del estudio considerando las diversas categorías y sub-categorías para las cuales Costa Rica quería estimar cambios de existencias de carbono. Debido a que al final no se pudieron encontrar datos de calidad suficiente para incluir todas las categorías deseadas en los MCS, algunas categorías quedaron sin datos en las matrices de cambios de cobertura del suelo, pero no se borraron de la herramienta “FREL TOOL CR v.1” para permitir su inclusión en posibles futuras actualizaciones del nivel de referencia, cuando se disponga de los datos de calidad necesarios.

5. Factores de emisión

En esta sección se presentan con más detalle los métodos empleado para estimar los factores de emisión.

5.1 Análisis de requerimientos

5.1.1 Reservorios significativos

Una de las principales decisiones que deben tomarse en el contexto de la construcción de un nivel de referencia es la definición de los límites de contabilidad. Esto incluye los límites geográficos (o “área de contabilidad”) las fuentes y sumideros de GEI (notándose que cada “actividad REDD+” puede tener diferentes “drivers” y por lo tanto diferentes “fuentes” y “sumideros” asociados), y los reservorios de carbono y gases de efecto invernadero considerados. La elección de los reservorios es un elemento fundamental de esta definición de límites.

En este sentido algunas de las decisiones CP relativas a REDD+ indican que los reservorios no significativos pueden ser excluidos⁸⁹ de forma permanente o que pueden ser excluidos de manera provisional para ser incluidos posteriormente⁹⁰.

Las decisiones de la CP no proveen una definición explícita de lo que es "significativo"⁹¹, pero establecen que la medición y reporte (MR) deben emplearse la última versión de las directrices del IPCC -ya sean adoptadas (es decir 1996 IPCC GL⁹²) o recomendadas (es decir, 2006 IPCC GL⁹³), las sí proveen una definición de reservorios “significativos”.

Las directrices del 2006 (2006 IPCC GL) proporcionan orientaciones sobre la consideración de categorías clave (“key category”) y sobre lo que se considera un reservorio "significativo". El Capítulo 1 (Volumen 4, 2006 IPCC GL) proporciona un conjunto de árboles de decisión para identificar aquellos reservorios de carbono (es decir, sub-categorías) que son “significativos” dentro de una categoría específica de uso de la tierra. En función de si un reservorio es considerado “significativo” dentro de una categoría o no, y en función de la calidad de la información disponible, los árboles de decisión requerirán llegar a un “nivel” (“Tier”) u otro del IPCC. De acuerdo a estos árboles de decisión un reservorio se considera significativo si representa más del 25%-30% de las emisiones totales de su categoría. Es importante señalar, que este umbral no se refiere a las existencias de carbono, sino a las emisiones, por lo que sería necesario estimar las emisiones potenciales de cada reservorio de carbono con el fin de determinar si es significativo o no.

⁸⁹ FCCC/CP/2013/10/Add.1. Decision 11/CP.19. Modalities for national forest monitoring systems. (<http://unfccc.int/resource/docs/2013/cop19/eng/10a01.pdf#page=31>).

⁹⁰ FCCC/CP/2011/9/Add.2. Decision 12/CP.17. Guidance on systems for providing information on how safeguards are addressed and respected and modalities relating to forest reference emission levels and forest reference levels as referred to in decision 1/CP. II. Modalities for forest reference emission levels and forest reference levels. 17 p. (<http://unfccc.int/resource/docs/2011/cop17/eng/09a02.pdf#page=16>).

⁹¹ FCCC/CP/2009/11/Add.1 Decision 4/CP.15. Methodological guidance for activities relating to reducing emissions from deforestation and forest degradation and the role of conservation, sustainable management of forests and enhancement of forest carbon stocks in developing countries. 11 p. (<http://unfccc.int/resource/docs/2009/cop15/eng/11a01.pdf#page=11>).

⁹² IPCC, 1996. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. (<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>).

⁹³ IPCC, 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4, Chapter 12; Volume 5, Chapters 2 and 3. (<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>).

Es importante destacar que esta definición de “significativo” no es una definición explícita que sea requerida por las decisiones de la CP, así que un país no tendría la obligación de seguir esta definición⁹⁴. Sin embargo, adoptar esta definición en el contexto de la construcción del nivel de referencia aseguraría consistencia con el INGEI en cuanto a la selección de los reservorios. Es importante indicar nuevamente que el objetivo de definir si un reservorio es “significativo” difiere en el INGEI y en el nivel de referencia ya que en el primero se busca elegir el nivel del IPCC, mientras que en el segundo se busca asegurar la inclusión en la contabilidad de los reservorios “significativos”. No obstante, el fin último es el mismo, que es priorizar esfuerzos en aquellos reservorios que son mayores, por tanto los árboles de decisión del IPCC pueden ser una herramienta útil para realizar la selección de los reservorios a considerar para el nivel de referencia.

Con respecto a otras normas aplicables al programa REDD+ de Costa Rica, i.e. el marco metodológico del Fondo de Carbono del FCPF (MF-FCPF) y los requerimientos del VCS para REDD+ Jurisdiccional y Anidado (VCS-JNR), éstos tienen un enfoque similar pero difieren entre sí y también difieren del análisis de significancia a realizar siguiendo las directrices del IPCC.

Al contrario que con las decisiones de la CP, MF-FCPF y VCS-JNR resuelven el vacío en relación con la definición de reservorio “significativo” proporcionando una orientación clara para la selección de los reservorios de carbono. Ambas normas requieren la inclusión de los reservorios de carbono que representan más del 10% de las emisiones totales⁹⁵, los cuales se definen como “significativos”, pero permiten excluir los reservorios de carbono que subestiman las reducciones de emisiones (es decir, la aplicación del principio de conservadurismo⁹⁶)⁹⁷. En relación con el principio de conservadurismo, es importante indicar que este principio difiere en el marco de un INGEI, ya que en este caso es conservador incluir cuantas más emisiones posibles, lo cual es opuesto al concepto en un programa de pagos por resultados. En este sentido, esto supondría una potencial falta de consistencia entre el INGEI y el nivel de referencia. Por ello, se recomienda que este principio no se aplique en la selección de los reservorios, y que únicamente se utilice el concepto de “significativo”, aplicándose el nivel 1 en el INGEI en aquellos reservorios excluidos en el nivel de referencia REDD+.

La diferencia, entre MF-FCPF y VCS-JNR, es que el primero se refiere a las emisiones totales procedentes de los bosques (incluyendo deforestación y degradación, si la degradación representa más del 10% de las emisiones totales procedentes de bosques)⁹⁸, mientras que el segundo se refiere a las emisiones totales de las actividades incluidas en el nivel de referencia (i.e. no exige tener en cuenta la degradación⁹⁹). Por otra parte, estos requerimientos se refieren al 10% de las emisiones totales, no especificando la categoría, mientras que el 2006 IPCC GL se refiere específicamente a las emisiones dentro de la categoría de cambio de uso del suelo considerada. Por lo tanto, mientras que en el 2006 IPCC GL es posible definir si el reservorio es significativo o no dentro de cada categoría, en los marcos de MF-FCPF y VCS-JNR se requiere estimar las emisiones totales de GEI con el fin de evaluar si un reservorio de carbono o fuente de GEI es significativa o no.

⁹⁴ FAO. Draft Document - Technical considerations FREL/FRL construction for REDD+ under the UNFCCC.

⁹⁵ Indicador 4.1, MF-FCPF. Secciones 3.9.5, 3.9.6 y 3.9.7 de VCS JNR, versión 3.2.

⁹⁶ Nótese que el principio de “conservadurismo” en el contexto de la construcción de un nivel de referencia tiene un sentido exactamente opuesto al sentido que tiene en el contexto del INGEI. En el primer caso “subestimar” emisiones se considera “conservador”, mientras que en el segundo “conservador” es “sobre-estimar”.

⁹⁷ Indicador 4.2, MF-FCPF. Secciones 3.9.5, 3.9.6 y 3.9.7 de VCS JNR, versión 3.2.

⁹⁸ Indicador 3.3, MF-FCPF.

⁹⁹ Sección 3.8.2, VCS-JNR, versión 3.2.

Otro aspecto a tener en cuenta son los reservorios de carbono considerados por cada marco metodológico. Mientras que IPCC se refiere a cinco reservorios de carbono¹⁰⁰, MF-FCPF no aclara qué reservorios de carbono deben ser considerados y VCS-JNR requiere claramente la inclusión de aquellos reservorios que sean relevantes de los siguientes: biomasa arbórea aérea (BARA), biomasa no arbórea aérea (BNAA), biomasa arbórea subterránea (BARS), biomasa no arbórea subterránea (BNAS), madera muerta¹⁰¹ (MM), hojarasca¹⁰² (H), carbono orgánico del suelo (COS) y productos de madera¹⁰³ (PM).

Por lo tanto, para cumplir con todos los requerimientos se debe cumplir con lo siguiente:

- Se deben estimar las existencias de carbono en los siguientes reservorios: biomasa arbórea aérea (BARA), biomasa no arbórea aérea (BNAA), biomasa arbórea subterránea (BARS), biomasa no arbórea subterránea (BNAS), madera muerta (MM), hojarasca (H), carbono orgánico del suelo (COS) y productos de madera (PM).
- Se deben incluir todos los reservorios significativos. Los reservorios no significativos son aquellos que representan menos del 10% de las emisiones totales de origen forestal y sólo éstos pueden ser excluidos, o los cuya exclusión es conservadora desde el punto de vista de la reducción de emisiones.

Los requerimientos relativos a reservorios de carbono de los diferentes marcos metodológicos considerados se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 9. Resumen de los requerimientos de los distintos marcos metodológicos en relación con los reservorios de carbono: 2006 IPCC GL, MF-FCPF y VCS-JNR

Marco metodológico	Criterios
2006 IPCC GL	✓ Los reservorios no significativos (que representan < 25-30% de las emisiones totales dentro de la categoría) pueden excluirse o pueden cuantificarse con Niveles más bajos en función de la disponibilidad de datos.
MF-FCPF	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Los reservorios no significativos (que representan <10% de las emisiones totales de origen forestal) pueden excluirse ✓ La exclusión está permitida si la exclusión es conservadora
VCS-JNR	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Los reservorios no significativos (que representan <10% de las emisiones totales de origen forestal) pueden excluirse ✓ La exclusión está permitida si la exclusión es conservadora ✓ El reservorio de productos de madera debe considerarse

5.1.2 Nivel IPCC

Existen distintos niveles del IPCC los cuales están relacionados con las hipótesis en el cálculo de las emisiones y la calidad de los datos de carbono. Aunque cada nivel tiene métodos distintos, la definición

¹⁰⁰ CUADRO 1.1, Volumen 4 – 2006 IPCC GL-. El reservorio de biomasa viva que incluye: la 1) biomasa aérea y la 2) biomasa subterránea; la materia orgánica muerta que incluye la 4) madera muerta y el 4) mantillo; y el 5) carbono orgánico del suelo.

¹⁰¹ La madera muerta puede dividirse entre madera muerta en pie (MMP), madera muerta caída (MMC) y madera muerta subterránea (MMS).

¹⁰² La hojarasca a veces se denomina también “mantillo”.

¹⁰³ Sección 3.9.2, VCS-JNR, versión 3.2.

del nivel tiene mayor repercusión en la calidad de datos a utilizar: mientras que un nivel 1 acepta el uso de valores por defecto del IPCC o valores internacionales, el nivel 2 exige el uso de valores nacionales o regionales aunque manteniendo algunas hipótesis de cálculo del nivel 1. El nivel 3 consistiría en el uso de datos nacionales y reemplazando las hipótesis de cálculo por modelos *ad-hoc*. En esta sección, el nivel a alcanzar es muy relevante ya que definirá la calidad de los datos aceptable.

En relación con el nivel, las decisiones de la CP relativas a REDD+ nuevamente no exigen nada de manera explícita. Sin embargo, como se indicó anteriormente, estas decisiones establecen que deben emplearse la última versión de las directrices del IPCC, ya sean adoptadas (es decir, 1996 IPCC GPG) o recomendadas (es decir, 2006 IPCC GL). Estas directrices¹⁰⁴ ofrecen unos árboles de decisión para elegir el Nivel IPCC más adecuado para cada uno de los reservorios. Los árboles de decisión proporcionan un marco flexible para la elección de los Niveles para cada uno de los reservorios y consisten en la definición de los reservorios prioritarios teniendo en cuenta la disponibilidad de datos, la significancia del reservorio y las capacidades nacionales. IPCC requiere el alcanzar al menos un Nivel 2 o más alto para los reservorios significativos, mientras que el Nivel 1 es suficiente en el caso de los reservorios no significativos.

El MF-FCPF¹⁰⁵ y el VCS-JNR¹⁰⁶ sin embargo requieren de manera explícita al menos un Nivel 2 para los factores de emisión, lo que significa que los factores de emisión deben basarse en datos específicos del país o de la región y no basarse en valores por defecto del IPCC. MF-FCPF admite la utilización del Nivel 1 solamente en casos excepcionales⁷⁸. VCS-JNR va más allá al exigir que valores por defecto obtenidos de la literatura (es decir, los derivados del IPCC y de la literatura científica) pueden ser utilizados únicamente en reservorios que representan menos del 15% de las existencias de carbono¹⁰⁷. Esto significa más flexibilidad por una parte, ya que se podrían utilizar valores del IPCC, pero por otra menos ya que no se podrían utilizar valores de literatura científica obtenidos localmente.

Por tanto, para cumplir con todos los requerimientos, se debe cumplir con lo siguiente:

- Un Nivel 2 (usando datos específicos del país o de la región) en el caso de los reservorios significativos (= que representan >10% de las emisiones totales de origen forestal);
- Valores por defectos obtenidos de la literatura (es decir, los derivados del IPCC y de literatura científica) sólo pueden ser utilizados si el reservorio de carbono representa <15% de las existencias de carbono totales.

Los requerimientos relativos al Nivel IPCC de los diferentes marcos metodológicos considerados se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 10. Resumen de los requerimientos de los distintos marcos metodológicos en relación con los niveles de IPCC: 2006 IPCC GL, MF-FCPF y VCS-JNR.

Marco metodológico	Criterios
2006 IPCC GL	✓ Los reservorios no significativos (que representan <25-30% de las emisiones totales dentro de la categoría) pueden alcanzar un Nivel 1.

¹⁰⁴ Capítulo 2 – Volumen 4 - 2006 IPCC GL

¹⁰⁵ Indicador 14.3 de MF-FCPF, ya que indica que el MRV y el FREL deben utilizar métodos comparables (c.f. Indicador 14.1), se entiende que este requerimiento aplicable al MRV es también es aplicable al FREL.

¹⁰⁶ Sección 3.14.9 (2), VCS-JNR, versión 3.2.

¹⁰⁷ Sección 3.11.10 (4), VCS-JNR, versión 3.2.

Marco metodológico	Criterios
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Los reservorios significativos (que representan >25-30% de las emisiones totales dentro de la categoría) deben alcanzar al menos un Nivel 2.
MF-FCPF	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Los reservorios significativos (que representan >10% de las emisiones totales de origen forestal) deben alcanzar al menos un Nivel 2. ✓ El Nivel 1 se podrá utilizar en casos excepcionales.
VCS JNR	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Los reservorios significativos (que representan >10% de las emisiones totales de origen forestal) deben alcanzar al menos un Nivel 2. ✓ Los valores por defecto obtenidos de la literatura (es decir, los derivados del IPCC y de literatura científica) puedan ser utilizados únicamente en reservorios que representan <15% de los stocks de carbono totales.

5.1.3 Enfoque para el cálculo de los factores de emisión

Las emisiones procedentes de la deforestación y de la degradación forestal pueden expresarse como emisiones brutas o como emisiones netas. Según la definición de Angelsen *et al.* (2009)¹⁰⁸, "Las emisiones netas consideran tanto los niveles de carbono de los bosques que han sido convertido como los niveles de carbono del uso de la tierra que ha reemplazado al bosque, mientras que las emisiones brutas consideran sólo el de carbono del bosque convertido". Según Verchot y Petkova (2009)¹⁰⁹ "La contabilidad basada en las emisiones brutas es más sencilla de implementar que los enfoques contables netos, pero sobreestima el impacto en la atmósfera de la deforestación evitada. La contabilidad basada en las emisiones netas proporciona la evaluación más precisa del impacto en la atmósfera de la deforestación, pero es técnicamente más compleja de implementar".

De manera similar, las remociones de emisiones por conversiones de tierras no forestales a tierras forestales también pueden contabilizarse de manera bruta o neta, dependiendo de si se omiten, o no, las existencias de carbono en el uso del suelo que precedió la aparición de un nuevo bosque en la estimación de los factores de emisión¹¹⁰.

En relación con los marcos metodológicos, el sistema a implementar de acuerdo al IPCC GL 2006 (Ch. 2) para un nivel 2 o más alto es uno de emisiones netas¹¹¹ (en el caso del COS, es siempre contabilidad neta)

¹⁰⁸ Angelsen, A., S. Brown, C. Loisel, L. Peskett, C. Streck, D. Zarin, 2009. Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD); An Options Assessment Report, Meridian Institute Report, Prepared for the Government of Norway; p.21

¹⁰⁹ Verchot, L. and E. Petkova, 2009. The State of REDD Negotiations: Consensus Points, Options for Moving Forward and Research Needs to Support the Process, A Background Document for the UN-REDD Sponsored Support to Regional Groups, CIFOR; p. 18

¹¹⁰ En este contexto vale la pena mencionar que los países que han presentado su nivel de referencia a la CMNUCC han tomado decisiones diversas en relación con el enfoque a aplicar en la estimación de los factores de emisión. Colombia, Ecuador y Brasil han aplicado un enfoque de estimación bruto, aunque Brasil, que es el único que terminó el proceso de revisión, reconoce en su *submission* que el enfoque debería ser neto. México, por su lado, adoptó un enfoque neto.

¹¹¹ Tal y como se pueden ver en las ecuaciones del Capítulo 2 del 2006 IPCC GL para tierras que pasan a otra categoría, el cálculo de emisiones y remociones considera los niveles de biomasa/carbono en la categoría de uso pre-

tanto en el caso de las tierras que permanecen en la misma categorías (ver por ejemplo la **ecuación 2.5 de IPCC GL, 2006**, Ch. 2, Sección 2.2.1, p.2.10) como en el caso de las tierras que cambiaron de categoría (ver por ejemplo la **ecuación 2.15 de IPCC GL, 2006**, Ch. 2, Sección 2.2.1.2, p.2.20)¹¹².

No obstante se debe tener en cuenta que el marco metodológico del IPCC GL 2006 proporciona métodos para contabilizar de manera exhaustiva todas las emisiones del sector AFOLU, mientras que en REDD+ la contabilización no es exhaustiva y sólo se requiere la contabilización de emisiones y absorciones relacionadas a los bosques (como se muestra en la Figura 2 y se explica con más detalle en el Anexo 2). Por tanto, y viendo como distintos países han aplicado distintos enfoques, no está claro que el considerar emisiones netas sea un requerimiento bajo la decisiones de la CP.

Los marcos metodológicos de MF-FCPF y VCS-JNR no indican explícitamente si la contabilidad debe ser bruta o neta, pero indican que deben seguirse las directrices 2006 IPCC GL¹¹³ para la estimación de los factores de emisión¹¹⁴ por lo que se podría interpretar que requieren una estimación neta. No obstante, tal y como se indicó anteriormente, se trata de una cuestión poco clara. Siguiendo el principio de conservadurismo que impera en los distintos marcos metodológicos, se entiende que habría que adoptar un enfoque de emisiones netas.

Por tanto, para cumplir con todos los requerimientos, se debe cumplir con lo siguiente:

- Los factores de emisión deben ser netos, i.e. deben calcularse considerando el contenido de carbono de los bosques antes o después de la conversión y el contenido de carbono de los usos del suelo no-forestales posteriores a la conversión a tierras no-forestales o anteriores a la conversión a tierras forestales. Por tanto se deberán obtener datos de carbono para los usos del suelo no forestales.

5.1.4 Incertidumbre

La incertidumbre de los factores de emisión es una cuestión crítica ya que estos suelen ser la principal fuente de incertidumbre en la estimación de emisiones y en la estimación de reducción de emisiones.

Los diferentes marcos metodológicos son consistentes en la necesidad de reportar las incertidumbres de los factores de emisión, pero difieren en la manera de tratar valores con incertidumbres elevadas. También, las normas no establecen las fuentes de incertidumbre a considerar, no aclarando si únicamente se debe considerar la incertidumbre ligada a un muestreo estadístico, o si también se debe considerar la incertidumbre de los modelos, de las mediciones, etc.

Mientras que las decisiones de la CP relativas a REDD+ no establecen un límite de incertidumbre, por el hecho que establecen que se debe aplicar la última versión de las directrices del IPCC - ya sean adoptadas (es decir, 1996 IPCC GPG) o recomendadas (es decir, 2006 IPCC GL) – se puede deducir que las incertidumbres deben ser estimadas y reportadas, aunque no indican cuál sería un valor máximo de incertidumbre o un objetivo de exactitud a alcanzar.

conversión y post-conversión, lo que quiere decir que el IPCC GL 2006 es un sistema de contabilidad de emisiones netas.

¹¹² Estas ecuaciones se presentan y discuten con mayor detalle en el Anexo 2.

¹¹³ Indicador 5.1, MF-FCPF.

¹¹⁴ Sección 3.11.10 (1) de VCS-JNR, versión 3.2, aunque VCS-JNR indica que las directrices 2006 IPCC GL son aplicables a todos los reservorios a excepción de la biomasa aérea.

Las directrices 2006 IPCC GL ofrecen un capítulo exclusivamente para tratar el tema de las incertidumbres¹¹⁵ y plantean el uso de dos métodos diferentes para estimar las incertidumbres: un método basado en ecuaciones de propagación de errores (Método 1) o un método utilizando simulaciones de Montecarlo (Método 2).

Los marcos metodológicos MF-FCPF y VCS-JNR establecen requerimientos adicionales. MF-FCPF requiere que las incertidumbres de los factores de emisión se cuantifiquen utilizando estándares aceptados internacionalmente y que las incertidumbres de las reducciones de emisiones se estimen utilizando el método de Montecarlo¹¹⁶. Asimismo, establece que las incertidumbres se reporten en forma de intervalos de confianza a dos lados al 90% de nivel de confianza¹¹⁷. MF-FCPF aporta además unas tablas con el fin de aplicar descuentos a las reducciones de emisión en función de la incertidumbre resultante. Estos descuentos se deberán aplicar en el momento de reporte y verificación.

Por su lado, VCS-JNR indica que las incertidumbres deben estar de acuerdo con el Estándar VCS¹¹⁸. De acuerdo a dicho estándar, la incertidumbres de las reducciones de emisión deben presentarse al 95% o 90% de nivel de confianza, y el nivel de incertidumbre total máximo es del 30% o 20% respectivamente (i.e. 15% y 10% del margen de error relativo)¹¹⁹. En el caso en que se exceda este valor, el estimador deberá ser corregido con el fin de que éste esté dentro de los niveles exigidos de incertidumbre. La incertidumbre deberá estimarse siguiendo métodos estadísticos reconocidos tal y como las directrices del IPCC.

Por tanto, para cumplir con todos los requerimientos, se debe cumplir con lo siguiente:

- Se deberá estimar la incertidumbre de los factores de emisión siguiendo las directrices del IPCC (Capítulo 2 del Volumen 1 del 2006 IPCC) y, en particular, la propagación de errores en los estimados de reducción de emisiones deberá seguir el Método 2 (Método de Montecarlo).
- La incertidumbre de las reducciones de emisión se deberá presentar como intervalos de confianza de dos lados al 90% de confianza.
- Únicamente para el VCS, los factores de emisión deberán corregirse si el margen de error relativo es mayor del 10%.

5.1.5 Calidad de los datos

VCS-JNR tiene además los siguientes requerimientos específicos en cuanto a la calidad de los datos¹²⁰:

- Los factores de emisión para la biomasa aérea se deben obtener por medio de mediciones directas con incertidumbre cuantificada;
- Los datos de inventario existentes pueden ser utilizados siempre y cuando se pueda demostrar que los datos son exactos y representativos de los estratos existentes dentro de la jurisdicción;
- Las mediciones de campo utilizadas para calcular los niveles de carbono se han recogido en los 10 años anteriores al inicio de la fecha de inicio del programa;

¹¹⁵ Volumen 1 – Capítulo 2 del 2006 IPCC GL.

¹¹⁶ Indicador 9.1 y 9.2, MF-FCPF.

¹¹⁷ Indicador 9.2, MF-FCPF.

¹¹⁸ Sección 3.14.12 (4) de VCS-JNR, versión 3.2.

¹¹⁹ Sección 4.1.4, VCS Standard, versión 3.5.

¹²⁰ Sección 3.11.10, VCS JNR, versión 3.2.

Si se requiere un nivel de referencia compatible con VCS-JNR se deberá cumplir también con estos requerimientos.

5.1.6 Resumen de requerimientos

A continuación se presenta el resumen de los requerimientos:

Tabla 11. Resumen de los requerimientos relativos a factores de emisión.

Especificación	Requerimiento
Reservorios significativos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se deben estimar los reservorios relevantes de entre los siguientes: biomasa arbórea aérea (BARA), biomasa no arbórea aérea (BNAA), biomasa arbórea subterránea (BARS), biomasa no arbórea subterránea (BNAS), madera muerta (MM), hojarasca (H), carbono orgánico del suelo (COS) y productos de madera (PM). 2. Los reservorios no significativos son aquellos que representan menos del 10% de las emisiones totales de origen forestal y sólo estos pueden ser excluidos, o los cuya exclusión es conservadora desde el punto de vista de la reducción de emisiones.
Nivel IPCC	<ol style="list-style-type: none"> 3. Un Nivel 2 (usando datos específicos del país o de la región) debe ser alcanzado en los reservorios que sean significativos (que representan >10% de las emisiones totales de origen forestal). 4. Valores por defecto obtenidos de la literatura (es decir, los derivados del IPCC y literatura científica) sólo pueden ser utilizados si el reservorio de carbono representa menos del 15% de las existencias de carbono totales.
Método de cálculo de los factores de emisión	<ol style="list-style-type: none"> 5. Los factores de emisión deben ser netos, i.e. deben tener en cuenta las existencias de carbono de ambas categorías (antes y después del cambio de uso del suelo). Por tanto, se deberán obtener datos de usos de suelo no forestales.
Incertidumbres	<ol style="list-style-type: none"> 6. Se deberá estimar la incertidumbre de los factores de emisión siguiendo las directrices del IPCC (Capítulo 2 del Volumen 1 del 2006 IPCC) y, en particular, la propagación de errores en los estimados de reducción de emisiones deberá seguir el Método 2 (Método de Montecarlo). 7. La incertidumbre de las reducciones de emisión se deberá presentar como intervalos de confianza de dos lados al 90% de confianza. 8. Únicamente para el VCS, los factores de emisión deberán corregirse si el margen de error relativo es mayor del 10% al 90% de nivel de confianza.
Calidad de los datos	<ol style="list-style-type: none"> 9. Si se quiere cumplir con VCS-JNR, el contenido de carbono en la biomasa arbórea debe: <ol style="list-style-type: none"> a. haber sido estimado por medio de mediciones directas en campo; b. haberse obtenido en los últimos 10 años (desde el inicio del programa) y ; c. ser exacto y representativo de los estratos de la jurisdicción.

5.2 Método empleado para estimar los factores de emisión

Los factores de emisión y absorción ($FE_{i,t}$) se estimaron para cada sub-categoría (i) de las 6 categorías (LU) del IPCC para cada año (t) de la serie histórica y para cada año futuro (hasta el 2023). En efecto, debido al crecimiento no-lineal de los bosques nuevos, los factores de absorción varían de un año a otro.

Como se muestra en la ecuación Ec.2 en el Anexo 2, los factores de emisión y absorción (en adelante se usará solo el término “emisión” para referirse a ambos) se estimaron como la suma de dos componentes: el cambio de existencia de carbono (ΔC) (componente 1) y las emisiones de gases no CO_2 ($ENCO_2$) que ocurren en algunas conversiones de categorías de tierras (componente 2). Con la excepción del caso de las tierras forestales convertidas a otras categorías de uso del suelo (i.e. en el caso de la “deforestación”), el componente 2 se consideró igual a cero en todas las categorías incluidas en el nivel de referencia.

El método que se utilizó para estimar el componente 1 de los factores de emisión, i.e. los cambios de existencias de carbono (ΔC), es el método de IPCC llamado “cambios de existencias de carbono” (“*stock-change method*”). Como se explica con más detalle en el Anexo 2, este método fue aplicado tanto al caso de las tierras que permanecen en la misma categoría como al caso de las tierras que cambiaron de categoría. El segundo componente de los factores de emisión ($ENCO_2$), que es el componente relacionados a las emisiones de gases no- CO_2 por quema de biomasa, se estimó con los métodos que se describen más adelante, en la sección 5.4.

En la herramienta “FREL TOOL CR v.1” el cálculo de los factores de emisión se implementó en las celdas de las matrices que aparecen en las hojas “FE AAAA” (donde AAAA indica el año). A cada una de estas celdas se le asignó un factor de emisión calculado como la existencia de carbono promedio por hectárea estimada para la categoría o sub-categoría de uso del suelo existente antes de la transición o cambio de categoría menos la existencia de carbono promedio por hectárea estimada para la categoría o sub-categoría existente después de la transición o cambio de categoría¹²¹ más, en el caso de las conversiones de “bosque” a “no-bosque”, las emisiones de gases no- CO_2 causadas por la quema de biomasa.

En las hojas “FE AAAA”, los valores de existencia de carbono en la categoría o sub-categoría de uso del suelo existente antes de la transición se reportan en la columna “N” y los valores de existencia de carbono en la categoría o sub-categoría de uso del suelo existente después de la transición en la fila 15, excepto en el caso de conversiones de tierras no-forestales a tierras forestales, en cuyo caso el valor de existencia de carbono en la sub-categoría de uso del suelo existente después de la conversión se reporta en la fila 14.

Por razones de espacio no es posible reportar aquí los factores de emisión calculados para todas las transiciones en todos los años. Sin embargo, los mismos pueden revisarse en las hojas “FE AAAA” de “FREL TOOL CR v.1”. Cabe notar que en esta herramienta los factores de emisión para los años de implementación del programa de reducción de emisiones ya están calculados hasta el año 2023, lo cual asegura que los resultados del programa de reducción de emisiones serán consistentes con el nivel de referencia.

Para las diferentes actividades REDD+ incluidas en el nivel de referencia, los cambios de existencias de carbono se calcularon de la siguiente manera:

- **En conversiones de áreas de bosque a categorías de no-bosque** el factor de emisión se calculó asumiendo, por un lado, oxidación inmediata del 100% del carbono almacenado en los bosques, excepto por la fracción de la biomasa arbórea aérea transferida a productos de madera de larga vida y, por el otro, acumulación de carbono equivalente al primer año de crecimiento en las categorías de uso del suelo post-deforestación.

En conversiones de bosque a categorías de no bosque se asumió, además, la quema de la biomasa viva y muerta no extraída en forma de productos de madera. La práctica de tumba, roza y quema era común en Costa Rica como en muchos otros países. Sin embargo, después de la adopción de la Ley Forestal 7575 en 1997 esta práctica ha venido disminuyendo considerablemente. Por esta razón, se consultó a los expertos del IMN para estimar, para cada período histórico analizado, un porcentaje conservador de las áreas de bosques convertidas a categorías de no-bosque en las

¹²¹ De esta manera se cumple con el requerimiento 5 de la Tabla 11.

cuales se considera que la conversión involucró la quema de biomasa. Los porcentajes aplicados fueron los siguientes (ver también la hoja “DECISIONES” de “FREL TOOL CR v.1”):

- Período 1986-1991: 100%
 - Período 1992-1997: 100%
 - Período 1998-2000: 50%
 - Período 2001-2007: 25%
 - Período 2008-2011: 25%
 - Período 2012-2013: 25%
- **En conversiones de categorías de no-bosque a bosque nuevo** el factor de emisión se calculó asumiendo, por un lado, oxidación inmediata del 100% del carbono almacenado en las categorías de no bosque, excepto en los casos de pastizales y cultivos permanentes - donde se asumió que la biomasa arbórea existente en dichas categorías permanece aún después de la conversión - y, por el otro, acumulación inmediata del contenido de carbono estimado para los bosques nuevos a la edad mínima en que estos bosques pueden detectarse en las imágenes de satélite (8 años para los “Bosques secos” y 4 años para los demás tipos de bosque).
En este tipo de conversiones no se asumió quema de biomasa.
 - **En cambios de existencias de carbono en categorías de bosque nuevo que permanece bosque nuevo** el factor de remoción (o captura de carbono) se calculó asumiendo un año de crecimiento, utilizando los modelos desarrollados por de Cifuentes (2008)¹²².
 - **En el caso de bosques primarios que permanecieron bosques primarios** se asumió que el contenido de carbono de estos bosques no cambia.

Los factores de emisión se estimaron:

- A un Nivel 2 (usando datos específicos del país o de la región) en el caso de los reservorios significativos (= que representan >10% de las emisiones totales de origen forestal);
- Utilizando valores por defecto obtenidos de la literatura (es decir, los derivados del IPCC y de literatura científica) sólo en algunos casos en los cuales el reservorio de carbono representa menos del 15% de las existencias de carbono totales y para las categorías para las cuales no se pudieron obtener datos nacionales.

¹²² Cifuentes, M., 2008. Aboveground Biomass and Ecosystem Carbon Pools in Tropical Secondary Forests Growing in Six Life Zones of Costa Rica. Oregon State University. School of Environmental Sciences. 2008. 195 p.

Tabla 12. Tier aplicado en cada uno de los reservorios de carbono

Acrónimo en español	Acrónimo en inglés	Reservorio Carbono		Nivel (Tier)
BARA	AB.t	Biomasa aérea	arbórea	Tier 2
BNAA	AB.nt	Biomasa aérea	no-arbórea	Tier 2
BARS	BB.t	Biomasa subterránea	arbórea	Tier 1
BNAS	BB.nt	Biomasa subterránea	no-arbórea	Tier 1
MM	DW	Madera Muerta		Tier 2
H	LI	Hojarasca		Tier 2
COS	SOC	Carbono orgánico del suelo		Tier 2 (excluido)
PM.F1	HWP.F1	Productos de madera cosechados	Fracción 1	Tier 1/Tier 2 (uso de valores de media vida del IPCC)
PM.F2	HWP.F2	Productos de madera cosechados	Fracción 2	Tier 1/Tier 2 (uso de valores de media vida del IPCC)
PM.F3	HWP.F3	Productos de madera cosechados	Fracción 3	Tier 1/Tier 2 (uso de valores de media vida del IPCC)
PM.F4	HWP.F4	Productos de madera cosechados	Fracción 4	Tier 1/Tier 2 (uso de valores de media vida del IPCC)

Los métodos para calcular los factores de emisión arriba descritos son consistentes con el “Método 3”, descrito en el recuadro 2, que es el método de IPCC para el nivel 2 o más alto de exactitud (“Tier 2” o más alto).

Recuadro 2. Métodos para estimar cambios de existencias de carbono.

La herramienta “FREL TOOL CR v.1” fue diseñada para servir a múltiples propósitos. El propósito principal de la herramienta es calcular el nivel de referencia y los resultados del programa de reducción de emisiones de una manera transparente y consistente. Otro propósito es ofrecerle al Gobierno de Costa Rica una herramienta de soporte a la toma de decisiones que le permitiera analizar diversos escenarios relacionadas al nivel de referencia variando: la selección de reservorios de carbono, gases y actividades REDD+ incluías en el nivel de referencia; las fechas de inicio y fin del período histórico de referencia; y el método de cálculo de los factores de emisión, entre otros parámetros. Por eso, la herramienta “FREL TOOL CR v.1” contiene una hoja llamada “DECISIONES”, donde justamente se pueden escoger diferentes opciones para diferentes tipos de parámetros seleccionando los valores deseados que aparecen en listas desplegables al hacer “click”-izquierdo en cualquiera de las celdas de color amarillo claro que aparecen en esta hoja.

El método de cálculo de los factores de emisión, o – mejor dicho - del componente de cambio de existencias de carbono (ΔC) de los factores de emisión, se define en la celda B48 de la hoja “DECISIONES” seleccionando uno de los tres siguientes métodos:

Método 1 (equivalente al método “Tier 1” del IPCC)

Al seleccionar este método, los cambios de existencia de carbono relacionados a las diferentes actividades REDD+ se calculan de la siguiente manera:

- Deforestación: Oxidación inmediata del 100% de las existencias de carbono en los reservorios de los bosques (excepto la porción de biomasa arbórea aérea convertida en productos de madera de larga

duración, la cual se asume no se oxida) y supuesto de cero carbono en las categorías de uso del suelo post-deforestación. Este método corresponde al enfoque “factores de emisión brutos” y es él que resulta en las estimaciones menos conservadoras de las emisiones por deforestación¹²³.

- Aumento de existencias de carbono forestal en bosques nuevos existentes (tierras forestales que permanecen tierras forestales): Existencia de carbono en el bosque al principio del año menos existencia de carbono en el bosque al final del año.
- Aumento de existencias de carbono en tierras convertidas a bosques nuevos (tierras convertidas a tierras forestales): Oxidación inmediata del 100% de las existencias de carbono en las categorías existentes al principio del año (excepto en el caso de pastizales y cultivos permanentes) y acumulación inmediata del 100% de las existencias de carbono en el bosque nuevo existente al final del año, asignando a la categoría “bosque” el contenido de carbono que corresponde a la edad mínima a la cual el bosque nuevo es detectable en imágenes Landsat según la opinión de los expertos del IMN (8 años en el caso de los “Bosques secos” y 4 años en los demás tipos de bosque). En conversiones de “Pastizales” y “Cultivos permanentes” a “Bosques nuevos” se asume, además, que la biomasa arbórea aérea de los pastizales y cultivos permanentes no se oxida, considerándose, según la opinión de los expertos del IMN, que en la mayoría de los casos los árboles presentes en pastizales y cultivos permanentes no son eliminados cuando éstos se convierten a bosques secundarios.

Método 2 (equivalente al método que VCS permitirá utilizar en su próxima edición de los requerimientos JNR, según las conversaciones actualmente en curso sobre la nueva edición¹²⁴):

- Deforestación: Oxidación inmediata del 100% de las existencias de carbono en los reservorios de los bosques (excepto la porción de biomasa arbórea aérea convertida en productos de madera de larga duración, la cual se asume no se oxida) y supuesto de acumulación inmediata del 100% de las existencias de carbono promedio de largo plazo en las categorías de uso del suelo post-deforestación. Algunos expertos (Winrock International) denominan este método “*committed emissions and committed sequestration*” (factores de emisión netos). Este es el método que resulta en los estimados más conservadores de las emisiones por deforestación.
- Aumento de existencias de carbono forestal en bosques nuevos existentes: igual al Método 1.
- Aumento de existencias de carbono en tierras convertidas a bosques nuevos: igual al Método 1.

Método 3 (equivalente al método de IPCC para un Nivel 2 o más alto):

- Deforestación: Oxidación inmediata del 100% de las existencias de carbono en los reservorios de los bosques (excepto la porción de biomasa arbórea aérea convertida en productos de madera de larga duración, la cual se asume no se oxida)¹²⁵ y acumulación de carbono correspondiente al primer año de crecimiento en la categoría de uso del suelo post-deforestación. Este método es el método que utiliza

¹²³ Cabe señalar que este es el método que más países han utilizado en la construcción de sus niveles de referencia de emisiones por deforestación (presentados a la CMNCC), sin descontar, además, la porción de biomasa arbórea aérea que se convierte en productos de madera en el cálculo de los factores de emisión.

¹²⁴ Comunicación personal de Naomi Swickard.

¹²⁵ Esta es la opción más simple que se podría calificar de “Nivel 2”, pues para este nivel y los niveles más alto de exactitud el IPCC recomienda considerar también otros tipos de transferencias de carbono entre reservorios, por ejemplo de la biomasa viva, tanto aérea como subterránea, a la biomasa muerta, que no siempre se oxida de inmediato, sino que puede decaer lentamente, generando emisiones durante varios años y hasta décadas.

el inventario nacional de GEI para reportar emisiones de tierras forestales convertidas a otras categorías.

- Aumento de existencias de carbono forestal en bosques nuevos existentes: igual al Método 1.
- Aumento de existencias de carbono en tierras convertidas a bosques nuevos: igual al Método 1.

Considerando los requerimientos de los marcos metodológicos y el criterio de consistencia con el INGEI, para la construcción del nivel de referencia se optó por aplicar el Método 3.

5.3 Datos utilizados para estimar las existencias de carbono

Tal y como indican las directrices del IPCC GL (2006) en sus árboles de decisión¹²⁶, antes de recoger datos de algún reservorio de carbono es preciso comprobar si ya existen datos y si estos están conformes a la calidad deseada y si se pueden utilizar para los fines definidos.

Durante el desarrollo de la consultoría se pudo constatar que los trabajos de campo del Inventario Forestal Nacional (IFN) de Costa Rica habían finalizado, no obstante no fue posible utilizarlos de manera exclusiva para determinar los factores de emisión y se tuvo que complementar con datos obtenidos de otras fuentes del país.

Dichos datos fueron recibidos por el SINAC quien gentilmente facilitó a los autores de este informe una base de datos en Excel¹²⁷ con datos ya parcialmente procesados, de los cuales se pudieron derivar estimados de existencias de carbono por reservorio y parcela. Dichos datos se procesaron y se concluyó que dichos datos tenían que ser complementados por datos de otras fuentes por las siguientes razones:

- a. Falta de datos para algunas categorías: El INF no aporta datos de existencias de carbono para algunas de las categorías del INGEI, con el cual el nivel de referencia REDD+ debe mantener consistencia según varias decisiones de la CP relacionadas a REDD+. Por ejemplo, el INF no aporta datos de existencias de carbono para las categorías del IPCC que no son tierras forestales. Otro ejemplo es que no aporta datos de existencias de carbono para distintas clases de edad de los bosques nuevos, sin las cuales no es posible construir un nivel de referencia para la actividad “aumento de existencias de carbono forestal” en tierras forestales que permanecen tierras forestales.
- b. Base de dato incompleta: Aunque la Figura 1 en el Anexo 4, extraída del manual de inventario, indica que se iban a medir 532 parcelas, al momento de construir el nivel de referencia únicamente estaban disponibles los datos de 289 parcelas, por lo que se asumió que la base de datos estaba todavía incompleta.
- b. Documentación incompleta: En los meses en que se trabajó en la construcción del nivel de referencia no se pudo acceder a información y documentación completa relacionada con la metodología empleada por el inventario forestal y los datos proporcionados, ya que los mismos se encontraban aún en desarrollo y revisión;

¹²⁶ Capítulo 1 – Volumen 4 – 2006 IPCC, Figura 2.2, p. 2.15.

¹²⁷ Como se mencionó en la sección 3.6 de este informe, la base de datos del INF se obtuvo del SINAC después de firmar dos cartas de confidencialidad, razón por la cual los autores de este informe no están autorizados para distribuirla y publicarla. La razón de la confidencialidad es que al momento de construir el nivel de referencia los datos del INF estaban aún siendo analizados y aún no existía una publicación de los mismos.

- c. Datos no publicados: A la fecha de preparación del nivel de referencia los datos del IFN no estaban aún publicados oficialmente, con lo que se entiende que estaban aún en proceso de revisión y validación interna.

Después de evaluar los datos del INF puestos a disposición por el SINAC, y considerar sus características, al momento de realizar las estimaciones de los factores de emisión se decidió que era necesario buscar datos adicionales para complementar la información del INF.

Siguiendo las directrices del IPCC, se realizó una meta-análisis de estudios ya realizados sobre biomasa y densidades de carbono con el fin de analizar si existe información suficiente para completar los datos del IFN. Esta meta-análisis confirmó que los datos disponibles pueden utilizarse para los objetivos definidos y por tanto los mismos se utilizaron tanto para la construcción del nivel de referencia como para la actualización de los INGEI y la preparación del INDC de Costa Rica en el sector forestal. No obstante, se recomienda que una vez se tengan los datos oficiales y validados del IFN, se actualicen los factores de emisión.

5.3.1 Definición de límites del análisis

Antes de comenzar la meta-análisis se definieron los límites de la misma de la siguiente manera:

Límites geográficos

Únicamente se consideran datos de Costa Rica, ya que para alcanzar un Nivel 2 del IPCC se deben usar datos específicos del país o de la región. Esto asegura el cumplimiento de los requerimientos número 3 y 4 mostrados en la Tabla 11 ya que en todos los casos se procuró obtener datos nacionales con el fin de alcanzar el Nivel 2. Aunque parte de estos valores se basen en valores obtenidos de literatura científica, un número suficiente de fuentes asegura el cumplimiento del requerimiento 4, ya que no se utilizaron valores de una única fuente.

Categorías de uso del suelo

El sistema de clasificación se presentó en la sección 4.9 de este informe. Sin embargo, conforme a los objetivos iniciales del estudio, se procuró coleccionar datos relativos a categorías que finalmente no se incluyeron en los MCS y en las matrices de cambio de uso, tales como los bosques con manejo forestal y las plantaciones forestales. Los datos coleccionados podrán servir en la eventualidad de una futura actualización del nivel de referencia y aparecen en la hoja "CARBONO" de la herramienta "FREL TOOL CR v.1" (excepto por el caso de las plantaciones forestales).

La búsqueda de datos de carbono para todas las categorías aseguró el cumplimiento del requerimiento número 5 mostrado en la Tabla 11, ya que se obtuvieron datos para las categorías de uso del suelo no forestales, los cuales eran necesarios para poder estimar factores de emisión netos, como se explicó en la sección 5.2 de este informe.

Por otra parte, el nivel de desagregación por estrato de bosques, considerando que se pudo encontrar un número suficiente de fuentes y datos, y teniendo en cuenta que la base principal de los valores para bosques son los datos del IFN que están distribuidos por todo el país, aseguró el cumplimiento del requerimiento 9.c mostrado en la Tabla 11, ya que estos valores son representativos para el país.

Cabe mencionar que aunque los bosques secundarios se incluyeron en el alcance de la meta-análisis, los datos encontrados no se usaron porque éstos no se referían a edades específicas, así que se decidió emplear modelos de acumulación de biomasa en función de la edad calibrados en 54 parcelas medidas en Costa Rica en una crono-secuencia de parcelas con edad conocida (más detalles sobre estos modelos en la sección 5.3.3).

Aunque las plantaciones se incluyeron en el alcance de la meta meta-análisis, debido a la inexistencia de datos de actividad confiables, los datos encontrados no se usaron. Por otra parte, las plantaciones tenían el mismo problema que los bosques secundarios ya que son bosques con existencias de carbono que cambian con el tiempo, y muchos de los datos colectados no especificaban la edad de referencia.

Reservorios de carbono

Siguiendo los requerimientos de los marcos metodológicos se definieron los reservorios de carbono para los cuales se necesitaba encontrar información de carbono. El sistema de clasificación de los reservorios viene resumido en la siguiente tabla con sus distintos niveles de desagregación. El reservorio de productos de madera (PM) se desagregó en las cuatro fracciones definidas en las Guías de Buenas Prácticas del Sector de Uso de la Tierra, de Cambios del Uso de la Tierra y Bosques del IPCC (2003 IPCC LULUCF GPG en sus siglas en inglés) según su vida media¹²⁸, i.e. productos de corta duración (2 años de mitad de vida), productos de media duración (20 años de mitad de vida), productos de larga duración (30 años de mitad de vida) y productos de muy larga duración (35 años de mitad de vida). Esto asegura el cumplimiento del requerimiento número 1 mostrado en la Tabla 11.

Tabla 13. Reservorios de carbono considerados *a priori* para la búsqueda de datos del país.

Acrónimo en español	Acrónimo en inglés	Reservorio Carbono	
BARA	AB.t	Biomasa aérea	arbórea
BNAA	AB.nt	Biomasa aérea	no-arbórea
BARS	BB.t	Biomasa subterránea	arbórea
BNAS	BB.nt	Biomasa subterránea	no-arbórea
BART	TB.t	Biomasa total	arbórea
BNAT	TB.nt	Biomasa total	no-arbórea
MMP	DW.s	Madera Muerta	en pie
MMC	DW.l	Madera Muerta	caída
MMS	DW.bg	Madera Muerta	subterránea
MM	DW	Madera Muerta	
H	LI	Hojasca	
MOM	DOM	Materia Orgánica Muerta	
COS	SOC	Carbono orgánico del suelo	
PM.F1	HWP.F1	Productos de madera cosechados	Fracción 1
PM.F2	HWP.F2	Productos de madera cosechados	Fracción 2
PM.F3	HWP.F3	Productos de madera cosechados	Fracción 3
PM.F4	HWP.F4	Productos de madera cosechados	Fracción 4

Tipos de referencias

Con el fin de concentrar el análisis, se incluyó en el análisis toda la literatura que contuviese datos de carbono, biomasa o datos biométricos de los reservorios y usos del suelo listados en la Tabla 13. Únicamente se consideraron publicaciones que presentaran valores obtenidos a partir de mediciones directas en campo. Esto asegura el cumplimiento del requerimiento número 9.a mostrado en la Tabla 11.

¹²⁸ Los valores por defecto indicados en la Tabla 3a.1.3 del 2003 IPCC LULUCF Guías de Buenas Prácticas de sector de Uso de la Tierra, de cambios del uso de la tierra y bosques.

Por otra parte, una vez que se obtuvieron los datos, se intentó en todos casos obtener los datos brutos de campo (fuente primaria) con el fin de confirmar los valores reportados e intentar obtener mejores estimaciones acordes con los objetivos del estudio.

5.3.2 Revisión de literatura

Se realizó una revisión bibliográfica de todos los datos de densidades de carbono dentro de los límites anteriores, a excepción de los reservorios de los productos de madera. Los datos se buscaron en las siguientes fuentes:

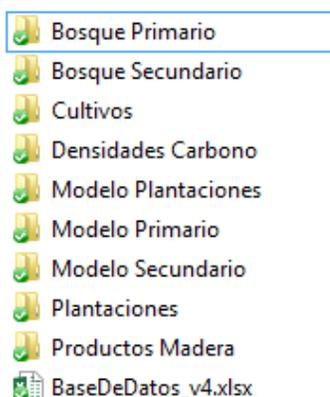
- Internet: Se realizaron búsquedas de publicaciones y otros datos disponibles.
- Bibliotecas: Se realizaron búsquedas en los buscadores en línea de las principales bibliotecas del país.
- Biblioteca Conmemorativa ORTON IICA/CATIE y CATIE: Se buscó en los archivos del CATIE y contactando con los científicos ahí basados con el fin de obtener datos primarios o secundarios.
- Contacto con instituciones: FONAFIFO, IMN, SINAC, ITCR, UICN, CATIE y ONF fueron contactadas con el fin de obtener datos primarios o secundarios.

Una vez obtenidos los datos se procedió a analizarlos y compilarlos en una base de datos. Para este fin se creó una base de datos al efecto en Excel (c.f. "BaseDeDatos_v1") con los campos necesarios, la cual puede descargarse desde www.fonafifo.go.cr.

El análisis se realizó en dos fases distintas:

1. Análisis previo de referencias: Este análisis previo consistió en la lectura de cada una de las referencias para confirmar qué tipo de datos podría suministrar. Todas las publicaciones analizadas en esta primera fase se encuentran listadas en la hoja "1.Referencias" de la base de datos "BaseDeDatos_v1". En el caso en que la publicación diese densidades de carbono y estuviese dentro de los límites definidos anteriormente, y si estos datos no estuviesen ya incorporados a través de otras publicaciones, se procedió a incorporar los datos en la base de datos. En el caso en que el valor hubiese sido incorporado en la base de datos se indicó en la columna "Entrada en base de datos" con un "SI", guardando la publicación en la carpeta "Densidades Carbono". En el caso de datos de densidades de carbono para plantaciones forestales o bosques secundarios, éstos no se consideraron en la base de datos ya que para estos tipos de bosque se pensó en que era mejor la aplicación de un modelo dinámico, ya que desagregar los datos por clases de edad hacía el análisis bastante complejo. En el caso en que la referencia proporcionara datos relevantes sobre plantaciones forestales, bosques secundarios, o manejo de bosque primario se procedió a indicarlo en las columnas "Aplicabilidad de Datos (carpeta donde se almacena)" o "Aplicabilidad de Datos 2 (carpeta donde se almacena)" y el documento se almacenó en una carpeta hecha al efecto. La estructura de carpetas donde se guardaron las referencias se indica en la figura siguiente :

Figura 10. Organización de carpetas de la base de datos dónde se han almacenado las distintas referencias identificadas durante la meta-análisis. Las carpetas con las publicaciones de la meta-análisis son únicamente Bosque primario, Modelo plantaciones, Modelo Primario, Modelo Secundario.



2. Incorporación en base de datos: Las publicaciones que aportaban datos de existencias de carbono se incorporaron dentro de una hoja específica “2.BaseDeDatos” (c.f. Columna “Valor medio (t C/ha)”). En el caso en que la publicación diese datos de biomasa, esta se apuntó en la base de datos (c.f. “Valor medio (t d.m./ha)”) y la densidad de carbono se estimó multiplicando por el valor de la fracción de carbono (*CF*) del IPCC, que es 0.47. Igualmente, se incluyeron todos los datos relevantes de la publicación como la categoría de uso de suelo, otros datos de clasificación del uso del suelo, el reservorio de carbono, el número de unidades de muestreo, el tamaño de unidades de muestreo, y otros meta-datos (e.g. ecuación alométrica empleada en el caso de BARA, profundidad de muestreo en el caso del COS, etc.). En el caso en que se aportaran incertidumbres, estas se incluyeron en la base de datos. No obstante, debido a la gran heterogeneidad en la presentación de incertidumbres (i.e. desviación típica, errores estándar, etc.), éstas se homogeneizaron y se presentaron en forma de errores al 95% de nivel de confianza¹²⁹ con la siguiente ecuación que asume que la distribución de los datos es normal:

$$E_{95\%,i} = 2 \times \frac{SD_i}{\sqrt{n_i}} = 2 \times SE_i \quad (\text{Ec.2})$$

Donde:

$E_{95\%,i}$ Margen de error al 95% de nivel de confianza de la referencia *i*, tC ha⁻¹;

SD_i Desviación típica de la muestra dado por la referencia *i*, tC ha⁻¹;

n_i Número de muestras dado por la referencia *i*, número;

SE_i Error estándar de la media muestral dado por la referencia *i*, tC ha⁻¹;

En total, en la fase 1 se recopilieron un total de 116 referencias con datos sobre carbono y biomasa. De éstas, 39 resultaron en entradas en la base de datos ya que contenían datos de densidades de carbono.

¹²⁹ Como se explicará más adelante, con el fin de atender al requerimiento 7 de la Tabla 11, estos valores se transformaron posteriormente a valores al 90% de nivel de confianza.

Tabla 14. Estadísticas de referencias analizadas y referencias con entrada en la base de datos.

Entrada Base de datos	Año publicación												Total
	<2006	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	-	
NO	32	6	2	10	5	6	2	4	4	3	1	2	77
SI	8	1	2	7	2	2	4	5	4	4			39
Total	40	7	4	17	7	8	6	9	8	7	1	2	116

5.3.3 Resultados de la meta-análisis

Número y calidad de las referencias encontradas

Una vez compilados los datos para los distintos usos del suelo y reservorios de carbono, el resultado fue un total de 462 entradas en la base de datos, o valores de distintos reservorios de carbono entrados, de los cuales 34 corresponden a datos extraídos de la base de datos del INF. Con el fin de cumplir con el requerimiento 9.b de la Tabla 11, se procedió a filtrar todos los valores que fueron más antiguos del año 2005, con lo que el número de entradas quedó reducido.

En el caso de los bosques, el número total de entradas quedó reducido a 184, siendo de éstos, un total de 89 entradas corresponden a entradas de BARA para bosques. Es importante indicar que en general los datos de BNAA, en el caso de existir, se encuentran ya incorporados en el BARA, mientras que no existen datos de BNAS. Esto no supone un problema ya que en el caso de los bosques del país, la biomasa no-arbórea no supone una cantidad muy significativa, mientras que para las categorías de no-bosque este reservorio sí es relevante.

Otra conclusión a la que se llegó tras este análisis es que no existen muchos datos de los bosques primarios con manejo forestal para la mayoría de reservorios de carbono, y que no existen datos para Bosques secos, Manglares y Bosques de Palma (“Yolillales”) manejados, probablemente porque no hay ninguno de este tipo de bosques bajo manejo.

Tabla 15. Estadísticas de entradas en la base de datos por tipo de bosque y reservorio de carbono. El tipo de bosque incluye únicamente referencias de bosques primarios.

Categoría		BARA	BARS	BNAA	BNAT ⁽¹⁾	COS	H	MMC	MMP	MM ⁽²⁾	Total
Bosques muy húmedos y pluviales	con m.f.	17									17
	sin m.f.	17	6			5	5	5	3	5	46
Bosques húmedos	con m.f.	31									31
	sin m.f.	15	1			4	4	4	3	4	35
Bosques secos	sin m.f.	2	1			2	2	2	1	2	12
Manglares	-	6	2	1	4	7	5	6		6	37
Bosques de palma	-	1	1			1	1	1		1	6
Total		89	11	1	4	19	17	18	7	18	184

Notas:

m.f. = manejo forestal

(1) En el caso en que la biomasa aérea y subterránea viniese agregada se creó una nueva clase BNAT

(2) Muchas referencias contenían los valores del MMP y MMC agregados, con lo que se decidió crear un nuevo reservorio MM considerando todos los casos en los que hubiera MMP, MMC o MMP+MMC.

Las categorías de no-bosque suman un total de 194 entradas, siendo 4 de cultivos anuales y 100 de cultivos permanentes, y 68 de pastizales. Como se indicó anteriormente, aunque no se disponen de datos desagregados de biomasa no arbórea para los bosques, sí se disponen de datos de biomasa no arbórea en categorías de no bosque, con lo que se asegura el cumplimiento del requerimiento 1 de la Tabla 11.

Tabla 16. Estadísticas de entradas en la base de datos para categorías de no bosque y reservorio de carbono.

Categoría		BARA	BARS	BART ⁽¹⁾	BNAA	BNAS	BNAT ⁽¹⁾	COS	H	MMC	MMP	MOM ⁽²⁾	MM ⁽³⁾	Total
CULTIVOS	anuales				2			2						4
	perma- nentes	19	13		16	1		16	11	4	2	7	11	100
HUMEDALES		2	2		2			4		2			2	14
PASTIZALES	> 1000 mm	14	1	1	10	4	1	14	1	8	6		8	68
OTRAS TIERRAS	Paramo		2		2			2				2		8
Total		35	18	1	32	5	1	38	12	14	8	9	21	194

Notas:

(1) En el caso en que la biomasa aérea y subterránea viniese agregada se creó una nueva clase BART y BNAT.

(2) Algunas referencias contenían datos de materia orgánica total muerta incluyendo H y MM

(3) Muchas referencias contenían los valores del MMP y MMC agregados, con lo que se decidió crear un nuevo reservorio MM considerando todos los casos en los que hubiera MMP, MMC o MMP+MMC

Los datos obtenidos fueron procesados con el fin de obtener valores medios e incertidumbres asociadas para todos los reservorios y todas las categorías de uso del suelo. Los resultados del análisis se presentan en la hoja "3.DensidadesCarbono" de la base de datos "BaseDeDatos_v1". En dicha hoja se explican las decisiones que se tomaron para estimar los valores medios. No obstante, cabe hacer las siguientes observaciones:

- **Biomasa subterránea:** Se pudo constatar que los valores de densidades de carbono para BARS y BNAS fueron estimados a partir de los reservorios BARA y BNAA mediante la aplicación de valores por defecto y/o ecuaciones alométricas, por lo que estos reservorios no fueron analizados en la hoja "3.DensidadesCarbono".
- **Profundidad de muestreo COS:** En el caso del reservorio COS, las profundidades de muestreo diferían en gran medida, por lo que únicamente se utilizaron las densidades a profundidad 0.25-0.30 m. Esto es importante en algunos casos como en el caso de manglar ya que hay valores para densidades de carbono a profundidades de 1.00 m y 3.00 m.

La estimación de las incertidumbres para cada uno de los valores de densidades de carbono se realizó de acuerdo a los pasos siguientes:

1. Decisión del estimador aplicable para determinar existencias de carbono. Generalmente, la existencia de carbono se estimó como una media aritmética, a excepción de la existencia de

carbono de BARA para Bosques muy húmedos y pluviales, Bosques húmedos y Bosques secos, que se estimó como media ponderada utilizando la superficie muestreada como criterio de ponderación. Se tomó esta decisión únicamente para el BARA debido a que: a) el BARA es el reservorio más importante; b) existía un número suficiente de referencias; y b) la media aritmética podía causar sesgos ya que una referencia con un área muestreada muy pequeña tendría el mismo peso que una referencia con un área muestreada mucho mayor.

2. Selección de la Función de Distribución de Probabilidad (FDP) aplicable: Para la mayor parte de las referencias no se disponía de los datos brutos con lo que no era posible estimar la FDP aplicable. Asimismo, las medias e incertidumbres reportadas en todas las referencias se estimaron utilizando los estimadores de media y varianza de poblaciones normales. Por tanto se asumió que la FDP en todos los casos era de *t-student* y simétrica.
3. Propagación de incertidumbres: La propagación se realizó de acuerdo al Método 1 de propagación indicado en el Capítulo 3 – Volumen 1 del 2006 IPCC GL¹³⁰. Es decir, en el caso de una suma de dos parámetros x e y se consideró que sus incertidumbres σ_x y σ_y se combinarían con la raíz de la suma de cuadrados:

$$\sigma_{SUMA} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \quad (\text{Ec.3})$$

Donde:

- σ_{SUMA} Incertidumbre absoluta de la suma de dos parámetros expresada como el intervalo de confianza al 95%;
- σ_x Incertidumbre absoluta del parámetro x expresada como el intervalo de confianza al 95%;
- σ_y Incertidumbre absoluta del parámetro y expresada como el intervalo de confianza al 95%.

En el caso de una multiplicación de los parámetros x e y se consideró que sus incertidumbres σ_x y σ_y se combinarían con la siguiente ecuación:

$$\sigma_{MULTIPLICACIÓN} = \sqrt{\left[\frac{\partial f}{\partial x} \sigma_x\right]^2 + \left[\frac{\partial f}{\partial y} \sigma_y\right]^2} \quad (\text{Ec.4})$$

Donde:

- $\sigma_{MULTIPLICACIÓN}$ Incertidumbre absoluta de la multiplicación de dos parámetros expresada como el intervalo de confianza al 95%;
- σ_x Incertidumbre absoluta del parámetro x expresada como el intervalo de confianza al 95%;
- σ_y Incertidumbre absoluta del parámetro y expresada como el intervalo de confianza al 95%.

Estas ecuaciones son equivalentes a las indicadas para el método 2 del IPCC GL 2006 para la propagación de incertidumbres. Por tanto, se cumpliría con el requerimiento 6 de la Tabla 11.

Aunque las incertidumbres se presentan en este informe al 95% de nivel de confianza, la base de datos “BaseDeDatos_v1”, en su hoja “4.TablaDeParametros” (c.f. celda E8) permite corregir las incertidumbres a utilizar en la herramienta “FREL TOOL CR v.1” del 95% al 90% de nivel de confianza, con lo que se asegura el cumplimiento con el requerimiento 7 de la Tabla 11.

El cumplimiento con el requerimiento 8 de la Tabla 11 y el cumplimiento con el requerimiento 6 de la Tabla 11, en relación con la simulación de Montecarlo, se implementó directamente en la herramienta de cálculo “FREL TOOL CR v.1”.

A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada categoría de uso del suelo.

Bosques primarios “sin manejo forestal” e “intactos”

Una vez compilados los datos se identificó que no era posible obtener estimados de existencia de carbono para los distintos tipos de bosque, pero únicamente para bosques “intactos”. Dichos valores medios se obtuvieron en el caso del BARA (a excepción de los Manglares y Bosques de palma - “Yolillales”) a partir de la media ponderada de los valores por superficie muestreada con el fin de reducir la influencia de valores extremos. Para el resto de reservorios se calculó la media aritmética. La única cuestión que se identificó fue:

- **Madera muerta:** Debido a que muchas publicaciones agregan la madera muerta en una única clase, no fue posible mantener desagregadas las clases MMP, MMC y MMS, por lo que estas se agregaron en una única clase MM.

Los resultados para los “bosques primarios” “sin manejo forestal” e “intactos” se pueden ver en la siguiente tabla y se presentan en el archivo “BaseDeDatos_v1”, en su hoja “3.DensidadesCarbono” de la fila 43 a 224.

Dichos valores también se presentan en la herramienta “FREL TOOL CR v.1” en la hoja “CARBONO” en las filas de bosque primario sin manejo intacto (columnas de H a P).

Tabla 17. Resultados de existencias de carbono para todos los reservorios de bosques primarios no manejados e intactos

Categoría	BARA		BNAA		MM		H		COS	
	Valor (tC ha ⁻¹)	95% IC (tC ha ⁻¹)	Valor (tC ha ⁻¹)	95% IC (tC ha ⁻¹)	Valor (tC ha ⁻¹)	95% IC (tC ha ⁻¹)	Valor (tC ha ⁻¹)	95% IC (tC ha ⁻¹)	Valor (tC ha ⁻¹)	95% IC (tC ha ⁻¹)
Bosques muy húmedos y pluviales	130.4	12.0			13.4	2.8	2.7	0.3	107.0	8.5
Bosques húmedos	92.7	9.2			12.0	5.5	2.2	0.3	75.5	17.5
Bosques secos	61.5	37.3			15.4	5.1	6.2	0.2	39.4	2.4
Manglares	75.2	10.5			1.9	0.7	0.3	0.1	93.0	ND
Bosques de Palma	54.4	13.6			1.7	2.5	0.3	0.4	75.0	81.7

Pese, a como se indicó anteriormente en la Sección 5.3.2 los datos del IFN no podían utilizarse en exclusiva, se presenta en la siguiente tabla los valores estimados por medio de una post-estratificación. Se explica en el Anexo 4 como fueron calculados estos valores. Comparando los valores de ambas tablas se puede comprobar que no existen diferencias significativas entre los valores estimados y los valores del IFN para ninguno de los reservorios y ninguna de las categorías para las que se tienen datos.

Tabla 18. Resultados de existencias de carbono para todos los reservorios de bosques primarios no manejados e intactos de acuerdo a los datos del IFN. Resultados en hoja “Resultados” del archivo “CDI_CostaRicaREL_Consolidado_Parcels_27Feb2015_Rev.01” de la carpeta “SINAC – NFI” dentro de la carpeta “Densidades de Carbono”

Categoría	BARA		BNAA		MM		H		COS	
	Valor (tC ha ⁻¹)	95% IC (tC ha ⁻¹)	Valor (tC ha ⁻¹)	95% IC (tC ha ⁻¹)	Valor (tC ha ⁻¹)	95% IC (tC ha ⁻¹)	Valor (tC ha ⁻¹)	95% IC (tC ha ⁻¹)	Valor (tC ha ⁻¹)	95% IC (tC ha ⁻¹)
Bosques muy húmedos y pluviales	126.4	24.9			7.2	4.4	0.3	0.2	81.0	23.3
Bosques húmedos	110.5	25.6			4.9	10.3	0.8	0.5	85.4	34.6
Bosques secos	48.1	37.3			ND	ND	ND	ND	ND	ND
Manglares	68.6	22.9			0.6	0.8	ND	ND	ND	ND
Bosques de Palma	54.4	13.6			1.7	2.5	0.3	0.4	75.0	81.7

Bosques primarios “sin manejo forestal”, “degradados” y “muy degradados”

Aunque se obtuvieron datos de existencias de carbono para bosques no-manejados “intactos”, no se obtuvieron datos suficientes para definir existencias de carbono para las diferentes condiciones de degradación que se tenían en el sistema de clasificación (“degradado”, “muy degradado”. La mayor parte de los datos de carbono para bosque primario no manejado corresponden a un bosque “intacto” (o supuesto “intacto”), con lo que se aplicaron factores de corrección conservadores para estimar las densidades de carbono de los bosques “degradado” y “muy degradado” a partir del valor de densidad de carbono de los bosques “intactos”. La ecuación utilizada se presenta a continuación y en la herramienta “FREL TOOL CR v.1” se pueden encontrar este cálculo en la hoja “CARBONO” en las filas de “bosque primario”, “sin manejo”, “degradado” o “muy degradado” (de las columnas H a P):

Para bosques degradados o muy degradados:

$$C_k(CS_{deg/muy deg}) = C_k(CS_{intacto}) \times FC_k(CS_{deg/muy deg}) \quad (\text{Ec.5})$$

Donde:

$C_k(CS_{deg/muy deg})$ Densidad de carbono del reservorio k para estrato de bosque primario intacto sin manejo ($CS_{deg/muy deg}$); tCO₂ ha⁻¹

$C_k(CS_{intacto})$ Densidad de carbono del reservorio k para estrato de bosque primario intacto ($CS_{intacto}$); tCO₂ ha⁻¹

$FC_k(CS_{deg/muy deg})$ Factor de corrección del reservorio k para estrato de bosque primario degradado/muy degradado sin manejo ($CS_{deg/muy deg}$), adimensional:

Para $k = BARA$:

- Se asumió que los bosques clasificados como "degradados" el valor es $FC_k(CS_{deg}) = 0.7838$ de la biomasa arbórea aérea de los bosques "intactos" [$78.38\% = ((85\%+60\%)/2)/((85\%-100\%)/2)$]¹³¹.
- Se asumió que los bosques clasificados como "muy degradados" el valor es $FC_k(CS_{muy deg}) = 0.4865$ de la biomasa arbórea aérea de los bosques "intactos" [$48.65\% = ((60\%+30\%)/2)/((85\%-100\%)/2)$].

Para $k = MM, H, COS$:

- Se asumió $FC_k(CS_{deg/muy deg}) = 1$. La razón es que se espera que la proporción de madera muerta y hojarasca sea mayor en los bosques degradados debido a que las acciones de degradación probablemente dejarán más residuos. Para el reservorio COS se asume que la densidad de carbono es igual a la de un bosque intacto, lo cual es una consideración recomendada por el 2006 IPCC GL en bosques que siguen siendo bosques¹³².

k Reservorio k .

Cabe señalar que los estimados de densidad de carbono calculados con el método arriba expuesto solamente se utilizaron para evaluar la significancia de la degradación y aumento de existencia de carbono en bosques primarios que permanecen bosques primarios, ya que justamente por la dificultad de obtener estimados confiables de los factores de emisión (y datos de actividad) para dichas actividades se decidió excluirlas del nivel de referencia.

Bosques primarios “con manejo forestal”

Como se muestra en la siguiente tabla, en el caso de los bosques “con manejo forestal” para el reservorio BARA se encontraron pocas referencias que cumplieren con los requerimientos aplicables. Además se tenían datos incompletos, ya que no se disponía de datos para los “Bosques secos” mientras que para “Bosques húmedos” se tenía únicamente una referencia.

Tabla 19. Referencias con valores de densidades de carbono de BARA para bosques primarios manejados.

Bosque	Referencia	Valor medio (tC ha ⁻¹)	IC (tC ha ⁻¹)
Bosques muy húmedos y pluviales	Eguiguren-Velepucha (2013)	85.8	
	Nájera-Gómez (2011)	136.8	37.5
	Svob <i>et al.</i> (2014)	87.5	9.354
	Ulate-Quesada (2011)	50.6	
Bosques húmedos	Ulate-Quesada (2011)	60.7	

¹³¹ Los porcentajes entre paréntesis se refieren al valor mínimo y máximo de cobertura de copas de los bosques clasificados como “intacto”, “degradados” y “muy degradados”.

¹³² Sección 4.2.3.1, Capítulo 4, Volumen 4 del 2006 IPCC GL.

La solución en este caso fue similar a la empleada para estimar las existencias de carbono en bosques degradados: las existencias de carbono en bosques manejados se estimaron a partir de los datos para bosques intactos.

Para bosques degradados o muy degradados:

$$C_k(CS_{manejado}) = C_k(CS_{intacto}) \times FC_k(CS_{manejado}) \quad (\text{Ec.6})$$

Donde:

$C_k(CS_{manejado})$	Densidad de carbono del reservorio k para estrato de bosque primario manejado ($CS_{manejado}$); $\text{tCO}_2 \text{ ha}^{-1}$
$C_k(CS_{intacto})$	Densidad de carbono del reservorio k para estrato de bosque primario intacto ($CS_{intacto}$); $\text{tCO}_2 \text{ ha}^{-1}$
$FC_k(CS_{manejado})$	Factor de corrección del reservorio k para estrato de bosque primario manejado ($CS_{manejado}$); sin dimensiones

Para $k = BARA$:

- Utilizando las densidades reportadas por Eguiguren-Velepucha (2013) y Ulate-Quesada (2011) para bosques manejados y no manejados, se utilizó la mediana de los valores (i.e. $FC_k(CS_{manejado}) = 0.78$) como un factor de intervención, lo que significa que un bosque intervenido tiene en promedio el 78% del carbono de un bosque intacto. Aunque no se tienen datos para “Bosques secos”, “Manglares” y “Bosques de Palma – Yolillales”, se asumió que este mismo valor se podría utilizar también para todos estos tipos de bosque. Esta estimación puede verse en las celdas R87:U96 de la hoja “3.DensidadesCarbono” del archivo “BaseDeDatos_v1”.

Para $k = MM$:

- Se asumió $FC_k(CS_{manejado}) = 0.78 * \frac{C_{MM}(CS_{intacto})}{C_{BARA}(CS_{intacto})}$. La razón es que no se disponen de valores de densidades de carbono para madera muerta en bosque manejado ($C_{MM}(CS_{int})$). Esta estimación puede verse en las celdas R133:w144 de la hoja “3.DensidadesCarbono” del archivo “BaseDeDatos_v1”.

Tabla 20. Valores del ratio entre la densidad de MM y $BARA$ en bosque intacto

Categoría	$\frac{C_{MM}(CS_{intacto})}{C_{BARA}(CS_{intacto})}$	IC
Bosques muy húmedos y pluviales	0.11	0.02
Bosques húmedos	0.11	0.04
Bosques secos	0.12	0.03
Manglares	0.03	0.01
Bosques de palma (Yolillales)	0.03	0.04

Para $k = H$:

- Se asumió $FC_k(CS_{manejado}) = 0.78 * \frac{C_H(CS_{intacto})}{C_{BARA}(CS_{intacto})}$. La razón es que no se disponen de valores de densidades de carbono para madera muerta en bosque manejado ($C_{MM}(CS_{int})$). Esta estimación puede verse en las celdas R184:w195 de la hoja "3.DensidadesCarbono" del archivo "BaseDeDatos_v1".

Tabla 21. Valores del ratio entre la densidad de *H* y *BARA* en bosque intacto

Categoría	$\frac{C_H(CS_{intacto})}{C_{BARA}(CS_{intacto})}$	IC
Bosques muy húmedos y pluviales	0.01	0.002
Bosques húmedos	0.02	0.002
Bosques secos	0.10	0.003
Manglares	0.003	0.003
Bosques de palma (Yolillales)	0.005	0.006

Para $k = COS$:

- Se asumió $FC_k(CS_{manejado}) = 1$. Para el reservorio COS se asume que la densidad de carbono es igual a la de un bosque intacto, lo cual es una consideración recomendada por el 2006 IPCC GL en bosques que siguen siendo bosques¹³³.

k

Reservorio *k*.

Los cálculos arriba descritos se implementaron directamente en la hoja "CARBONO" de la herramienta "FREL TOOL CR v.1" en las filas correspondientes a "bosque primario", "con manejo forestal" entre las columnas H y P.

Es importante señalar que, como no se pudo encontrar información espacialmente explícita que permitiese estimar los datos de actividad para los bosques manejados, al final del estudio se decidió excluir el "manejo forestal" de las actividades incluidas en el nivel de referencia y considerar todos los bosques primarios como "no-manejados" e "intactos". Por lo tanto, aunque los datos y cálculos se presentan en la hoja "CARBONO" de "FREL TOOL CR v.1", éstos no afectan el nivel de referencia construido.

Reservorio de biomasa subterránea

El meta-análisis constató que la gran mayoría de las estimaciones de este reservorio se realizaron mediante la aplicación de ecuaciones alométricas y valores por defecto del IPCC o de otras publicaciones. Por tanto, como se indicó anteriormente, no se estimaron densidades de carbono para este reservorio y alternativamente se aplicó a todas las categorías la ecuación de Cairns *et al.* (1997)¹³⁴. Dicha ecuación se muestra a continuación:

$$BR = e^{(-1.0850+0.9256*\ln(BA))} \quad (\text{Ec.7})$$

¹³³ Sección 4.2.3.1, Capítulo 4, Volumen 4 del 2006 IPCC GL.

¹³⁴ Cairns M.A., Brown S., Helmer E.H., and Baumgardner G.A., 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia* 111: pp. 1-11.

Donde:

BR Biomasa subterránea; t d.m. /ha;

BR Biomasa área; t d.m. /ha.

Aunque existe una referencia más reciente, Mokany *et al.* (2006)¹³⁵ la cual presenta una ecuación similar a nivel global la cual es referenciada en IPCC GL 2006, dicha ecuación presenta valores sistemáticamente menores que los de la ecuación anterior. Por tanto, siguiendo el principio Conservador se decidió conservar la ecuación de Cairns *et al.* (1997).

Plantaciones forestales y bosques secundarios

Como se indicó anteriormente, las plantaciones forestales y los bosques secundarios no han formado parte de la meta-análisis para encontrar datos de existencias de carbono. La razón principal es que se trata de categorías del uso del suelo dinámicas en las que las existencias de carbono varían en gran medida en el tiempo, mientras que en el resto de las categorías y sub-categorías de usos del suelo se puede considerar que en un plazo relativamente extenso (10-15 años) las densidades de carbono permanecen relativamente constantes (o al menos sin diferencias significativas).

Por este motivo, en lugar de definir densidades de carbono “estáticas”, para el caso de los bosques secundarios y plantaciones forestales, se han elegido modelos de existencias de carbono en función del tiempo.

1. En el caso de las **plantaciones forestales**, tras la revisión bibliográfica, se pudo constatar que existen múltiples fuentes de datos, los cuales se han compilado y se han guardado en la carpeta “Plantaciones”. La existencia de modelos de crecimiento para las principales especies plantadas en Costa Rica (*Tectona grandis*, *Gmelina arborea*, *Bombacopsis quinatum*, *Vochysia ferruginea*, etc.), en combinación con factores de expansión de biomasa (BEF, por sus siglas en inglés) y densidades específicas podría dar lugar a modelos bastante exactos y calibrados con datos del país o al menos de la región. No obstante, como ya se mencionó, durante el análisis de la calidad de los datos de actividad se pudo constatar que los datos correspondientes a las plantaciones forestales no eran confiables, existiendo múltiples inconsistencias con otras fuentes. Por tanto, se decidió agregar las plantaciones dentro de los bosques secundarios creando la nueva categoría “Bosques nuevos” y asumir que las plantaciones forestales tienen factores de absorción idénticos a los bosques secundarios. No obstante, los datos recopilados están disponibles para ser utilizados en el futuro si existiesen datos de actividad de plantaciones que sean confiables.
2. En el caso de los **bosques secundarios** de “**Bosque muy húmedos y pluviales**”, “**Bosques húmedos**” y “**Bosques secos**”, las densidades de carbono por clase de edad anual se estimaron utilizando versiones modificadas de modelos de Cifuentes (2008)¹³⁶. Los datos se pueden encontrar en la carpeta “Modelo Secundario”. Esta tesis doctoral proporciona modelos temporales de densidades de carbono para seis zonas de vida: Bosque muy húmedo / pluvial montano; Bosque muy húmedo tropical; Bosque muy húmedo premontano transición basal-pacífico; Bosque muy húmedo premontano transición basal-atlántico; Bosque húmedo tropical; y Bosque seco. Estos modelos

¹³⁵ Mokany, K., Raison, J.R. and Prokushkin, A.S., 2006. Critical analysis of root:shoot ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biology* 12: 84-96.

¹³⁶ Cifuentes, M., 2008. *Aboveground Biomass and Ecosystem Carbon Pools in Tropical Secondary Forests Growing in Six Life Zones of Costa Rica*. Oregon State University. School of Environmental Sciences. 2008. 195 p.

fueron calibrados con datos locales obtenidos de 54 parcelas de muestreo establecidas al efecto en una crono-secuencia de parcelas de diferente edad. Los modelos calibrados son de la forma:

$$B_t = B_{max} \times [1 - \exp(-b_1 \times t)]^{b_2} \quad (\text{Ec.8})$$

Donde:

B_t	BARA+MM+H en el año t , expresado en toneladas materia seca ha^{-1}
B_{max}	BARA+MM+H máxima de la zona de vida que es la asíntota a la que tiende el modelo
b_1, b_2	Parámetros de la curva. b_1 es la forma de la curva, i.e. la tasa a la cual la BARA se aproxima a la BARA máxima, mientras que b_2 es el parámetro de inflexión o el retardo hasta que comienza el crecimiento.
t	Edad del bosque secundario, i.e. años desde abandono

Los valores de los parámetros una vez realizado el ajuste se presentan en la Figura 11.

Figura 11. Parámetros de las ecuaciones de biomasa para bosque secundario de Cifuentes (2008).

Life Zone	B_{max}	b_1	b_2	n	Pseudo- R^2	Time to $\geq 90\%$
	($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	(yr^{-1})				B_{max} (yrs)
Tropical Dry	154.8	0.1130 (0.0339)	5.1411 (3.1651)	11	0.95	35
Tropical Moist	262.1	0.0348 (0.0040)	1 --	7	0.95	66
Tropical Premontane Wet, Transition to Basal - Pacific	262.1	0.0214 (0.0041)	1 --	6	0.89	108
Tropical Premontane Wet, Transition to Basal - Atlantic	285.3	0.0316 (0.0025)	1 --	9	0.98	73
Tropical Wet	445.0	0.0186 (0.0015)	1 --	12	0.97	124
Premontane Rain	440.1	0.0202 (0.0016)	1 --	11	0.97	114

Notes: All equations are of the form $\text{TAGB}_t = B_{max} * [1 - \exp*(-b_1 * t)]^{b_2}$. TAGB_t is the TAGB ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) for secondary forest at time t (age of secondary forest, yr), B_{max} is the TAGB ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) measured in primary forests of a given life zone (Kauffman & Hughes in prep.), b_1 is the rate at which TAGB approaches B_{max} , b_2 is the inflexion parameter of the curve. The equation with b_1 and b_2 parameters is a Chapman-Richards function fit, whereas equations with only parameter b_1 are natural growth function fits. The standard errors of regression coefficients (SE) are in parentheses. Equation for Tropical Premontane Wet Transition to Basal Pacific life zone was statistically significant at $\alpha = 0.0015$. Equations for all other life zones were statistically significant at $\alpha < 0.0001$. Pseudo- R^2 calculated after Schabenberger & Pierce (2001). Time to $\geq 90\% B_{max} = -\ln(0.1)/b_1$ (Olson 1963).

Estos modelos fueron aplicados realizando las siguientes modificaciones:

- Asignación de modelos a zonas de vida: Considerando que los seis modelos fueron desarrollados para zonas de vida específicas, se realizó una consulta a expertos¹³⁷ con el fin de saber cuáles de los seis modelos se podía aplicar, de manera conservadora, a cada una de las zonas de vidas existentes en Costa Rica, obteniéndose las respuestas que se mostraron en la Figura 6. Esto dio lugar a una asignación de cada modelo a todas las zonas de vida. El resultado fue el siguiente:
 - a. A los “Bosques muy húmedos y pluviales” se aplicó el modelo desarrollado para “Bosque muy húmedo / pluvial montano”;
 - b. A los “Bosques húmedos” se aplicó el modelo desarrollado para “Bosque muy húmedo premontano transición a basal-atlántico”;
 - c. A los “Bosques secos” se aplicó el modelo desarrollado para “Bosque Seco”. Se pudo comprobar que este modelo es bastante conservador comparándolo con otros modelos de bosques secundarios como el de Becknell and Powers (2014)¹³⁸. Este último modelo no se utilizó en ningún caso y se utilizó a efectos comparativos. (c.f. carpeta “Modelo Secundario”).
 - d. En el caso de los bosques nuevos de las categorías “Manglares” y “Bosques de palama (Yolillales)”, ya que no se encontraron ni datos ni modelos, se asumió un modelo lineal en el que el máximo es la densidad de carbono de un bosque primario y el mínimo es cero. El tiempo para llegar al máximo es un parámetro de la herramienta de “FREL TOOL CR v.1” que puede ser modificado en la hoja “CARBONO” (celdas C6198 y C6200, respectivamente). Para el nivel de referencia bajo el Fondo de Carbono del FCPF se definió un valor de 100 años, lo cual es muy conservador.
- Cambio de B_{max} : En la ecuación anterior el parámetro B_{max} es la asíntota del modelo, mientras que el segundo término del modelo presenta valores de 0 a 1 y son en realidad un factor de acumulación, por lo que cuánto más tiempo pasa el modelo se va aproximando a 1. El parámetro B_{max} utilizado por Cifuentes (2008) proviene de los datos de Kauffman & Hughes (no publicado; presentado en la carpeta “Modelo Secundario”) de mediciones en bosques intactos. Dichas mediciones cubrieron un total de 16 parcelas de muestreo distribuidas en seis zonas de vida diferente. Con lo que dichos valores no se pueden considerar representativos de todos los bosques intactos de Costa Rica para las distintas zonas de vida. Tal y como se puede comprobar en la tabla siguiente, los valores de Kauffman & Hughes para bosques intactos exceden los valores medios utilizados en los cálculos. Por tanto, se decidió utilizar los modelos de Cifuentes (2008) pero utilizando los como asíntota el BARA estimado para bosques primarios intactos, es decir, se asumió que la curva de crecimiento de bosques secundarios seguirían el modelo de Cifuentes (mismos parámetros) pero con asíntotas diferentes.

¹³⁷ Archivo 01 - Consulta Expertos Modelos Cifuentes, Miguel Cifuentes_Rev.01 en la carpeta Modelo Secundario

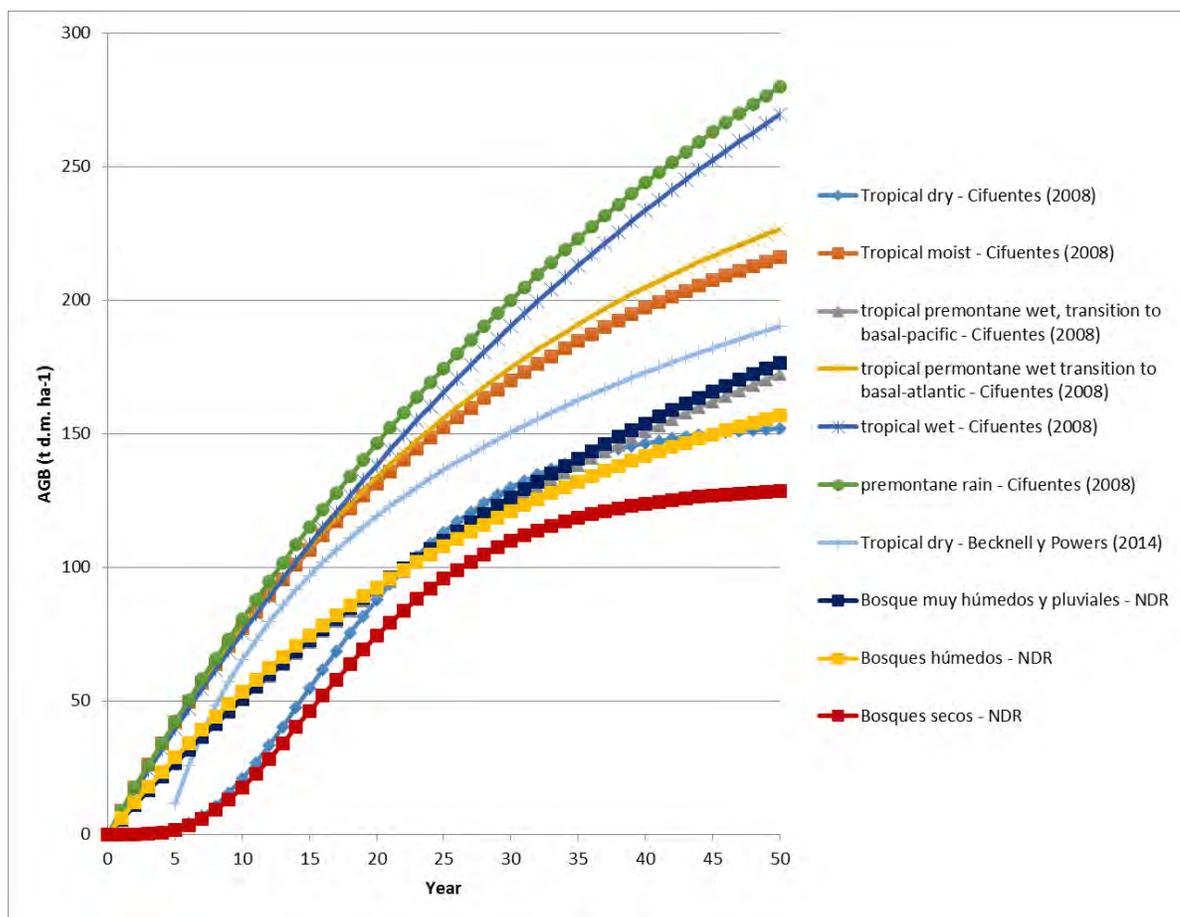
¹³⁸ Regresión a partir de datos brutos proporcionados por Powers, J. S.; Becknell, J. M.; Irving, J.; Pérez-Avilés, D., 2009. Diversity and structure of regenerating tropical dry forests in Costa Rica: Geographic patterns and environmental drivers. *Forest Ecology and Management* 258 (2009) 959–970

Tabla 22. Comparación de valores de BARA utilizados en los cálculos y los estimados por Kauffman & Hughes (sin publicar)

Nivel 2	Valor medio (tC ha ⁻¹)	Valor medio Kauffman & Hughes (tC ha ⁻¹)
Bosques muy húmedos y pluviales	131.21	182.9
Bosques húmedos	92.65	112.2
Bosques secos	61.52	64.2

- Reducción de los modelos:** Una vez analizados los parámetros de los distintos modelos y las curvas resultantes (ver Figura 12) se pudo comprobar que la forma de alguna de las curvas no divergían entre sí, indicando que los parámetros no son significativamente diferentes, no así la BARA máxima. La única curva que mostró valores muy divergentes fue la del bosque tropical premontano pluvial, transición a basal-pacífico, la cual muestra una atipicidad característica de un área de transición a áreas de baja pluviometría.

Figura 12. Curvas con los distintos modelos de crecimiento de biomasa aérea para bosque secundario de acuerdo a Cifuentes (2008), Becknell y Powers (2014) y los modelos modificados empleados en el NDR. Como se puede comprobar, los modelos empleados en el NDR aportan los valores más bajos.



- **Estimación de MM y H:** Aunque los modelos de Cifuentes (2008) son para toda la biomasa aérea viva y muerta, incluyendo BARA, MM y H, la forma de las curvas está influenciada casi en exclusiva por el BARA, ya que la variación de los valores de MM y H no presenta una curva característica y presenta valores más bajos que los de BARA. Bajo este supuesto, se aplicaron los mismos parámetros de las ecuaciones de Cifuentes (2008), pero remplazando el valor de *Bmax* por el valor de BARA estimado para bosques intactos. Luego, las curvas para MM y HH, se estimaron siguiendo los mismos ratios encontrados en los bosques primarios, asumiendo que esta proporción se mantiene constante durante toda la vida del bosque secundario. Aunque, esto no es exactamente cierto, ya que en bosques secundarios estos ratios son mayores en las edades tempranas debido a la madera muerta residual del uso del suelo anterior y a los cambios de comunidades vegetales que se dan en las diferentes fases de desarrollo de los bosques secundarios, se optó este enfoque de modelización asegurando que las asíntotas de MM y H coinciden con los valores de los bosques intactos. La relación supuesta de MM y H con BARA conduce a estimaciones conservadoras de las existencias de carbono en los bosques secundarios en las edades tempranas ya que es muy probable que subestima las existencias de MM y H.
- **Estimación de COS:** En este caso se ha asumido que el COS se mantiene constante tal y como indicado por Cifuentes (2008) en el caso de conversiones de pastizales a bosques.

Los parámetros de estos modelos se presentan en la Figura 5.

3. En el caso de los **bosques secundarios “Manglares”, “Bosques de Palama - Yolillales”**, ya que no se encontraron ni datos ni modelos, se asumió un modelo lineal en el que el máximo es la densidad de carbono de un bosque primario y el mínimo es cero. El tiempo para llegar al máximo es un parámetro de la herramienta de “FREL TOOL CR v.1” que puede ser modificado en la hoja “CARBONO”, aunque se ha definido un valor de 100 años por defecto el cual es muy conservador a vista de los valores por defecto del suplemento de humedales del IPCC¹³⁹ los cuales indican un valor medio para manglar tropical húmedo de 192 t d.m. ha⁻¹ y un crecimiento neto de 9.9 t d.m. ha⁻¹ año⁻¹ lo que es equivalente a un periodo de 20 años (i.e. 192 / 9.9 = 19.39 años).

Categorías de no bosque

Las conclusiones de la meta-análisis para las categorías de no bosque son las siguientes:

- **Humedales artificiales y naturales:** No se obtuvieron referencias que distinguiesen entre estos dos tipos de humedales por lo que se asignaron las mismas densidades de carbono a ambos, aunque los datos de actividad difieren en ambos casos.
- **Áreas urbanas:** No se obtuvieron datos para las áreas urbanas, aunque se puede asumir que las densidades de carbono en estas áreas son nulas o casi nulas.
- **Otras tierras – páramos naturales y suelos desnudos artificiales y naturales:** Sólo se obtuvieron datos para páramos. No se encontraron valores para suelos desnudos, aunque se espera que las densidades de carbono en estas áreas sean nulas o casi nulas. No obstante, los datos de actividad diferenciaron entre estas dos categorías, pese a tener valores de densidades de carbono idénticas.
- **COS:** En el caso del COS, se obtuvieron datos muy variables, razón por la cual se considera que no se deberían utilizar, ya que no se dispone de mucha de la información que sería necesaria para poder establecer densidades de carbono confiables (i.e. manejo, insumos, etc.). Considerando que

¹³⁹ IPCC, 2013. Supplement to the 2006 Guidelines: Wetlands. Tablas 4.3 y 4.4

se tienen estimaciones de la densidad de carbono en COS para los bosques, una posibilidad sería utilizar estos valores en combinación con los factores del Nivel 1 del IPCC en las categorías de no-bosques. Sin embargo, al final del estudio, se prefirió excluir COS del nivel de referencia, asumiendo que la exclusión de este reservorio es conservadora. De hecho, tal y como se puede ver en la Tabla 23 no existen en general diferencias significativas entre los valores de los bosques y los valores de las categorías de no bosque, o estas diferencias son a favor de los bosques. En el caso de los pastizales, estos pueden tener unos valores de COS más elevados que los bosques en algunos casos, aunque Cifuentes (2008) concluyó que no existían diferencias significativas.

Tabla 23. Comparación de densidades de carbono de COS entre tierras forestales y tierras no –forestales.

Nivel 1	Nivel 2	Valor (tC ha ⁻¹)	95% IC (tC ha ⁻¹)
TIERRAS FORESTALES Y TIERRAS CONVERTIDAS A TIERRAS FORESTALES	Bosques muy húmedos y pluviales	108.92	7.70
	Bosques húmedos	67.98	18.92
	Bosques secos	66.85	55.05
	Manglares	93.00	0.00
	Bosques de palma (Yolillales)	71.05	73.65
CULTIVOS	anuales		
	permanentes	56.78	10.21
PASTIZALES	> 1000 mm	96.71	1.56
HUMEDALES		0.00	0.00
OTRAS TIERRAS	Páramos	61.80	0.71

- **Cultivos permanentes:** En el caso de cultivos permanentes se tenía valores muy variables en función del tipo de cultivo permanente (i.e. banano, café, cacao, etc.). En este caso se realizó una media ponderada de las distintas densidades de carbono en función del área plantada en 2000/2008 según los datos de Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN) (2009) reportados en GFA, 2010¹⁴⁰. Estos valores se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 24. Áreas plantadas 2003/2008 de cultivos permanentes en Costa Rica

Categoría		Área cultivada en 2003/2008 (ha)	Proporción sobre total
Cultivos anuales	Caña de azúcar	51,600	0.12
Cultivos permanentes	Café	102,341	0.23
	Banano	46,148	0.10
	Cacao	40,47	0.01

Se utilizaron estos datos en lugar del censo agropecuario de 2014 por una parte porque representan dos puntos del tiempo (2000 Y 2008) que coinciden con el periodo histórico de referencia (mientras que los datos del censo agropecuario representan el estado en 2014). Como

¹⁴⁰ GFA Consulting Group, 2010) Estudio del estado de la producción sostenible y propuesta de mecanismos permanentes para el fomento de la producción sostenible. Consultorías SP-12-2009. 417 pp. (<http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00187.pdf>)

comparativa se pueden observar en la Tabla 24.a que los valores para café y cacao no difieren, mientras que existen diferencias para banano y cultivos anuales. No obstante, se debe tener en cuenta que al no disponer de densidades de carbono para todas las clases de cultivo (únicamente se disponen datos de las cuatro clases que aparecen en la tabla) no es tan relevante el uso de una u otra fuente ya que se están extrapolando los datos de un 50% del área cultivada al resto de áreas.

Tabla 24.a. Comparación de valores de proporción de área plantada sobre el total dados por MIDEPLAN (2009) y obtenidos de GFA (2010), y los valores dados por el último censo agropecuario.

Nivel 2	Cultivo	Proporción de área cultivada media 2000 y 2008 (MIDEPLAN, 2009)	Proporción de área cultivada 2014 (Censo agropecuario 2014)
Anuales	Caña de azúcar	12%	18%
Permanente	Café	23%	24%
	Banano	10%	15%
	Cacao	1%	1%

Nótese que en el caso de los cultivos permanentes se tenía previsto, al inicio del estudio, que pudiera haber sido necesario utilizar los valores por defecto del IPCC, razón por la cual los datos de actividad se diferenciaron por cultivos en zonas húmedas (1000 – 2000 mm año⁻¹) y cultivos zonas lluviosas (> 2000 mm año⁻¹). Al final del estudio se mantuvo esta separación en los datos de actividad, pero se asignó la misma densidad de carbono en ambos casos ya que no existían datos para determinar densidades para las dos clases, y los pocos datos de los que se disponía no indicaban grandes discrepancias.

Los resultados finales del análisis para estas categorías se presentan en el cuadro a continuación.

Tabla 25. Resultados de densidades de carbono para todos los reservorios de categorías de uso del suelo de no bosque

Nivel 1	BARA		BNAA		MM		H		COS	
	Valor (t C/ha)	95% IC (t C/ha)	Valor (t C/ha)	95% IC (t C/ha)	Valor (t C/ha)	95% IC (t C/ha)	Valor (t C/ha)	95% IC (t C/ha)	Valor (t C/ha)	95% IC (t C/ha)
Cultivos anuales	0.00	0.00	22.79	3.16	0.00	0.00	0.00	0.00		
Cultivos permanentes	15.77	13.33	7.10	5.79	0.33	0.14	2.07	1.18	56.78	10.21
Pastizales	7.77	0.00	3.88	0.00	2.26	2.05	0.00	0.00	96.71	1.56
Humedales	0.00	0.71	0.00	0.71	0.00	0.71	0.00	0.00	0.00	0.00
Otras tierras (Páramos)	0.00	0.00	34.60	0.71	0.00	0.00	0.00	0.00	61.80	0.71

5.3.4 Productos de madera

De acuerdo a los requerimientos de los marcos metodológicos, el reservorio de productos de madera debe considerarse. Esto se hizo considerando dos circunstancias diferentes en las cuales se extraen productos de madera:

- **Productos de madera originados en la conversión de bosques a otras categorías:** En este caso, se han considerado con el fin de reducir las emisiones debidas a la deforestación, ya que si parte del carbono se transfiere a productos de media y larga duración las emisiones serían menores.
- **Productos extraídos de bosques con manejo forestal:** En este caso se trata de productos de madera procedentes de bosques primarios manejados y plantaciones forestales, ya que aún no se manejan los bosques secundarios en Costa Rica.

Productos originados en la conversión de bosques a otras categorías de uso del suelo

Para este caso no existen estadísticas de las cantidades de productos cosechados con origen la conversión, por lo que se ha asumido en todos los casos que existe aprovechamiento previo a la conversión de un bosque. Para determinar la biomasa que es extraída se ha asumido que un 35% de la biomasa es de árboles de un diámetro mayor a 60 cm. Dicho valor se ha obtenido de Eguiguren-Velepucha (2013)¹⁴¹ para un bosque primario muy húmedo y los 60 cm es el límite mínimo de árboles a extraer en Costa Rica. Para bosques secundarios se ha asumido que este valor es del 50% y el diámetro mínimo se ha reducido a 40 cm. Dicho valor también se ha obtenido de Eguiguren-Velepucha (2013) para un bosque secundario muy húmedo. Se ha asumido esta misma proporción para todos los tipos de bosque, excepto los “Bosques de palma” (“Yolillales”) ya que en su mayoría no contienen muchos árboles leñosos maderables, lo cual puede representar un sesgo. Asimismo, estos supuestos son en pro del conservadurismo ya que reducen las emisiones del nivel de referencia.

Se ha seguido el siguiente procedimiento el cual se presenta en la hoja “CARBONO” de “FREL TOOL CR v.1”, en las celdas Q15: T6053:

1. **Estimación del BARA cosechado:** Aplicando estos factores a la BARA, se ha estimado la cantidad de BARA actualmente cosechada.
2. **Estimación de la biomasa en volumen comercial:** Posteriormente, se ha dividido por el factor de expansión de biomasa conservador de 2, que es el valor menor del rango dado por el 2003 LULUCF GPG para bosques tropicales de frondosas¹⁴², para obtener la biomasa del fuste comercial.
3. **Conversión de volumen cosechado a volumen transformado:** Ya que los valores de estimación de biomasa en volumen comercial son a humedad cero, se han aplicado los rendimientos de transformación de 0.7 para bosque primario y 0.5 para plantaciones y bosques secundarios. Estos valores se obtuvieron del FONAFIFO (2015)¹⁴³ con una clarificación de una consulta al experto Oscar Santamaria¹⁴⁴.
4. **Asignación a tipos de producto:** El siguiente paso fue asignar los productos de madera a las distintas fracciones de productos de madera cosechada de acuerdo a su vida media (Tabla 26). Para ellos se estimó la proporción de cada tipo de producto respecto el total utilizando datos de flujos de madera del año 2014 obtenidos del estudio de FONAFIFO (2015). Dicho estudio proporciona datos de volúmenes de madera desde el origen hasta el uso final (ver Figura 13); así

¹⁴¹ Eguiguren-Velepucha, P. A., 2013. Los efectos de intervenciones forestales y la variabilidad climática sobre la dinámica a largo plazo de bosques tropicales en el noreste de Costa Rica. Turrialba (Costa Rica) : CATIE , 2013

¹⁴² TABLA 3A.1.10 del 2003 LULUCF GPG.

¹⁴³ FONAFIFO, 2015. - Informe Final - Aumentando los acervos de carbono en productos de madera y derivados en Costa Rica

¹⁴⁴ Archivo FREL Productos de Madera_ConsultaExpertos_OscarSantamaria en carpeta Productos de Madera

es posible estimar la proporción del volumen total que pasa a ser un producto de segunda transformación, etc. Con el fin de poder asignar cada uno de estos productos finales a las cuatro fracciones del IPCC, se realizó una consulta de expertos¹⁴⁵. Los resultados de los flujos del cuadro y la asignación a los distintos productos se muestra en la Tabla 26. Los Cálculos pueden encontrarse en la hoja “Datos Flujos” del archivo “FREL Productos de Madera_Rev.01”.

- Cálculo final:** De esta manera se calculó la cantidad de carbono por tipo de producto del IPCC. Estos valores se integraron en la herramienta de cálculo del REL de Costa Rica.

Tabla 26. Fracciones de productos de madera cosechada con su respectiva vida media según IPCC (2003).

Fracción	Clase de producto	Vida media (años)
PM.F1	<i>Paper products</i> (Productos de papel)	2
PM.F2	<i>Non-structural panels</i> (Paneles no estructurales)	20
PM.F3	<i>Veneer, plywood and structural panels</i> (contrachapado, tableros y paneles estructurales)	30
PM.F4	<i>Sawnwood</i> (Madera aserrada)	35

Figura 13. Principales usos de la madera en rollo y aserrada en Costa Rica en 2014 en m³ (FONAFIFO, 2015)

Figura 04. Principales usos de la madera en rollo y aserrada (m³) en Costa Rica en el 2014.

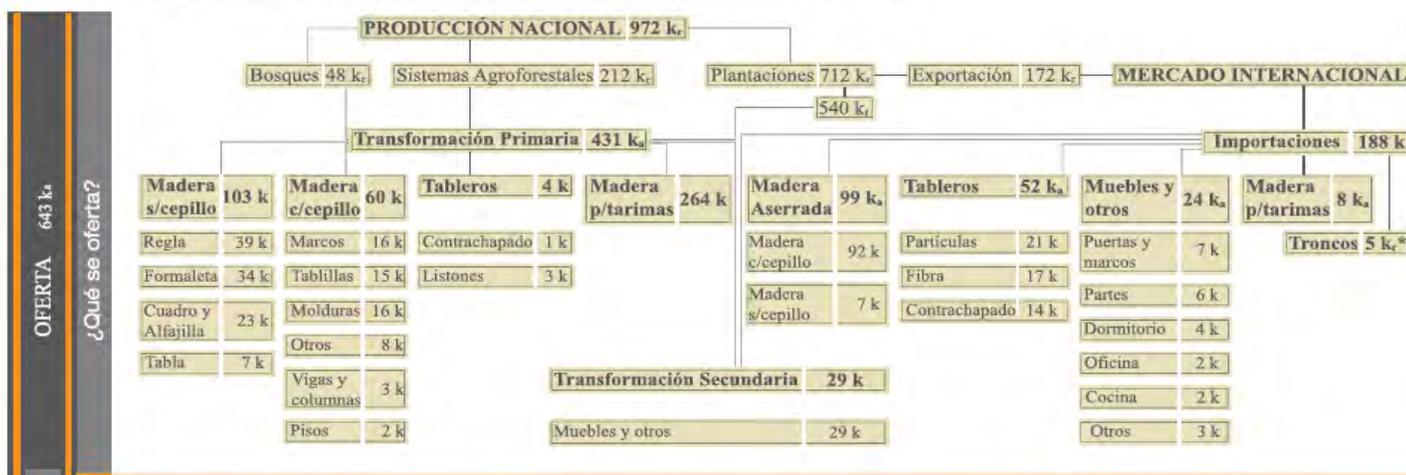


Tabla 27. Proporción respecto a volumen total y resultado de consulta a expertos.

Código	Item	Volumen (m ³ sierra)	Proporción respecto a total	Tipo
1	Volumen total 2014 procesado en país (m ³ sierra)	431,000	100.00%	
1.1	Transformación primaria	431,000.000	100.00%	
1.1.1	Madera s/ cepillo	103,000.000	23.90%	
1.1.1.1	Regla	39,000.000	9.05%	PM.F4

¹⁴⁵ Archivo FREL Productos de Madera Consulta Expertos Oscar Santamaria en carpeta Productos de Madera

Código	Item	Volumen (m ³ sierra)	Proporción respecto a total	Tipo
1.1.1.2	Formaleta	34,000.000	7.89%	PM.F2
1.1.1.3	Cuadro y Alfajilla	23,000.000	5.34%	PM.F4
1.1.1.4	Tabla	7,000.000	1.62%	PM.F4
1.1.2	Madera c/ cepillo	60,000.000	13.92%	
1.1.2.1	Marcos	16,000.000	3.71%	PM.F4
1.1.2.2	Tablillas	15,000.000	3.48%	PM.F4
1.1.2.3	Molduras	16,000.000	3.71%	PM.F4
1.1.2.4	Otros	8,000.000	1.86%	PM.F4
1.1.2.5	Vigas y columnas	3,000.000	0.70%	PM.F4
1.1.2.6	Pisos	2,000.000	0.46%	PM.F4
1.1.3	Tableros	4,000.000	0.93%	
1.1.3.1	Contrachapado	1,000.000	0.23%	PM.F3
1.1.3.2	Listones	3,000.000	0.70%	PM.F3
1.1.4	Madera p/tarimas	264,000.000	61.25%	PM.F3
1.2	Transformación secundaria	29,000.000	6.73%	
1.2.1	Muebles y otros	29,000.000	6.73%	PM.F4

Productos extraídos de bosques manejados (no se incluyen productos generados en actividades de deforestación)

Debido a la falta de datos espacialmente explícitos que permitiesen estimar los datos de actividad, se decidió estimar a parte las remociones debidas a los productos originados en bosques con manejo forestal, aunque al final se decidió excluirlos del nivel de referencia¹⁴⁶.

En este caso se partió directamente de las estadísticas de madera comercializada en Costa Rica para el periodo 1998-2013 procedentes de plantaciones forestales y bosque manejados (primarios) publicadas por la Oficina Nacional Forestal (ONF). Se intentó acceder a los datos originales de las estadísticas y a series más amplias, pero la única opción fue obtenerlos directamente de las gráficas de un informe técnico disponible en el sitio web de la ONF¹⁴⁷. Existen otros datos de SINAC, pero éstos son estimaciones de volúmenes hechos en campo mientras que las de ONF usó valores de productos consumidos, por lo que estos se consideran más exactos.

Con el fin de estimar la asignación a las distintas fracciones de productos de madera, se aplicaron los mismo pasos 3 y 4 del caso anterior. Una vez obtenidos estos valores, se procedió a estimar las variaciones de las existencias de carbono en los productos de madera cosechada en función de los insumos y el decaimiento. Para ello se siguieron las ecuaciones de media vida descritos en el Capítulo 12 Volumen 3 del 2006 IPCC GL.

¹⁴⁶ Aunque los productos de madera originados en bosques manejados se hayan excluido del nivel de referencia, las estimaciones realizadas se reportan en este informe para que sirvan de referencia para una eventual futura actualización del nivel de referencia y también porque la estimación del carbono en los productos de madera cosechados se incluyó en los términos de referencia de la consultoría de CDI.

¹⁴⁷ <http://www.onfcr.org/article/usos-y-aportes-de-la-madera-en-costa-rica/>

Los cálculos están integrados en la hoja “PRODUCTOS” de la herramienta “FREL TOOL CR v.1” pero al final se decidió excluirlos del nivel de referencia por la imposibilidad de vincular las estimaciones de flujo de carbono asociadas a los productos de madera cosechada en área de bosque con manejo forestal con el enfoque espacialmente explícito que se utilizó para calcular todos los flujos de carbono incluidos en el nivel de referencia y también por el hecho que la actividad “manejo forestal” quedó excluida del nivel de referencia y las plantaciones forestales incluidas en la categoría “bosques nuevos”.

Tabla 28. Datos de volúmenes de madera cosechados (m³)

Año	B. Primarios Gestionados	Plantaciones forestales
1998	290,000.00	140,000.00
1999	60,000.00	190,000.00
2000	65,000.00	240,000.00
2001	80,000.00	220,000.00
2002	50,000.00	390,000.00
2003	50,000.00	520,000.00
2004	50,000.00	690,000.00
2005	50,000.00	875,000.00
2006	75,000.00	1,040,000.00
2007	140,000.00	1,250,000.00
2008	60,000.00	1,100,000.00
2009	50,000.00	990,000.00
2010	15,000.00	950,000.00
2011	25,000.00	890,000.00
2012	25,000.00	820,000.00
2013	50,000.00	720,000.00

5.4 Emisiones de gases no CO₂

Como ya se indicó anteriormente, MF-FCPF y VCS-JNR requieren el uso de las directrices 2006 IPCC GL¹⁴⁸ para la definición del nivel de referencia. 2006 IPCC GL incluye directrices específicas para la estimación de la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero provocada por el fuego (L_{fuego})¹⁴⁹. Estas emisiones se estiman de una manera similar al caso de las emisiones de carbono procedentes del cambio de existencia de carbono asociado a la deforestación y degradación, al estimarse mediante la combinación de datos de actividad (DA) por un factor de emisión (FE). Los datos de actividad se expresan en términos de áreas (A) mientras que los factores de emisión se estiman mediante la multiplicación de la masa combustible disponible para combustión (M_B), un factor de combustión que establece la cantidad de biomasa disponible que ardería (C_f) y un factor de emisión para convertir valores de material seca quema a valores de cantidad de un GEI (G_{ef}). Habitualmente, los dos últimos factores provienen de tablas del IPCC ya que raramente existen valores locales para estos parámetros. Entonces las emisiones se calcularían por medio de la siguiente ecuación:

¹⁴⁸ MF-FCPF, Indicador 5.1

¹⁴⁹ 2006 IPCC GL, Volumen 4, Ch. 2, Sección 2.4, Ecuación 2.27.

$$L_{fuego} = A \cdot M_B \cdot C_f \cdot G_{ef} \cdot 10^{-3} \quad (\text{Ec.9})$$

Donde:

A Superficie quemada; ha

M_B Masa de combustible disponible para la combustión; ton ha⁻¹.
Incluye biomasa, hojarasca y madera muerta. Cuando se aplican métodos de Nivel 1, entonces se supone que los depósitos de hojarasca y de madera muerta equivalen a cero, a excepción de los casos en los que hay un cambio en el uso de la tierra.

C_f Factor de combustión, sin dimensión.

G_{ef} Factor de emisión; g kg⁻¹ de materia seca quemada.

Para el nivel de referencia de Costa Rica se consideraron únicamente las emisiones de gases no-CO₂ relacionadas a las conversiones de tierras forestales a otras categorías de uso del suelo, aunque ocurran incendios forestales en bosques que permanecen bosques, pero éstos no se consideraron porque no se encontraron datos de actividad espacialmente explícitos para toda la serie temporal¹⁵⁰.

En el caso de los “Manglares” y “Bosques de Palma (Yolillales)” se asumió, además, que no existen quemadas de biomasa cuando estos tipos de bosque se convierten a categorías de no bosque. Esto considerando el alto contenido de agua de estos tipos de bosque.

Por tanto, el parámetro A es equivalente a los datos de actividad utilizados para estimar las emisiones de deforestación multiplicados por un factor conservador estimado por los expertos del IMN, considerando que después de la adopción de la Ley Forestal 7575 la práctica de quemar la biomasa en actividades de cambio de uso se redujo paulatinamente. Los valores supuestos para estos factores se estimaron para cada período histórico y se reportan en la hoja “DECISIONES” de “FREL TOOL CR v1.0” y también en el Anexo 2.

En cuanto al valor del parámetro M_B , se ha asumido en todos los casos que existe aprovechamiento previo al incendio, con lo que la biomasa disponible será equivalente a la biomasa remanente tras el aprovechamiento.

Como se mencionó en la sección 3.3.5, para determinar la biomasa que es extraída se ha asumido que un 35% de la biomasa es de árboles de un diámetro >60 cm. Dicho valor se ha obtenido de Eguiguren-Velepucha (2013) para un bosque primario muy húmedo y los 60 cm es el límite mínimo de árboles a extraer en Costa Rica. Para bosques secundarios se ha asumido que este valor es del 0.5 y el diámetro mínimo se ha reducido a 40 cm. Dicho valor también se ha obtenido de Eguiguren-Velepucha (2013) para un bosque primario muy húmedo. Se ha asumido esta misma proporción para todos los tipos de bosque, excepto los “Manglares” y “Bosques de Palma” (“Yolillales”), en cuyo caso se asume que no son quemados ya que se encuentran en medios de alto contenido en agua.

Por otra parte, siguiendo las directrices del IPCC se ha añadido el MM y el H a la cantidad de biomasa disponible para ser quemada.

Cabe mencionar que las emisiones de gases no CO₂, aunque incluidas en el nivel de referencia, no son significativas (<10% de emisiones totales) a raíz de los valores estimados. No obstante, con el fin de ser más completos en las estimaciones se ha decidido incluirlas.

Las emisiones por hectárea de gases no-CO₂ por quema de biomasa (sin multiplicar por el factor conservador estimado por el IMN) se reportan en la Tabla 30 y en la hoja “CARBONO” de la herramienta

¹⁵⁰ La exclusión de las emisiones de gases no-CO₂ asociadas a la quema de biomasa en tierras forestales que permanecieron tierras forestales es una diferencia con el INGEI, que si las incluye.

“FREL TOOL CR v.1”. La multiplicación con los factores conservadores estimados por el IMN se hace en las columnas L y M de las hojas “FE AAAA” de “FREL TOOL CR v.1”.

5.5 Resultado de la estimación de existencias de carbono por reservorio y categoría

Con los métodos y fuentes de datos descritos en las secciones anteriores se obtuvieron las estimaciones de existencia de carbono que se reportan en esta sección. Las fuentes de datos utilizadas se reportan también para cada categoría y reservorio al final de la hoja “CARBONO” de la herramienta “FREL TOOL CR v.1”.

La Tabla 29 lista los reservorios incluidos en el nivel de referencia y las razones de su inclusión o exclusión mientras y la Tabla 30 reporta el resultado de las existencias de carbono promedio estimadas para cada categoría y reservorio.

Tabla 29. Reservorios de carbono incluidos en el nivel de referencia

Reservorio	Selección	Justificación / Explicación
Biomasa aérea	Sí	<p>La biomasa aérea contiene la mayor proporción del carbono almacenado en los bosques (excluyendo el suelo). Es un reservorio significativo¹⁵¹ y por eso se incluye.</p> <p>Las existencias de carbono en la biomasa aérea de los bosques se estimaron a partir de datos nacionales, utilizando los métodos explicados en la sección 4 de CDI (2015.b). Los valores estimados son los mismos que se reportan en los inventarios nacionales de GEI.</p>
Biomasa subterránea	Sí	<p>Como se desprende de la Tabla 30, la biomasa subterránea representa más del 10% de las existencias de carbono de los bosques y por tanto representa también más del 10% de las emisiones y remociones totales relacionadas a los bosques. Es un reservorio significativo y por lo tanto se incluye.</p> <p>Las existencias de carbono en la biomasa subterránea de los bosques se estimaron a partir de la biomasa aérea utilizando la ecuación de Cairns <i>et al.</i> (1997)¹⁵², lo cual es consistente con el método utilizado por el inventario nacional de GEI.</p>
Hojarasca	Sí	<p>La hojarasca contribuye con menos del 10% a los cambios en existencias de carbono, así que no es un reservorio significativo. Sin embargo, la misma se incluyó en la estimación de los factores de emisión al existir datos para estimar su contenido de carbono y para cumplir con el principio del lograr estimaciones “completas” del IPCC.</p> <p>Los datos provienen en de estudios nacionales y los valores estimados son los mismos que se reportan en el inventario nacional de GEI.</p>
Madera muerta	Sí	<p>La madera muerta generalmente contribuye con menos del 10% a los cambios de existencias de carbono, así que no representa un reservorio significativo. Sin embargo, la madera muerta aérea se incluyó en los estimados de factores de emisión porque existen datos nacionales para</p>

¹⁵¹ Es decir que representa más del 10% del carbono total almacenado en los bosques y también más del 10% de los cambios de existencias de carbono en las actividades REDD+.

¹⁵² Cairns, M. a., S. Brown, E. H. Helmer, G. A. Baumgardner, 1997. Root biomass allocation in the world’s upland forests. *Oecologia* 111:1-11.

Reservorio	Selección	Justificación / Explicación
		<p>estimarla y para cumplir con el principio del IPCC de lograr estimaciones “completas”.</p> <p>La madera muerta subterránea se excluyó por falta de datos y por estar implícitamente incluida en la biomasa subterránea viva, la cual, por el método de cálculo utilizado para estimar factores de emisión, se supone oxidada de inmediato cuando se deforesta, lo cual elimina la necesidad de transferir porciones de biomasa subterránea viva a biomasa muerta subterránea.</p> <p>Los valores estimados son los mismos que se reportan en el Inventario nacional de GEI.</p>
<p>Carbono orgánico del suelo</p>	<p>No</p>	<p>El carbono en el suelo se excluyó en el cálculo de los factores de emisión por falta de datos nacionales confiables para estimar las tasas de cambio de contenido de carbono en las diferentes transiciones de cambio de uso y para cumplir con el Indicador 14.3 del Marco Metodológico del Fondo de Carbono del Banco Mundial, según el cual los factores de emisión deben calcularse con los métodos Tier 2 o más altos del IPCC, excepto en casos excepcionales.</p> <p>Por otro lado, dada la corta duración del programa de reducción de emisiones bajo el Fondo de Carbono de FCPF es poco probable que este reservorio genere más del 10% de las emisiones totales.</p> <p>Los pocos datos disponibles sugieren, además, que las tasas de cambio de contenido de carbono en el suelo no son significativas en la mayoría de las transiciones de cambio de uso del suelo.</p> <p>La exclusión del carbono del suelo genera estimados conservadores de las emisiones por deforestación y también estimados conservadores del aumento de existencias de carbono, excepto quizás en los casos donde los bosques crecen sobre suelos con un alto contenido de humedad y carbono. Este podría ser el caso de los Manglares y de los Bosques de Palma (Yolillales), pero la deforestación en estos tipos de bosque durante el período histórico 1997-2009 solamente representa el 7.46% de la deforestación antrópica de bosques primarios y el 5.07% de la deforestación antrópica de bosques nuevos.</p> <p>La exclusión del carbono orgánico del suelo representa una diferencia con el inventario nacional de GEI, que incluye este reservorio utilizando valores por defecto del IPCC (Tier 1).</p>

Tabla 30. Valores promedio de existencias de carbono estimados para cada categoría, reservorio y gas.

Notas: **FL** = Tierras Forestales y Tierras Convertidas a Tierras Forestales; **CL** = Cultivos; **GL** = Pastizales; **WL** = Humedales; **SL** = Áreas Urbanas; **OL** = Otras Tierras; **SI** = Sin Información. **Bhp** = Bosques muy húmedos y pluviales; **Bh** = Bosques húmedos; **Bs** = Bosques secos; **Ma** = Manglares; **By** = Bosques de palma – Yolillales; **bp** = bosques primarios; **bn** = bosques nuevos; **smf** = sin manejo forestal; **cmf** = con manejo forestal; **i** = intacto; **d** = degradado; **md** = muy degradado; **int** = intervenido; **1 ... 400** = edad en años; **an** = anual; **per** = permanente; **zll** = zona lluviosa (> 2000 mm año⁻¹); **zh** = zona húmeda (1000-2000 mm año⁻¹); **para** = Páramos; **sd** = suelos desnudos; **nat** = natural; **art** = artificial; **BARA** = Biomasa Arbórea Aérea; **BNAA** = Biomasa No-Arbórea Aérea; **BARS** = Biomasa Arbórea Subterránea; **BNAS** = Biomasa No-Arbórea Subterránea; **MMA** = Madera Muerta Aérea; **MMS** = Madera Muerta Subterránea; **H** = Hojarasca; **COS** = Carbono Orgánico del Suelo; **PM.F1** = Productos de Madera, Fracción 1 (productos de papel); **PM.F2** = Productos de Madera, Fracción 2 (paneles no-estructurales); **PM.F3** = Productos de Madera, Fracción 3 (contrachapado, tableros y paneles estructurales); **PM.F4** = Productos de Madera, Fracción 4 (madera de aserrío); **CO₂** = dióxido de carbono; **CH₄** = Metano; **N₂O** = Óxido nítrico.

				CO ₂									Gases no-CO ₂		Total					
				Biomasa aérea		Biomasa subterránea		Madera muerta		Hojara sca	C suelo	Productos de madera: cosechas en cambio de uso				Quema de biomasa				
				BARA	BNAA	BARS	BNAS	MMA	MMS	H	COS	PM.F1	PM.F2	PM.F3	PM.F4	CH ₄	N ₂ O			
				incluido	incluido	incluido	incluido	incluido	excluido	incluido	excluido	incluido	incluido	incluido	incluido	incluido	incluido			
				tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹										
FL	Bhp	bp	smf	i	481.10	-	106.92	-	49.50	-	10.05	399.39	-	4.65	36.65	21.61	11.10	4.82	647.57	
				d	384.88	-	86.97	-	49.50	-	10.05	399.39	-	3.72	29.32	17.28	9.24	4.01	531.40	
				md	240.55	-	56.29	-	49.50	-	10.05	399.39	-	2.32	18.32	10.80	6.44	2.80	356.39	
		bn	smf	int	376.83	-	85.28	-	40.89	-	3.89	399.39	-	3.64	28.70	16.92	8.64	3.75	506.89	
				1	9.62	-	2.86	-	1.04	-	0.10	399.39	-	0.09	0.75	0.44	0.27	0.12	13.62	
				2	19.05	-	5.38	-	2.07	-	0.20	399.39	-	0.19	1.48	0.87	0.54	0.23	26.70	
	Bh	bp	smf	399	480.95	-	106.89	-	52.19	-	4.96	399.39	-	4.74	37.38	22.04	13.56	5.89	645.00	
				400	480.96	-	106.89	-	52.19	-	4.96	399.39	-	4.74	37.38	22.04	13.56	5.89	645.00	
				i	339.71	-	77.48	-	48.27	-	8.01	249.26	-	3.28	25.88	15.26	8.27	3.59	473.46	
					d	271.77	-	63.02	-	48.27	-	8.01	249.26	-	2.63	20.70	12.20	6.95	3.02	391.06
					md	169.85	-	40.79	-	48.27	-	8.01	249.26	-	1.64	12.94	7.63	4.97	2.16	266.91



Nivel de Referencia de Emisiones y Absorciones Forestales
de Costa Rica ante el Fondo de Carbono de FCPF

					CO ₂								Gases no-CO ₂		Total				
				Biomasa aérea		Biomasa subterránea		Madera muerta		Hojarsca	C suelo	Productos de madera: cosechas en cambio de uso				Quema de biomasa			
				BARA	BNAÁ	BARS	BNAS	MMA	MMS	H	COS	PM.F1	PM.F2	PM.F3	PM.F4	CH ₄	N ₂ O		
				incluido	incluido	incluido	incluido	incluido	excluido	incluido	excluido	incluido	incluido	incluido	incluido	incluido	incluido		
				tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹									
Bs	bn	cmf	int	266.08	-	61.80	-	30.74	-	5.14	249.26	-	2.57	20.27	11.95	6.23	2.70	363.76	
			1	10.57	-	3.12	-	1.22	-	0.20	249.26	-	0.10	0.82	0.48	0.31	0.13	15.11	
		smf	2	20.81	-	5.84	-	2.40	-	0.40	249.26	-	0.21	1.62	0.95	0.60	0.26	29.45	
			399	339.71	-	77.48	-	39.25	-	6.56	249.26	-	3.35	26.40	15.57	9.83	4.27	462.99	
	bp	smf	400	339.71	-	77.48	-	39.25	-	6.56	249.26	-	3.35	26.40	15.57	9.83	4.27	462.99	
			i	225.58	-	53.04	-	28.23	-	11.37	245.12	-	2.18	17.18	10.13	5.56	2.41	318.22	
		md	d	180.46	-	43.14	-	28.23	-	11.37	245.12	-	1.74	13.75	8.10	4.68	2.03	263.21	
			md	112.79	-	27.92	-	28.23	-	11.37	245.12	-	1.09	8.59	5.07	3.37	1.46	180.31	
	bn	cmf	int	176.69	-	42.31	-	21.19	-	8.53	245.12	-	1.71	13.46	7.93	4.31	1.87	248.72	
			1	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00	245.12	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		smf	2	0.06	-	0.03	-	0.01	-	0.00	245.12	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
			399	225.58	-	53.04	-	27.06	-	10.89	245.12	-	2.22	17.53	10.34	6.87	2.98	316.57	
	Ma	bp	smf	400	225.58	-	53.04	-	27.06	-	10.89	245.12	-	2.22	17.53	10.34	6.87	2.98	316.57
				i	264.78	-	61.52	-	6.95	-	0.65	341.00	-	2.56	20.17	11.89	-	-	333.89
		cmf	d	211.83	-	50.04	-	6.95	-	0.65	341.00	-	2.05	16.14	9.51	-	-	269.46	
			md	132.39	-	32.39	-	6.95	-	0.65	341.00	-	1.28	10.08	5.95	-	-	172.37	
bn	smf	int	207.39	-	49.07	-	5.30	-	0.49	341.00	-	2.00	15.80	9.31	-	-	262.26		
		1	2.65	-	0.87	-	0.07	-	0.01	341.00	-	0.03	0.21	0.12	-	-	3.59		
		2	5.30	-	1.65	-	0.14	-	0.01	341.00	-	0.05	0.41	0.24	-	-	7.09		
			399	264.78	-	61.52	-	6.77	-	0.63	341.00	-	2.61	20.58	12.13	-	-	333.70	



Nivel de Referencia de Emisiones y Absorciones Forestales
de Costa Rica ante el Fondo de Carbono de FCPF

				CO ₂										Gases no-CO ₂		Total			
				Biomasa aérea		Biomasa subterránea		Madera muerta		Hojara sca	C suelo	Productos de madera: cosechas en cambio de uso				Quema de biomasa			
				BARA	BNAA	BARS	BNAS	MMA	MMS	H	COS	PM.F1	PM.F2	PM.F3	PM.F4	CH ₄	N ₂ O		
				incluido	incluido	incluido	incluido	incluido	excluido	incluido	excluido	incluido	incluido	incluido	incluido	incluido	incluido		
				tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹									
Bp-Y	bp	smf	400	264.78	-	61.52	-	6.77	-	0.63	341.00	-	2.61	20.58	12.13	-	-	333.70	
			i	189.57	-	45.15	-	5.97	-	-	260.53	-	-	-	-	-	-	240.69	
			d	151.66	-	36.73	-	5.97	-	-	260.53	-	-	-	-	-	-	-	194.35
			md	94.79	-	23.77	-	5.97	-	-	260.53	-	-	-	-	-	-	-	124.52
			cmf	int	148.49	-	36.02	-	4.67	-	-	260.53	-	-	-	-	-	-	-
	bn	smf	1	1.90	-	0.64	-	0.06	-	-	260.53	-	-	-	-	-	-	-	2.59
			2	3.79	-	1.21	-	0.12	-	-	260.53	-	-	-	-	-	-	-	5.12
			399	189.57	-	45.15	-	5.97	-	-	260.53	-	-	-	-	-	-	-	240.69
			400	189.57	-	45.15	-	5.97	-	-	260.53	-	-	-	-	-	-	-	240.69
			an			-	83.57	-	21.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CL	per	zll	1	2.89	1.30	0.94	0.45	0.06			0.38								
			2	5.78	2.60	1.79	0.85	0.12			0.76								
			399	57.81	26.03	15.04	7.19	1.22			7.59								
			400	57.81	26.03	15.04	7.19	1.22			7.59								
	zh		1	2.89	1.30	0.94	0.45	0.06			0.38								
			2	5.78	2.60	1.79	0.85	0.12			0.76								
			399	57.81	26.03	15.04	7.19	1.22			7.59								
			400	57.81	26.03	15.04	7.19	1.22			7.59								
GL			28.48	14.23	7.81	4.11	8.28			-									
SL			-	-	-	-	-			-									
WL			nat	-	-	-	-	-		-									



Nivel de Referencia de Emisiones y Absorciones Forestales
de Costa Rica ante el Fondo de Carbono de FCPF

					CO ₂								Gases no-CO ₂		Total					
					Biomasa aérea		Biomasa subterránea		Madera muerta		Hojara sca	C suelo	Productos de madera: cosechas en cambio de uso				Quema de biomasa			
					BARA	BNAA	BARS	BNAS	MMA	MMS	H	COS	PM.F1	PM.F2	PM.F3	PM.F4	CH ₄	N ₂ O		
					incluido	incluido	incluido	incluido	incluido	excluido	incluido	excluido	incluido	incluido	incluido	incluido	incluido	incluido		
					tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹									
				art	-	-	-	-	-			-								
OL		para			-	126.87	-	31.13	-			-								
		sd		nat	-		-	-												
			art	-		-	-													
SI					-		-	-												

6. Construcción del nivel de referencia

En esta sección del informe se describen los métodos empleados para calcular el nivel de referencia y los resultados obtenidos, haciendo referencias a las hojas de cálculo desarrolladas para este fin.

El nivel de referencia se calculó como el promedio anual de las emisiones y absorciones relacionadas a los bosques de Costa Rica en el período 1996-2009, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$NRF = \left(\sum_{t=t1}^{t2} E_t \right) * (t2 - t1 + 1)^{-1} \quad (\text{Ec.10})$$

Donde:

NRF Nivel de referencia; tCO₂-e año⁻¹

E_t Emisiones o absorciones en el año *t*; tCO₂-e año⁻¹ (ver **Ec.1**)

t un año entre *t1* y *t2*

t1 1996

t2 2009

Los métodos utilizados para construir el nivel de referencia, incluyendo las ecuaciones (Anexo 2) y la herramienta de cálculo (“FREL TOOL CR v.1”) son similares los métodos que se deberán utilizar para calcular y reportar los resultados del programa de reducción de emisiones ante el Fondo de Carbono del FCPF. El uso de métodos, estructuras de cálculo y tablas de reporte similares para el nivel de referencia y el MRV en el marco de la misma herramienta de cálculo (“FREL TOOL CR v.1”) asegura un nivel máximo de consistencia entre el nivel de referencia y las emisiones y absorciones que se reportarán ante el Fondo de Carbono del FCPF durante la vigencia del ERPA.

Considerando que las personas que prepararán los cálculos y los reportes de MRV no serán necesariamente las mismas que desarrollaron la herramienta de cálculo “FREL TOOL CR v.1” se consideró importante incluir explicaciones de esta herramienta en el presente informe.

En la herramienta “FREL TOOL CR v1”, las emisiones y absorciones anuales se presentan en la hoja “DECISIONES”, mientras que el nivel de referencia aparece en la hoja “FRL&FREL” y los resultados del programa en la hoja “RESULTADOS”. Todos los cálculos que se hacen en estas hojas se actualizan automáticamente al rellenar las matrices de cambio de uso del suelo que aparecen en las hojas “MC AAAA-AA” o al variar los valores de parámetros que en la herramienta aparecen en celdas de color amarillo claro.

Una vez que el Gobierno de Costa Rica y el Fondo de Carbono del Banco Mundial hayan firmado un acuerdo de pagos por resultados (ERPA) y acordado el nivel de referencia contra el cual se medirán el desempeño del programa de reducción de emisiones, no se deberían modificar los datos ingresados en las matrices históricas de cambio de uso del suelo y los valores de los parámetros en las celdas de color amarillo claro de la herramienta “FREL TOOL CR v1”, tales como las que aparecen en la hoja “DECISIONES”, que permiten seleccionar los gases, reservorios, y actividades REDD+ incluidas en el nivel de referencia, entre otras variables, o las que aparecen en las hojas “CARBONO” y “LISTAS”, ya que cualquier modificación de los valores definidos en estas celdas cambiaría el nivel de referencia.

Todo lo que habrá que hacer durante el periodo de implementación del ERPA para preparar los reportes de MRV es rellenar las matrices que aparecen en las hojas “MC 2014-15”, “MC 2016-17”, “MC 2018-19”, “MC 2020-21” y “MC 2022-23” y correr la macro “Montecarlo” en la hoja “RESULTADOS”. Con eso, todos los cálculos se actualizarán automáticamente y los resultados del programa se podrán leer en las tablas que aparecen en la hoja “RESULTADOS”. Nótese que los resultados para los años 2010-2013 ya aparecen reportados porque las matrices “MC 2008-11” y “MC 2012-13” ya fueron rellenas.

Las emisiones y absorciones estimadas para todos los años de la serie histórica analizada se muestran en la Figura 14 y en la Tabla 32, mientras que **el nivel de referencia se presenta en la Tabla 31.**

Los valores que aparecen en la Tabla 31 fueron calculados como el promedio anual de emisiones o absorciones del período 1996-2009, excepto en el caso de la actividad “conservación de existencias de carbono forestal”, donde los valores representan las existencias de carbono esperadas para los bosques primarios de Costa Rica asumiendo que se mantienen las tasas históricas de deforestación del período 1996-2009.

Figura 14. Emisiones y absorciones históricas relacionadas a los bosques de Costa Rica ente 1986 y 2013, en toneladas de dióxido de carbono equivalente anuales (tCO₂-e año⁻¹)

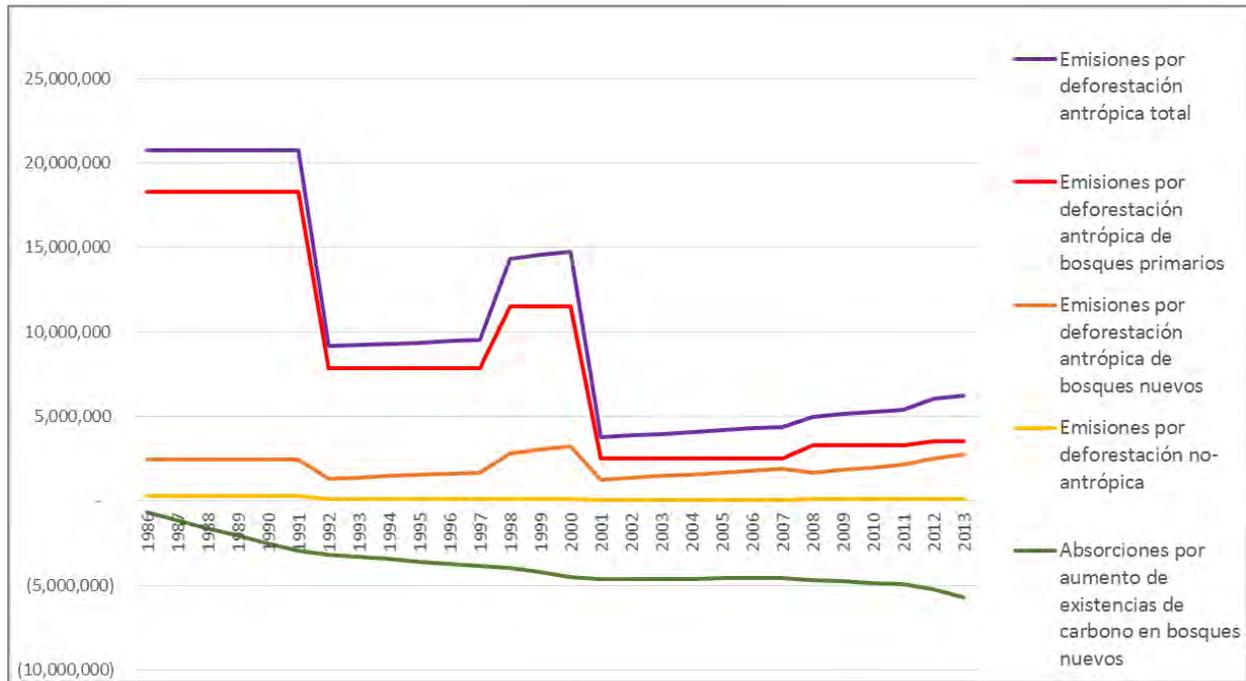


Tabla 31. Nivel de referencia de Costa Rica ante el Fondo de Carbono del FCPF calculado como promedio de las emisiones y absorciones del período 1996-2009.

Año t	Emisiones por deforestación antrópica	Absorciones por aumentos de existencias de carbono forestal	Conservación de existencias de carbono	Nivel de referencia para flujos de carbono	Nivel de referencia para existencias de carbono
t	tCO ₂ -e año ⁻¹	tCO ₂ -e año ⁻¹	tCO ₂ -e	tCO ₂ -e año ⁻¹	tCO ₂ -e
2010	7,217,881	-4,422,008	1,258,778,913	2,795,873	1,258,778,913
2011	7,217,881	-4,422,008	1,251,624,238	2,795,873	1,251,624,238
2012	7,217,881	-4,422,008	1,244,523,897	2,795,873	1,244,523,897
2013	7,217,881	-4,422,008	1,237,477,379	2,795,873	1,237,477,379
2014	7,217,881	-4,422,008	1,230,484,181	2,795,873	1,230,484,181
2015	7,217,881	-4,422,008	1,223,543,804	2,795,873	1,223,543,804
2016	7,217,881	-4,422,008	1,216,655,756	2,795,873	1,216,655,756
2017	7,217,881	-4,422,008	1,209,819,547	2,795,873	1,209,819,547
2018	7,217,881	-4,422,008	1,203,034,694	2,795,873	1,203,034,694
2019	7,217,881	-4,422,008	1,196,300,718	2,795,873	1,196,300,718
2020	7,217,881	-4,422,008	1,189,617,148	2,795,873	1,189,617,148
2021	7,217,881	-4,422,008	1,182,983,513	2,795,873	1,182,983,513
2022	7,217,881	-4,422,008	1,176,399,351	2,795,873	1,176,399,351
2023	7,217,881	-4,422,008	1,169,864,202	2,795,873	1,169,864,202
2023	7,217,881	-4,422,008	1,163,377,613	2,795,873	1,163,377,613
2025	7,217,881	-4,422,008	1,156,939,134	2,795,873	1,156,939,134



Tabla 32. Emisiones y absorciones históricas anuales en toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO₂-e ha⁻¹).

Notas: **DF** = deforestación; **DG** = Degradación; **AE** = Aumento de Existencias de C; **MF** = Manejo Forestal; **CO** = Conservación; **SI** = Sin información; **OT** = Otras Tierras (no forestales); **PMC** = Productos de Madera Cosechada; **an** = antrópica; **na** = no-antrópica; **to** = total; **bp** = bosque primario; **bn** = bosque nuevo; **bs** = bosque secundario; **AAAA-AA** = clases de edad; **TCTF** = Tierra Convertida a Tierra Forestal.

Años 1996-1999.

Nota: Los años 1986-1995 no forman parte del nivel de referencia bajo el Fondo de Carbono del FCPF pero se reportan para cumplir con el principio de transparencia.

Actividad	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
DF.an.to	20,728,256	20,734,691	20,740,963	20,747,077	20,753,038	20,758,850	9,145,410	9,225,813	9,304,065	9,380,216	9,454,312	9,526,394	14,341,076	14,552,522
DF.an.bp	18,298,465	18,298,465	18,298,465	18,298,465	18,298,465	18,298,465	7,835,873	7,835,873	7,835,873	7,835,873	7,835,873	7,835,873	11,529,702	11,529,702
DF.an.bn	2,429,791	2,436,225	2,442,498	2,448,612	2,454,573	2,460,385	1,309,537	1,389,940	1,468,192	1,544,343	1,618,438	1,690,520	2,811,374	3,022,820
... - 1985	2,429,791	2,436,225	2,442,498	2,448,612	2,454,573	2,460,385	1,155,389	1,157,999	1,160,548	1,163,036	1,165,466	1,167,839	1,613,620	1,616,678
1986-91	-	-	-	-	-	-	154,147	231,941	307,644	381,307	452,972	522,681	1,012,662	1,128,922
1992-97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	185,091	277,221
1998-00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001-07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2008-11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2012-13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DF.na.to	363,896	364,053	364,206	364,356	364,503	364,646	112,546	113,277	113,993	114,693	115,378	116,048	131,131	134,253
DF.na.bp	296,521	296,521	296,521	296,521	296,521	296,521	98,425	98,425	98,425	98,425	98,425	98,425	98,016	98,016
DF.na.bn	67,376	67,532	67,686	67,836	67,982	68,126	14,121	14,852	15,567	16,267	16,952	17,622	33,115	36,237
... - 1985	67,376	67,532	67,686	67,836	67,982	68,126	9,115	9,133	9,151	9,169	9,186	9,202	9,010	9,025
1986-91	-	-	-	-	-	-	5,005	5,719	6,416	7,099	7,767	8,420	4,625	4,943
1992-97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19,480	22,268
1998-00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001-07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2008-11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2012-13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DF.to.to	21,092,152	21,098,744	21,105,169	21,111,433	21,117,541	21,123,496	9,257,956	9,339,091	9,418,058	9,494,909	9,569,689	9,642,441	14,472,207	14,686,775



Nivel de Referencia de Emisiones y Absorciones Forestales
de Costa Rica ante el Fondo de Carbono de FCPF

Actividad	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
DF.to.bp	18,594,986	18,594,986	18,594,986	18,594,986	18,594,986	18,594,986	7,934,299	7,934,299	7,934,299	7,934,299	7,934,299	7,934,299	11,627,718	11,627,718
DF.to.bn	2,497,167	2,503,758	2,510,183	2,516,448	2,522,555	2,528,511	1,323,657	1,404,792	1,483,759	1,560,610	1,635,391	1,708,143	2,844,489	3,059,057
... - 1985	2,497,167	2,503,758	2,510,183	2,516,448	2,522,555	2,528,511	1,164,504	1,167,132	1,169,699	1,172,205	1,174,652	1,177,042	1,622,630	1,625,703
1986-91	-	-	-	-	-	-	159,153	237,659	314,060	388,406	460,739	531,101	1,017,288	1,133,865
1992-97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	204,572	299,489
1998-00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001-07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2008-11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2012-13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AE.bp														
AE.bn	(680,180)	(1,153,112)	(1,614,270)	(2,064,004)	(2,502,519)	(2,929,947)	(3,185,485)	(3,318,943)	(3,450,726)	(3,580,706)	(3,708,817)	(3,835,033)	(3,965,402)	(4,229,494)
... - 1985	(420,917)	(403,972)	(387,628)	(371,856)	(356,635)	(341,947)	(331,030)	(320,443)	(310,180)	(300,232)	(290,591)	(281,249)	(271,348)	(261,781)
1986-91	-	(490,517)	(968,625)	(1,434,698)	(1,888,966)	(2,331,579)	(2,642,111)	(2,492,221)	(2,347,638)	(2,208,056)	(2,073,334)	(1,943,415)	(1,764,757)	(1,593,922)
1992-97	-	-	-	-	-	-	-	(296,125)	(584,933)	(866,605)	(1,141,229)	(1,408,840)	(1,546,171)	(1,407,921)
1998-00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(592,782)
2001-07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2008-11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2012-13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TCTF	(259,263)	(258,623)	(258,018)	(257,449)	(256,917)	(256,421)	(212,345)	(210,153)	(207,976)	(205,813)	(203,664)	(201,528)	(383,126)	(373,087)
MF.bp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MF.bs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CO.bp	1,525,684, 158	1,502,875, 387	1,480,066, 617	1,457,257, 846	1,434,449, 076	1,411,640, 305	1,401,975, 770	1,392,311, 235	1,382,646, 699	1,372,982, 164	1,363,317, 629	1,353,653, 094	1,339,323, 731	1,324,994, 369
SI.b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OT														
Total*	20,411,972	19,945,631	19,490,899	19,047,430	18,615,022	18,193,549	6,072,471	6,020,148	5,967,332	5,914,203	5,860,872	5,807,408	10,506,805	10,457,281

* No incluye las existencias de carbono en bosque primario (CO.bp).



Nivel de Referencia de Emisiones y Absorciones Forestales
de Costa Rica ante el Fondo de Carbono de FCPF

Años 2000-2013.

Nota: Los años 2010-2013 no forman parte del nivel de referencia bajo el Fondo de Carbono del FCPF y más bien muestran los resultados de los primeros años del programa de reducción de emisiones- Se reportan para cumplir con el principio de transparencia.

Actividad	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
DF.an.to	14,758,048	3,747,424	3,863,061	3,975,400	4,084,540	4,190,569	4,293,571	4,393,628	4,989,869	5,136,184	5,278,412	5,416,641	6,037,685	6,255,941
DF.an.bp	11,529,702	2,502,416	2,502,416	2,502,416	2,502,416	2,502,416	2,502,416	2,502,416	3,290,649	3,290,649	3,290,649	3,290,649	3,525,830	3,525,830
DF.an.bn	3,228,346	1,245,008	1,360,645	1,472,985	1,582,124	1,688,153	1,791,156	1,891,213	1,699,220	1,845,536	1,987,763	2,125,992	2,511,855	2,730,111
... - 1985	1,619,658	725,176	726,461	727,716	728,941	730,137	731,304	732,443	495,385	496,132	496,863	497,577	646,234	647,103
1986-91	1,241,919	295,074	318,700	341,655	363,960	385,632	406,691	427,155	339,414	354,229	368,642	382,665	387,215	399,879
1992-97	366,769	209,900	252,881	294,623	335,159	374,519	412,738	449,845	258,013	276,608	294,665	312,198	250,948	263,394
1998-00	-	14,859	62,603	108,990	154,065	197,865	240,423	281,769	472,300	525,795	577,742	628,161	644,976	685,272
2001-07	-	-	-	-	-	-	-	-	134,109	192,771	249,851	305,392	494,148	562,656
2008-11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	88,334	171,807
2012-13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DF.na.to	137,312	97,799	99,634	101,427	103,179	104,891	106,565	108,203	163,255	166,018	168,721	171,366	138,155	141,615
DF.na.bp	98,016	71,011	121,351	121,351	121,351	121,351	98,461	98,461						
DF.na.bn	39,296	26,789	28,624	30,416	32,168	33,881	35,555	37,192	41,903	44,667	47,370	50,015	39,694	43,154
... - 1985	9,041	10,981	10,999	11,017	11,035	11,052	11,069	11,085	10,284	10,298	10,313	10,327	4,130	4,134
1986-91	5,254	3,776	3,977	4,173	4,365	4,553	4,736	4,916	4,551	4,706	4,858	5,007	4,477	4,606
1992-97	25,001	6,690	7,318	7,934	8,536	9,127	9,706	10,274	6,640	6,977	7,308	7,633	4,824	5,026
1998-00	-	5,341	6,330	7,293	8,232	9,149	10,043	10,917	7,033	7,536	8,028	8,510	4,990	5,250
2001-07	-	-	-	-	-	-	-	-	13,396	15,149	16,863	18,538	8,283	8,950
2008-11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,990	15,188
2012-13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DF.to.to	14,895,360	3,845,223	3,962,695	4,076,828	4,187,719	4,295,460	4,400,137	4,501,831	5,153,124	5,302,202	5,447,133	5,588,007	6,175,839	6,397,556
DF.to.bp	11,627,718	2,573,426	2,573,426	2,573,426	2,573,426	2,573,426	2,573,426	2,573,426	3,412,000	3,412,000	3,412,000	3,412,000	3,624,291	3,624,291
DF.to.bn	3,267,642	1,271,797	1,389,269	1,503,401	1,614,292	1,722,034	1,826,710	1,928,405	1,741,124	1,890,202	2,035,133	2,176,007	2,551,548	2,773,265
... - 1985	1,628,699	736,157	737,461	738,733	739,976	741,189	742,373	743,529	505,668	506,431	507,176	507,904	650,363	651,237
1986-91	1,247,173	298,850	322,676	345,828	368,324	390,184	411,427	432,071	343,965	358,936	373,501	387,672	391,692	404,485



Nivel de Referencia de Emisiones y Absorciones Forestales
de Costa Rica ante el Fondo de Carbono de FCPF

Actividad	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
1992-97	391,769	216,590	260,200	302,557	343,695	383,647	422,444	460,119	264,653	283,585	301,972	319,830	255,771	268,420
1998-00	-	20,200	68,933	116,283	162,297	207,014	250,466	292,686	479,333	533,331	585,770	636,670	649,967	690,522
2001-07	-	-	-	-	-	-	-	-	147,505	207,920	266,714	323,930	502,431	571,606
2008-11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	101,323	186,995
2012-13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AE.bp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AE.bn	(4,493,794)	(4,638,324)	(4,624,342)	(4,612,533)	(4,602,893)	(4,595,372)	(4,590,018)	(4,586,920)	(4,666,158)	(4,759,004)	(4,852,668)	(4,947,361)	(5,199,180)	(5,695,716)
... - 1985	(252,540)	(245,269)	(238,216)	(231,374)	(224,738)	(218,301)	(212,056)	(205,998)	(200,485)	(195,127)	(189,921)	(184,861)	(179,752)	(174,791)
1986-91	(1,430,821)	(1,364,332)	(1,300,204)	(1,238,439)	(1,179,028)	(1,121,942)	(1,067,142)	(1,014,580)	(969,052)	(925,339)	(883,387)	(843,139)	(805,211)	(768,882)
1992-97	(1,275,368)	(1,194,934)	(1,117,212)	(1,042,181)	(969,850)	(900,240)	(833,366)	(769,233)	(725,610)	(683,660)	(643,391)	(604,799)	(572,360)	(541,333)
1998-00	(1,171,964)	(1,665,104)	(1,575,777)	(1,489,221)	(1,405,048)	(1,323,099)	(1,243,352)	(1,165,863)	(1,075,576)	(988,634)	(905,155)	(825,217)	(756,701)	(691,286)
2001-07	-	-	(228,836)	(451,789)	(669,059)	(880,784)	(1,087,063)	(1,287,979)	(1,398,976)	(1,299,665)	(1,204,382)	(1,112,931)	(1,009,112)	(909,901)
2008-11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(382,118)	(753,664)	(1,115,039)	(1,353,860)	(1,227,361)
2012-13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(879,889)
TCTF	(363,101)	(168,685)	(164,098)	(159,530)	(155,169)	(151,006)	(147,039)	(143,268)	(296,459)	(284,461)	(272,767)	(261,375)	(522,185)	(502,273)
MF.bp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MF.bs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CO.bp	1,310,665,006	1,305,487,484	1,300,309,961	1,295,132,439	1,289,954,916	1,284,777,394	1,279,599,871	1,274,422,349	1,270,205,392	1,265,988,436	1,261,771,480	1,257,554,523	1,253,050,056	1,248,545,588
SI.b														
OT														
Total*	10,401,565	(793,101)	(661,647)	(535,706)	(415,174)	(299,912)	(189,882)	(85,089)	486,965	543,198	594,465	640,646	976,659	701,840

* No incluye las existencias de carbono en bosque primario (CO.bp).

6.1 Emisiones por deforestación

Como muestra la ecuación Ec.1 (ver la sección 3.6 de este informe y el Anexo 2), las emisiones por deforestación se estiman multiplicando los datos de actividad anuales ($DA_{i,t}$) de cada tipo de bosque i (= áreas deforestadas en un año específico) por sus respectivos factores de emisión ($FE_{i,t}$). En el caso de la deforestación los factores de emisión representan adiciones de CO₂ a la atmósfera y por eso se representan con un signo positivo.

En el Anexo 2 la ecuación Ec.1 se desagrega en sus diversos componentes y se relaciona con las ecuaciones del IPCC.

El nivel de referencia de la actividad “deforestación” se calculó como el promedio anual de emisiones por deforestación del período histórico 1996-2009. La deforestación incluida en el nivel de referencia es la deforestación antrópica bruta de bosques primarios y la deforestación antrópica bruta de los bosques nuevos. Las emisiones por deforestación no-antrópica se reportan de manera transparente en este informe y en las hojas de cálculo, pero no se incluyen en el nivel de referencia. Lo mismo se hará en los futuros reportes de los resultados del programa de reducción de emisiones para mantener la consistencia con el nivel de referencia

En la herramienta “FREL TOOL CR v.1” el cálculo de emisiones por deforestación se efectúa en las hojas “E AAAA” (donde “AAAA” se refiere al año, por ejemplo 1986). Al igual que los datos de actividad (hojas “DA AAAA”) y los factores de emisión (hojas “DE AAAA”), el cálculo se hace en cada celda de las matrices anuales de cambio de uso del suelo.

Realizando los cálculos celda por celda hace posible estimar y reportar de manera transparente las emisiones por deforestación de cada tipo de bosque y causal de la deforestación (antrópica o no-antrópica) y rastrear todos los cálculos. Sumando los valores las celdas de las matrices de cambio de uso del suelo que representan conversiones de categorías de bosques a categorías de no-bosque según los distintos tipos de deforestación que se quieren conocer y reportar de manera específica, sin incluir en esta suma las celdas que representan conversiones de categorías de no-bosque a categorías de bosque - las cuales se contabilizan como “aumento de existencias de carbono” - se obtiene el estimado total de emisiones por deforestación para cualquier tipo de deforestación y nivel de desglose de las emisiones por deforestación que se desee conocer y reportar. De esta manera, la herramienta “FREL TOOL CR v.1” hace explícito y completamente rastreable que los estimados de emisiones por deforestación reportados son realmente de deforestación bruta.

Por el gran tamaño de las matrices de cambio de uso, las hojas “E AAAA” incluyen, por debajo de la línea número 239, dos tablas-resumen que muestran el resultado de sumar los valores de las celdas de las matrices de cambio de uso del suelo según los tipos de bosque y las actividades REDD+ específicas – de acuerdo a las asignaciones de cada celda a una actividad REDD+ que se hacen en la hoja “ACTIVIDADES” de “FREL TOOL CR v.1”.

La primera tabla (que aparece en las celdas “B240:I289” de las hojas “E AAAA”) reporta el resultado de las estimaciones anuales de emisiones por deforestación de la siguiente manera:

- Deforestación antrópica:
 - Deforestación de bosques primarios
 - Deforestación de bosques secundarios, desglosada por cohorte de edad¹⁵³

¹⁵³ Los “cohortes de edad” se definen por los períodos de medición de los datos de actividad.

- Deforestación de plantaciones forestales, desglosada por cohorte de edad.
- Deforestación no-antrópica:
 - Deforestación de bosques primarios;
 - Deforestación de bosques secundarios, desglosada por cohorte de edad;
 - Deforestación de plantaciones forestales, desglosada por cohorte de edad.

De manera similar, más abajo de la fila 289, esta primera tabla reporta también los resultados de las estimaciones anuales de emisiones y remociones correspondientes a las demás actividades REDD+.

Como se mencionó anteriormente, la herramienta “FREL TOOL CR v.1” está preparada para mejoras futuras y por eso distingue entre “bosques secundarios” y “plantaciones forestales” aunque para esta primera versión del nivel de referencia se decidió fusionar estas dos categorías en una sola, llamada “bosques nuevos” en este informe, cuyos datos de actividad, factores de emisión y emisiones estimadas se reportan, en la herramienta “FREL TOOL CR v.1” bajo la etiqueta de la categoría “bosques secundarios”.

La segunda tabla (celdas “K240:S354” en las hojas “E AAAA”) presenta un resumen con todas las emisiones y remociones (o absorciones) asociadas a cada tipo de bosque y cohorte de edad. Esta tabla tiene el formato que se muestra a continuación:

Tabla 33. Formato de reporte de emisiones y remociones anuales asociadas a los bosques en la herramienta “FREL TOOL CR v.1” (Hojas “E AAAA”, celdas “K240:S354”).

Tipo de Bosque	Remociones o emisiones en áreas que permanecen bosque	Emisiones por pérdidas antrópicas de áreas	Emisiones por pérdidas no-antrópica de áreas	Emisiones por pérdidas totales de áreas	Remociones por ganancias de áreas	Balance anual
Bosques primarios						
Bosque muy húmedos y pluviales						
Bosques húmedos						
Bosques secos						
Manglares						
Bosques de palma (Yolillales)						
Bosques secundarios						
Bosque muy húmedos y pluviales						
- Bosques sec. del período ...- 1985						
- Bosques sec. del período 1986- 1991						
- Bosques sec. del período 1992- 1997						
- Bosques sec. del período 1998- 2000						
- Bosques sec. del período 2001- 2007						
- Bosques sec. del período 2008- 2011						
- Bosques sec. del período 2012- 2013						
Bosques húmedos						

Tipo de Bosque	Remociones o emisiones en áreas que permanecen bosque	Emisiones por pérdidas antrópicas de áreas	Emisiones por pérdidas no-antrópica de áreas	Emisiones por pérdidas totales de áreas	Remociones por ganancias de áreas	Balance anual
- Bosques sec. del período ... - 1985						
...						
- Bosques sec. del período 2012 - 2013						
Bosques secos						
- Bosques sec. del período ... - 1985						
...						
- Bosques sec. del período 2012 - 2013						
Manglares						
- Bosques sec. del período ... - 1985						
...						
- Bosques sec. del período 2012 - 2013						
Bosques de palma (Yolillales)						
- Bosques sec. del período ... - 1985						
...						
- Bosques sec. del período 2012 - 2013						
Total						

Nota: Por razones de espacio se omitieron las filas correspondientes a “Plantaciones Forestales” y a períodos de medición y reporte futuros, que también están incluidos en las tablas que aparecen en las hojas “E AAAA” de “FREL TOOL CR v.1”.

Las emisiones por deforestación estimadas para cada año en las hojas “E AAAA” se reportan, además, de manera desagregada por causal (antrópica, no-antrópica, total) y por tipo de bosque (incluyendo los cohortes de edad), en una tabla que incluye todos los años (desde 1986 hasta 2023, ya que la herramienta “FREL TOOL CR v1” está preparada para reportar el resultado de las mediciones futuras). Esta tabla aparece en las celdas “B52:AZ169” de la hoja “DECISIONES” de “FREL TOOL CR v1”. En esta tabla se pueden ver, y cambiar, las sub-categorías de “deforestación” incluidas en el nivel de referencia seleccionando la opción deseada en la columna “H” y, en las celdas “I54” y “J54”, la fecha de inicio y fin del período histórico de referencia. Al hacer las selecciones deseadas el nivel de referencia (reportado en la hoja “FREL”) se actualiza automáticamente.

Cabe además destacar los siguientes puntos:

- Las emisiones por deforestación bruta de bosques primarios corresponden a las emisiones asociadas a las pérdidas de áreas de bosque clasificadas como “primarios” en el MCS 1985/86. Nótese que el área de bosque primario nunca aumenta y siempre disminuye después del año 1986, pues solamente se restan áreas por la deforestación y nunca se suman áreas nuevas, razón por la cual las emisiones por deforestación de bosques primarios se clasifican como “brutas”.
- Las emisiones por deforestación bruta de bosques nuevos corresponden a los siguientes casos:
 - Pérdidas de áreas de bosques clasificadas como “secundario” en el MCS 1985/86 (identificados como “Bosques secundarios del período ...- 1986” en la tabla anterior). El área de esta cohorte de

edad nunca aumenta y siempre disminuye después del año 1986, pues se restan áreas por la deforestación y nunca se suman áreas nuevas, razón por la cual las emisiones por deforestación de esta cohorte de edad también se pueden clasificar como “brutas”.

- Pérdidas de áreas de bosques que aparecieron después del año 1986 en áreas que en el MCS 1985/86 fueron clasificadas en una categoría de no-bosque o que, en períodos de medición posteriores, fueron clasificadas como “bosque” en áreas que previamente no lo eran (identificados como “*Bosques secundarios de los períodos 1986-1991, 1992-1997, 1998-2000, 2001-2007, 2008-2011 y 2012-2013*” en la tabla anterior). El área de cada una de estas cohortes de edad solamente aumenta durante los períodos de medición en que aparecieron por primera vez, períodos en los cuales nunca se reporta deforestación de estas cohortes. En todos los períodos de medición posteriores, las áreas de estas cohortes nunca aumenta y siempre disminuye, debido a la deforestación y a que nunca se adicionan áreas nuevas, así que las emisiones por deforestación de estas cohortes de edad también se pueden clasificar como “brutas”.
- En el caso de los bosques nuevos, el cálculo de las existencias de carbono por hectárea presentes en cada cohorte de edad en cada año se efectúa en la hoja “BOSQUES NUEVOS” de “FREL TOOL CR v.1”. Los cálculos se basan en los siguientes supuestos:
 - Las diferentes cohortes de edad tienen un número distinto de clases de edad debido a que los períodos de medición tuvieron duraciones distintas. Por ejemplo, en el período de medición 1986-1991 las cohortes de edad contienen 6 clases de edad, mientras que en el período de medición 2012-2013 las cohortes de edad contienen solamente 2 clases de edad. Por esta razón, las cohortes de edad se identifican por la fecha de inicio y fin de cada período de medición (...-1985, 1986-1991, 1992-1997, etc.).
 - En el caso de la cohorte de edad ...-1985 se supuso que en 1986 esta cohorte contenía todas las clases de edad en proporciones iguales de área y que en años posteriores todas las clases de edad iban aumentando de un año por cada año más reciente.
 - Para saber cuáles edades y, por tanto, qué contenido de carbono tiene cada cohorte de edad en un año específico, se supuso que en el primer año del período de medición en el cual el cohorte apareció por primera vez se tenía solamente una clase de edad, cuya edad era equivalente a la edad mínima (E_{min}) a la cual los bosques se tornan visibles en imágenes Landsat (es decir 8 años en el caso de los “Bosques secos” y 4 años en los demás tipos de bosque). De esta manera al final de dicho período de medición se tienen n clases de edad (donde n es la duración en años del período de medición) con las siguientes edades: E_{min} , $E_{min}+1$, $E_{min}+2$, ..., $E_{min}+n-1$.
 - Las existencias anuales de carbono por hectárea de cada cohorte de edad se estimó como el promedio de las existencias de carbono de las clases de edad presentes en la cohorte en cada año, aumentando de un año la edad de cada clase de edad a cada año sucesivo.
- Cuando, en un periodo de medición, se reportan pérdidas de áreas en una cohorte de edad de bosques nuevos, se asume que todas las clases de edad anuales presentes en dicha cohorte se pierden en las mismas proporciones, así que en todos los años las clases de edad presentes en cada cohorte mantienen siempre la misma área.

6.2 Aumento de existencias de carbono en bosques nuevos

De manera similar al caso de la deforestación, los aumentos de existencias de carbono forestal en bosques nuevos se estiman aplicando la ecuación Ec.1 presentada en la sección 3.6 de este informe y en el Anexo

2, donde se desagrega y relaciona con las ecuaciones del IPCC. Eso quiere decir que las absorciones históricas de CO₂ por los bosques nuevos se calculan multiplicando las áreas de bosque existentes en cada tipo de bosque nuevo i y clase de edad $c.e.$ al final de cada año t ($DA_{i,t}$) por sus respectivos factores de emisión ($FE_{i,t}$), que en este caso representan más bien factores de absorción, y por lo tanto tienen un signo negativo (sustracción de CO₂ de la atmósfera).

Como se mencionó en el capítulo anterior de este informe, Costa Rica no dispone actualmente de información suficiente para poder tomar en cuenta el manejo forestal y otros factores antrópicos y no-antrópicos que podrían tener impactos sobre los cambios de existencia de carbono en los bosques (tanto primarios como nuevos). Sin embargo, según los expertos nacionales consultados (i.e. MSc German Obando) los bosques secundarios aún no se manejan en Costa Rica, y si se manejarían, esto sería con un sistema monocíclico, es decir con una tala rasa al final del ciclo, la cual se reflejaría en las imágenes de satélite y en los MCS como un cambio de categoría que se reportaría como deforestación (ya que no se podría saber que el área estaría temporalmente sin árboles, como se explicó en la sección 4.7).

Por tanto, el nivel de referencia para la actividad “aumento e existencias de carbono” solo toma en cuenta las curvas de crecimiento de los bosques secundarios, las cuales se utilizaron para calcular las existencias de carbono al principio y al final de cada año, para así poder aplicar el método de cambios de existencias de carbono (“*stock change method*”) del IPCC (ver las ecuaciones en el Anexo 2).

Considerando que las curvas empleadas fueron calibradas a partir de parcelas de diversa edad medidas en Costa Rica, se puede hacer el supuesto que dichas curvas representan los cambios netos de existencias de carbono, i.e. la diferencias entre todas las ganancias debidas al crecimiento y todas las pérdidas debidas a la mortalidad natural y otros factores, incluyendo la (poco probable) extracción de leña y otros productos de madera.

El nivel de referencia de la actividad “aumento de existencias de carbono forestal” se calculó como el promedio anual de las absorciones en los bosques nuevos¹⁵⁴ estimadas para el periodo histórico de referencia 1996-2009.

El nivel de referencia no incluye las absorciones (y las emisiones) de los bosques primarios que permanecieron como tales.

Es importante hacer la observación que un escenario de referencia basado en el promedio histórico de absorciones para la actividad “aumento de existencias de carbono forestal” no toma en cuenta de manera explícita:

- i. que la capacidad de absorber CO₂ de los bosques nuevos existentes al principio del programa de reducción de emisiones disminuye con el tiempo debido al envejecimiento de los bosques;
- ii. que las áreas de bosque nuevo existentes al principio del programa de reducción de emisiones disminuye debido a la deforestación;
- iii. que la cantidad de tierras disponibles en el país para establecer bosques nuevos en el futuro podría tener limitaciones que no existían en período histórico de referencia.

¹⁵⁴ Como se mencionó anteriormente, los “bosques nuevos” son todos los bosques que no fueron clasificados como “primarios” en los Mapas de Cobertura del Suelo (MCSs) creados desde el 1985/86 e incluyen también los bosques secundarios de la cohorte de edad “...-1985” que ya se tenía en el MCS 1985/86. Los “bosques nuevos” incluyen además todas las cohortes de edad que serán establecidas después del año 2009 en áreas que en esta fecha, o en fechas futuras, se clasifican en una categoría de “no-bosque”.

Ignorar estos tres elementos en la construcción del nivel de referencia podría resultar en una propuesta poco oportuna para el país. Por esta razón, se decidió construir un nivel de referencia alternativo para la actividad “aumento de existencias de carbono forestal”, tomando en cuenta los primeros dos elementos, ya que éstos se pueden considerar de manera transparente y objetiva, e ignorando el tercero, a pesar de su importancia, ya que su naturaleza requeriría de un estudio más profundo de la disponibilidad de tierras, lo cual no estaba incluido en el alcance del estudio. El nivel de referencia alternativo construido se comparó luego con el promedio histórico de absorciones para así poder concluir que, en el caso de Costa Rica, el promedio anual de absorciones del período 1996-2009 sí es una opción viable para establecer el nivel de referencia de Costa Rica.

El nivel de referencia alternativo, construido únicamente con el propósito de evaluar la viabilidad de proponer un nivel de referencia basado en el promedio anual de absorciones del período histórico de referencia, se construyó considerando:

- que los factores de absorción cambian con la edad de los bosques. Los bosques nuevos crecen y envejecen, cambiando su capacidad de almacenar carbono de acuerdo a su edad¹⁵⁵. Por eso, como es bien sabido por todos los forestales y ecólogos forestales, y como también lo muestran las curvas de absorción de carbono utilizadas para estimar los factores de absorción de los bosques nuevos (ver Figura 11), a edades avanzadas la capacidad de los bosques de almacenar carbono se satura, llegando hasta el punto que los bosques dejan de ser sumideros netos. Por esta razón, es más prudente para un país estimar las absorciones esperadas para cada año futuro de su programa de reducción de emisiones tomando en cuenta los factores de absorción aplicables a las edades que los bosques tendrán en el futuro, lo cual no sucede cuando el nivel de referencia se calcula como el promedio anual de las absorciones históricas.

La edad que los bosques nuevos tendrán en cada año del programa de reducción de emisiones se puede determinar en forma totalmente objetiva y transparente, ya que las áreas de bosque nuevo al final del 2009 se determinaron para cada tipo de bosque y clase de edad. Por tanto, el nivel de referencia alternativo, considerado más realista, se calculó utilizando en forma consistente las ecuaciones de Cifuentes (2008) – modificadas como se explicó en la sección 5.3.3 de este informe - para estimar los factores de absorción aplicables a los bosques nuevos de acuerdo a su edad futura.

- que los datos de actividad también cambian. Históricamente, todas las cohortes de edad de los bosques nuevos, después de su período de establecimiento, han venido perdiendo áreas debido a la deforestación. Eso quiere decir que también los datos de actividad cambian, disminuyendo irremediablemente en cada año posterior al periodo en que una cohorte de edad fue completamente establecida. Al disminuir los datos de actividad se reduce también el nivel de absorción de carbono de cada cohorte, pues a cada año nuevo existe menos área con bosques en crecimiento.

Las tasas de deforestación históricas se pueden calcular para cada tipo de bosque y cohortes de edad de manera totalmente transparente y objetiva. Por tanto, al aplicar estas tasas históricas de deforestación al área de bosque nuevo existente en cada cohorte de edad al principio (2010) del programa de reducción de emisiones se pueden calcular los datos de actividad aplicables a cada clase de edad en cada año futuro del programa de reducción de emisiones. Esto se hizo de la siguiente manera:

¹⁵⁵ La típica curva de crecimiento de un bosque coetáneo, como lo son los bosques secundarios y las plantaciones forestales, tiene una forma en “S”, es decir que cuando el bosque es joven su capacidad de absorber CO₂ aumenta cada año que pasa, hasta alcanzar un máximo, y luego empieza a disminuir, pudiendo llegar hasta a cero e incluso a valores negativos cuando los árboles empiezan a morir debido a su avanzada edad.

- En el caso del período histórico de referencia propuesto ante el Fondo de Carbono de FCPF (1996-2009) solamente tres cohortes de edad estaban completamente establecidas en el 1996 (... - 1985, 1986-1991, 1992-1997) así que las tasas históricas de deforestación se pudieron calcular solamente para estas tres cohortes. Además, debido a que entre 1996 y 1997 la cohorte 1992-1997 se estaba aún estableciendo (= acumulando área), los cálculos de las tasas se tuvieron que realizar a partir del 1998, que es el primer año en que se reporta deforestación de dicha cohorte.
- Las tasas de deforestación históricas se estimaron aplicando la siguiente ecuación:

$$Tasa = \left(\frac{A2}{A1} \right)^{\frac{1}{t2-t1-1}} - 1 \quad (\text{Ec.11})$$

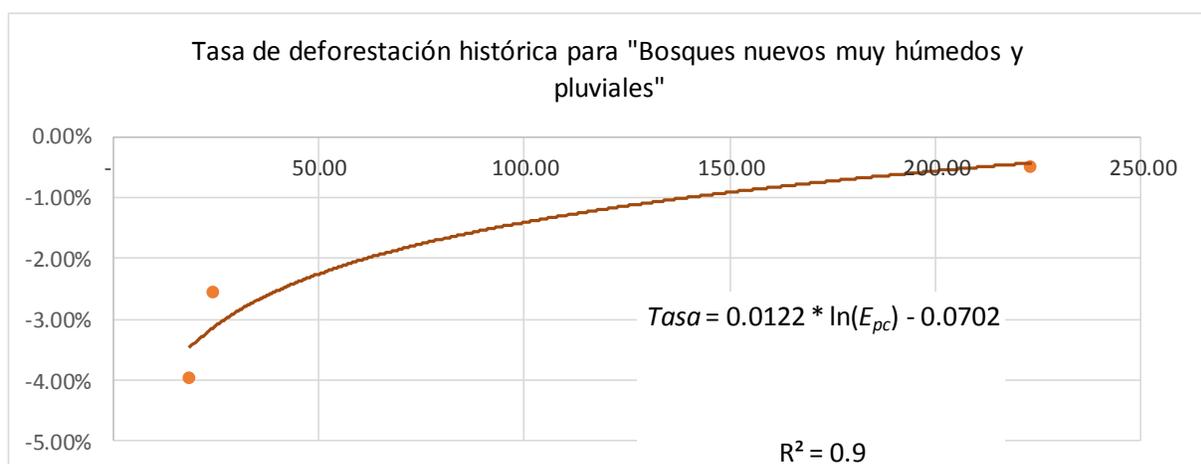
Donde:

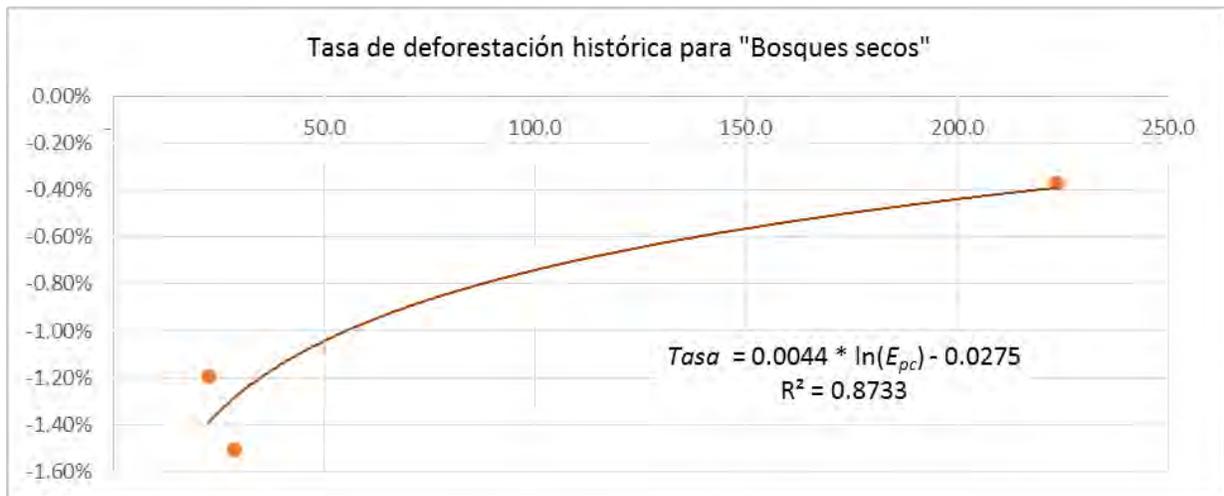
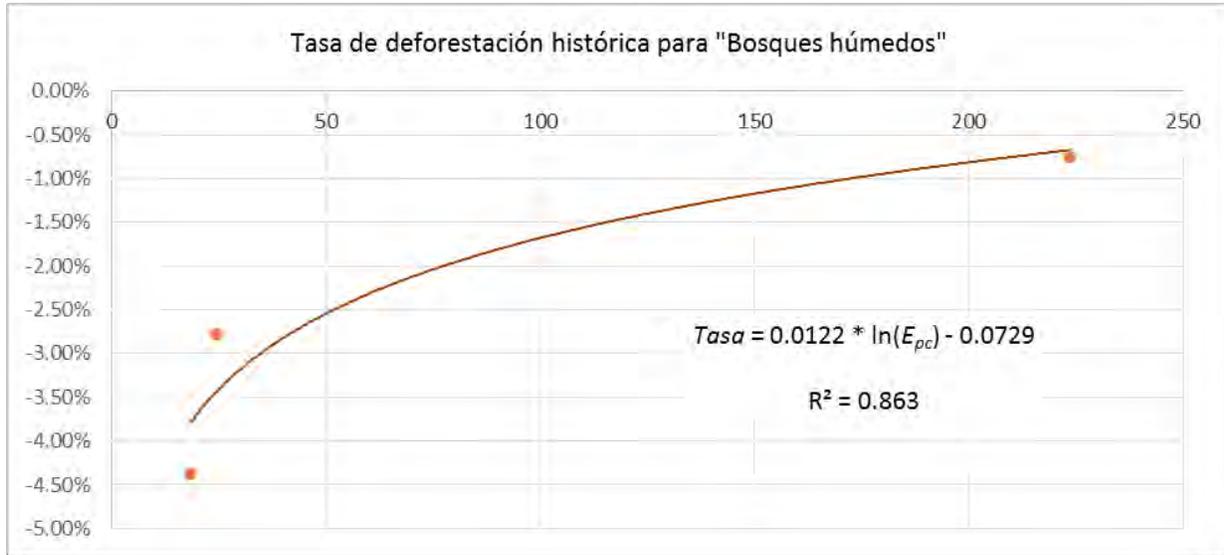
- Tasa* Porcentaje de área que se pierde o gana anualmente con respecto al área del año anterior; %
A1 Área al principio del período evaluado; ha
A2 Área al final del período evaluado; ha
t1 Año de inicio del período evaluado; años
t2 Año al final del período evaluado; años

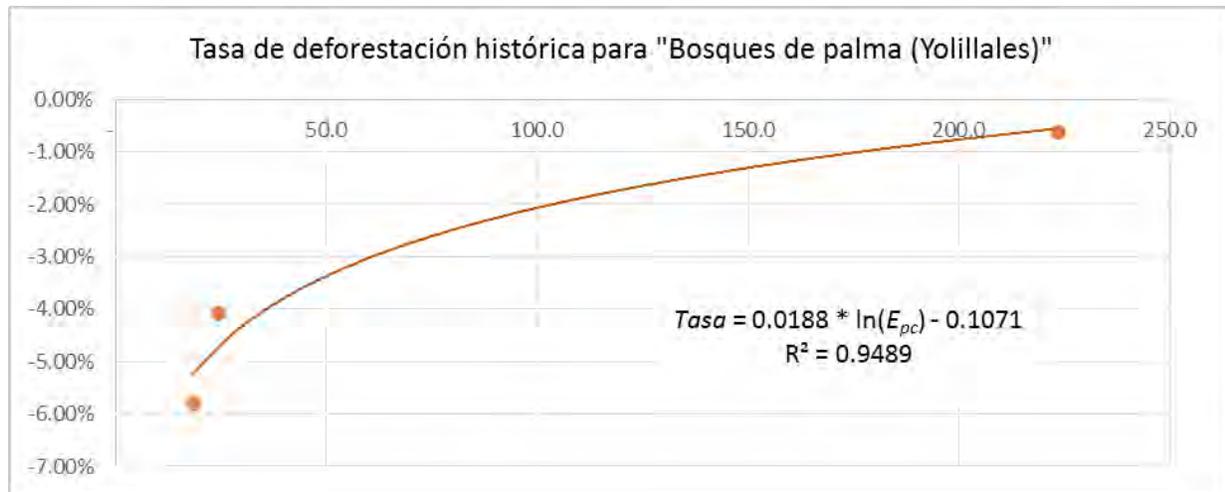
El resultado de las tasas estimadas se reporta en las celdas "AY172:AY754" de la hoja "DECISIONES" de "FREL TOOL v.1".

- Observándose que las tasas históricas de deforestación son más altas para las clases de edad más jóvenes, se generaron modelos para determinar la tasa de deforestación en función de la edad media de cada cohorte de edad. Los modelos se crearon mediante un análisis de regresión de las tasas históricas y luego se utilizaron para calcular la tasa de deforestación en función de la edad promedio de cada cohorte (E_{pc}) en los años de implementación del programa de reducción de emisiones hasta el año 2013. Los modelos generados se muestran en la Figura 15 y en la hoja "DECISIONES" de "FREL TOOL v.1".

Figura 15. Modelos de regresión generados para calcular la tasa de deforestación aplicable a las cohortes de edad en función de su edad promedio.







- Como se desprende de la Figura 15, los modelos de tasa tienen un ajuste bastante bueno, con valores de R^2 entre 0.86 y 0.95, excepto en el caso de los Manglares, donde el R^2 de 0.61. Sin embargo, considerando que los modelos fueron desarrollados con tres puntos solamente, los valores R^2 no son muy indicativos de la exactitud de los modelos.
- En el caso de los bosques nuevos que se establecerán a partir del año 2010 se asumió que el nivel de emisiones y absorciones, en el primer año de establecimiento, es igual el promedio histórico de emisiones y absorciones en el primer año de establecimiento del período histórico de referencia (1996-2009). Esto se hizo porque el primer año no incluye solamente las absorciones de carbono por los bosques nuevos establecidos sino también las emisiones por la oxidación del carbono existente en los usos del suelo anteriores.
- Para los años posteriores al primer año de establecimiento se aplicó la tasa histórica que predicen los modelos presentados en la Figura 15.
- El nivel de referencia alternativo para la actividad "aumento de existencias de carbono forestal" en bosques nuevos se determinó como las absorciones esperadas a partir del año 2010. Las mismas se calculan en la hoja "FRL&FREL" de la herramienta "FREL TOOL CR v.1" al seleccionar la opción "Absorciones con DA proyectados" en la celda "G92" en la hoja "FREL&FRL" de "FREL TOOL CR v.1". Los resultados se muestran en la Tabla 34, donde se comparan con el nivel de referencia calculado como el promedio histórico anual de las absorciones del período 1996-2009-

El nivel de referencia alternativo calculado con los métodos arriba expuestos se presenta en la Tabla 34.

Tabla 34. Comparación entre el nivel de referencia para la actividad “aumento de existencias de carbono forestal” construido bajo el Fondo de Carbono del FCPF y un nivel de referencia alternativo, considerado más realista, construido con los métodos explicados arriba.

Año	a. Nivel de referencia ante FC-FCPF	b. Nivel de referencia "alternativo"	Diferencia
Año del programa de reducción de emisiones	Promedio anual de absorciones del período 1996-2009	Absorciones proyectadas a partir de datos de actividad y factores de emisión proyectados	a - b
	tCO ₂ -e año ⁻¹	tCO ₂ -e año ⁻¹	tCO ₂ -e año ⁻¹
2010	-4,422,008	-4,611,620	189,612
2011	-4,422,008	-4,651,042	229,034
2012	-4,422,008	-4,688,883	266,875
2013	-4,422,008	-4,725,360	303,352
2014	-4,422,008	-4,760,628	338,620
2015	-4,422,008	-4,794,802	372,794
2016	-4,422,008	-4,827,972	405,964
2017	-4,422,008	-4,860,218	438,210
2018	-4,422,008	-4,891,613	469,605
2019	-4,422,008	-4,922,230	500,222
2020	-4,422,008	-4,952,145	530,137
2021	-4,422,008	-4,981,438	559,430
2022	-4,422,008	-5,010,192	588,184
2023	-4,422,008	-4,844,262	422,254

Como se desprende de la tabla anterior, el nivel de referencia propuesto ante el Fondo de Carbono del FCPF, calculado como el promedio histórico anual de absorciones, así como lo requiere el MF-FCPF, resulta en un nivel de absorciones anuales menor al nivel de referencia “alternativo”, y por tanto puede ser adoptado sin riesgo por Costa Rica al ser menos conservador.

6.3 Conservación de existencias de carbono en bosques primarios que permanecen bosques primarios

La conservación de existencias de carbono forestal en bosques primarios que permanecen como tales no está asociada a ningún tipo de flujo de gases de efecto invernadero, así que se definió como la existencia total de carbono (“stock”) en los bosques primarios existente al final de cada año. Debido a la deforestación, como se puede ver en las líneas 168 de las hojas “DECISIONES” y “FREL&FRL” de la herramienta “FREL TOOL CR v.1”, las existencias de carbono disminuyen cada año y nunca pueden aumentar.



Para determinar el nivel de referencia de esta actividad se determinó primero la tasa de deforestación histórica de período 1996-2009 para cada tipo de bosque, utilizando la ecuación Ec.7. Dichas tasas fueron las siguientes:

- Bosques muy húmedo y pluviales: -0.36%
- Bosques húmedos: -1.12%
- Bosques secos: -0.78%
- Manglares: -0.50%
- Bosques de palma (Yolillales): -0.81%
- **Total bosques primarios: -0.63%**

Con las tasas arriba mencionadas se calculó, para cada año del período 2010-2023, el área restante de cada tipo de bosques primario. Las áreas restantes se multiplicaron con la existencia de carbono promedio estimadas para bosques primarios intactos sin manejo forestal para obtener el estimado de las existencias de carbono forestal en bosques primarios que se conservarían, a partir del 2010, bajo un escenario sin programa de reducción de emisiones. El resultado de estos cálculos se reportan en la hoja “FRL&FREL” de “FREL TOOL CR v.1” y en la Tabla 35.

La forma en que se contabilizarían y pagarían los resultados de la actividad “conservación de existencias de carbono forestal” queda aún por definirse.

Tabla 35. Nivel de referencia para la actividad “conservación de existencias de carbono forestal”

Año	Áreas						Existencias de carbono					
	Bosques muy húmedos y pluviales	Bosques húmedos	Bosques secos	Manglares	Bosques de palma (Yolillales)	Total	Bosques muy húmedos y pluviales	Bosques húmedos	Bosques secos	Manglares	Bosques de palma (Yolillales)	Total
	-0.36%	-1.12%	-0.78%	-0.50%	-0.81%		647.57	473.46	357.82	334.22	241.66	
año	ha	ha	ha	ha	ha	ha	tCO ₂ -e	tCO ₂ -e	tCO ₂ -e	tCO ₂ -e	tCO ₂ -e	tCO ₂ -e
2009	1,370,550	683,850	37,459	35,003	122,412	2,249,274	887,531,265	323,772,921	13,403,575	11,698,686	29,581,989	1,265,988,436
2010	1,365,617	676,219	37,166	34,827	121,425	2,235,254	884,336,552	320,160,384	13,298,732	11,639,928	29,343,316	1,258,778,913
2011	1,360,701	668,674	36,875	34,652	120,445	2,221,349	881,153,340	316,588,155	13,194,709	11,581,466	29,106,568	1,251,624,238
2012	1,355,804	661,214	36,587	34,478	119,473	2,207,556	877,981,585	313,055,783	13,091,500	11,523,297	28,871,731	1,244,523,897
2013	1,350,923	653,836	36,301	34,305	118,509	2,193,874	874,821,248	309,562,823	12,989,098	11,465,421	28,638,789	1,237,477,379
2014	1,346,061	646,541	36,017	34,133	117,553	2,180,304	871,672,286	306,108,837	12,887,497	11,407,835	28,407,725	1,230,484,181
2015	1,341,215	639,327	35,735	33,961	116,605	2,166,843	868,534,659	302,693,390	12,786,691	11,350,539	28,178,527	1,223,543,804
2016	1,336,388	632,194	35,456	33,791	115,664	2,153,491	865,408,326	299,316,050	12,686,673	11,293,530	27,951,177	1,216,655,756
2017	1,331,577	625,140	35,178	33,621	114,731	2,140,247	862,293,246	295,976,394	12,587,438	11,236,807	27,725,661	1,209,819,547
2018	1,326,784	618,165	34,903	33,452	113,805	2,127,109	859,189,380	292,674,000	12,488,979	11,180,370	27,501,966	1,203,034,694
2019	1,322,008	611,267	34,630	33,284	112,887	2,114,077	856,096,686	289,408,453	12,391,290	11,124,216	27,280,075	1,196,300,718
2020	1,317,250	604,447	34,359	33,117	111,976	2,101,149	853,015,124	286,179,342	12,294,365	11,068,344	27,059,974	1,189,617,148
2021	1,312,508	597,703	34,090	32,951	111,073	2,088,325	849,944,654	282,986,260	12,198,198	11,012,752	26,841,649	1,182,983,513
2022	1,307,784	591,034	33,824	32,785	110,177	2,075,603	846,885,237	279,828,805	12,102,783	10,957,440	26,625,085	1,176,399,351
2023	1,303,076	584,440	33,559	32,620	109,288	2,062,983	843,836,832	276,706,580	12,008,115	10,902,406	26,410,269	1,169,864,202
2024	1,298,386	577,919	33,297	32,457	108,406	2,050,463	840,799,400	273,619,192	11,914,188	10,847,648	26,197,186	1,163,377,613
2025	1,293,712	571,470	33,036	32,294	107,531	2,038,044	837,772,902	270,566,251	11,820,995	10,793,165	25,985,822	1,156,939,134

7. Análisis de incertidumbres

Los requerimientos de los marcos metodológicos relativos a incertidumbres fueron mencionados en secciones anteriores de este informe y por tanto no se repiten aquí.

7.1 Incertidumbre de los datos de actividad

Tal y como se indicó en la sección 3.17 de este informe, los distintos marcos metodológicos requieren que se estime la incertidumbre de los datos de actividad. Mientras que MF-FCPF requiere que la incertidumbre de los datos de actividad se estime y que se propague con la incertidumbre de los factores de emisión y remoción a fin de estimar la incertidumbre de las reducciones de emisiones (i.e. expresado en forma de intervalos de confianza a dos lados al 90% de nivel de confianza), VCS JNR únicamente requiere que la exactitud total (“*overall accuracy*”) de la clasificación bosque/no-bosque del FCBM y de los mapas obtenidos como consecuencia del monitoreo sea de al menos el 75%.

La razón de esta divergencia en los requerimientos de ambos marcos metodológicos es que las incertidumbres de los datos de actividad generalmente son difíciles de obtener. Tal y como indica el GOF-GOLD REDD Sourcebook¹⁵⁶ y las directrices del GFOI¹⁵⁷, la incertidumbre de los datos de actividad se pueden obtener a partir de la información obtenida en las matrices de errores de un análisis de exactitud. No obstante, tal y como indican dichas publicaciones estas matrices son difíciles de obtener ya que harían falta datos de referencia de cambio, es decir, puntos de control multi-temporales. No obstante, con estas matrices de error para mapas de cambio, se podría aplicar la metodología definida por Olofsson *et al.* (2014) con la cual es posible determinar áreas ajustadas para las clases de cambio y sus incertidumbres.

Con el fin de cumplir con ambos requerimientos en relación con los Mapas de Cobertura del Suelo (MCS) y los datos de actividad, en el presente caso se ha realizado el análisis de exactitud tanto de los mapas de cobertura del suelo (MCS) como de los mapas de cambio (datos de actividad) para las siguientes épocas:

- Análisis de exactitud de los mapas de cobertura del suelo de los años 1985/1986, 2000/2001 y 2012/2013 con el fin de confirmar que están de acuerdo con los requisitos del VCS JNR en relación con la exactitud de la clasificación Bosque/No-Bosque;
- Análisis de exactitud del mapa de cambio de coberturas del suelo para el periodo 2001-2011, el cual es una combinación de los mapas de 2000/2001 y 2010/2011. Dicho análisis tiene como fin la determinación de las incertidumbres de los datos de actividad para su propagación con las incertidumbres de los factores de emisión tal y como requiere el MF-FCPF.

Estos dos análisis y las incertidumbres de los mapas se presentan en las dos secciones siguientes.

¹⁵⁶ Sección 2.7.3.1.3, el GOF-GOLD REDD Sourcebook 2014. (<http://www.gofcgold.wur.nl/redd/>).

¹⁵⁷ Sección 3.7 de GFOI, 2013. Integrating remote-sensing and ground-based observations for estimation of emissions and removals of greenhouse gases in forests: Methods and Guidance from the Global Forest Observations Initiative: Pub: Group on Earth Observations, Geneva, Switzerland, 2014. ISBN 978-92-990047-4-6

7.1.1 Incertidumbre de los Mapas de Cobertura del Suelo (MCS)

En primer lugar se analizaron las incertidumbres de las áreas estimadas para cada una de las clases de los MCS con el fin de comprobar que la clasificación Bosque/No-Bosque está de acuerdo con los requisitos del VCS JNR. La estructura para la presentación de la validación sigue la estructura recomendada por el GOF-C-GOLD REDD Sourcebook 2014¹⁵⁸.

Diseño de muestreo

El diseño de muestreo aplicado ha sido diferente en función de las fechas de los Mapas de Cobertura del Suelo (MCS). Por una parte, para el MCS 1985/86, MCS 2012/2013 y para el MCS más reciente (MCS 2012/13), se han utilizado datos existentes. Para MCS 2012/2013 se dispone de dos bases de datos de puntos de control independientes (una procedente del INBio+SINAC y otra del INM) con lo que se han realizado dos análisis independientes del MCS 2012/2013. El análisis con los datos INM se ha denominado 2012/2013bis. Dichos datos se aportan en la carpeta “AccuracyAssessment\PuntosControl”. En la Tabla 36 se presenta un resumen del diseño de muestreo para cada uno de los análisis y en la Figura 16 se muestra la distribución espacial de los puntos de control utilizados para los análisis de incertidumbres.

Tabla 36. Diseño de muestreo aplicado en la evaluación de la incertidumbre de los MCS para los años 1985/86, 2000/01 y 2012/13.

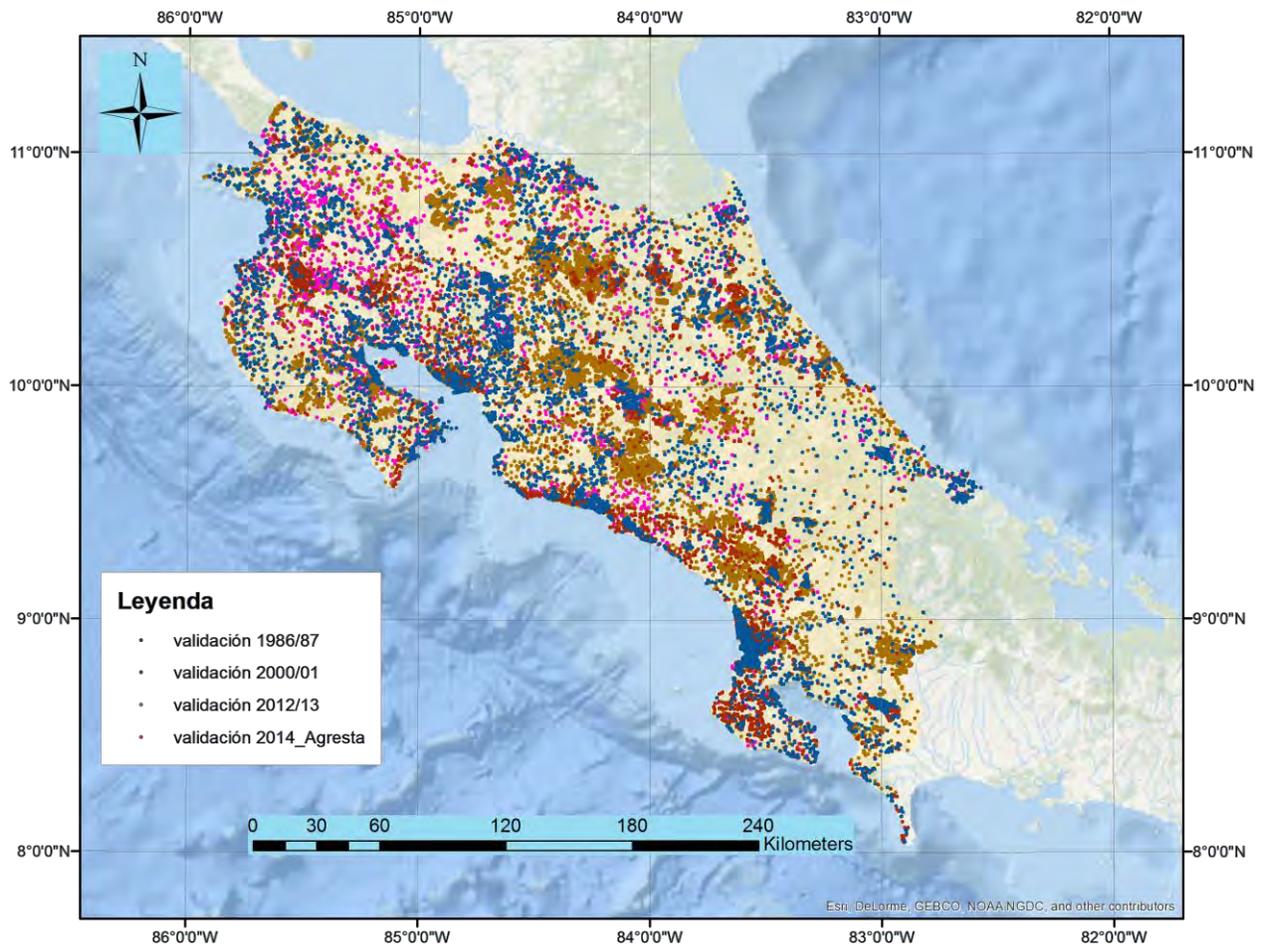
MCS	Diseño de muestreo	Explicación
1986/87	NO	5,396 puntos de control. Dichos puntos de control fueron desarrollados por INBio para la elaboración y verificación de los mapas generados en el marco del proyecto “Lecciones aprendidas y desarrollo de capacidades para aplicar iniciativas REDD+, la experiencia de Costa Rica”. Dichos puntos fueron dados por el CATIE a Agresta y los meta-datos aportados no estaban completos, por ello, no se tiene constancia que se haya aplicado un diseño de muestreo estadísticamente robusto.
2000/01	NO	7,463 puntos de control. Dichos puntos de control fueron desarrollados por INBio para la elaboración y verificación de los mapas generados en el marco del proyecto “Lecciones aprendidas y desarrollo de capacidades para aplicar iniciativas REDD+, la experiencia de Costa Rica”. Dichos puntos fueron dados por el CATIE a Agresta y los meta-datos aportados no estaban completos, por ello, no se tiene constancia que se haya aplicado un diseño de muestreo estadísticamente robusto.
2012/13	NO	8,536 puntos de control compilados por Agresta como parte de la consultoría “Generating a consistent historical time series of activity data from land use change for the development of Costa Rica’s REDD plus reference level”. Dichos puntos de control fueron compilados uniendo los puntos de control desarrollados por INBio y los puntos de control para el año 2012/13, validados en campo, desarrollados por SINAC en el marco de la elaboración del mapa de tipos de bosque de Costa Rica. No se tiene constancia que se haya aplicado un diseño de muestreo estadísticamente robusto ya que se han combinado dos fuentes distintas que habrán utilizado diseños diferentes en su caso.
2012/2013bis*	SI	El mapa 2012/2013 dispone de unos 9,208 puntos de control obtenidos por medio de levantamiento por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) en los años 2013 y 2014. El diseño de muestreo aplicado fue un muestreo aleatorio estratificado utilizando como

¹⁵⁸ Sección 2.7.3.1.3, GOF-C-GOLD REDD Sourcebook, 2014. (<http://www.gofcgold.wur.nl/redd/>).

MCS	Diseño de muestreo	Explicación
		criterio de estratificación un mapa de usos del suelo generado por el IMN para el año 2013. Estos datos fueron aportados directamente por el IMN.

*Para el MCS 2012/2013 existen dos análisis con dos bases de datos independientes; así el segundo de estos análisis viene identificado por 2012/2013bis.

Figura 16. Distribución espacial de los puntos de control utilizados para los análisis de incertidumbre de los MCS y de los datos de actividad.



En los análisis que se presentan a continuación se ha asumido que todos los puntos de control se han levantado en base a un muestreo aleatorio.

Diseño de respuesta

El diseño de respuesta son los protocolos utilizados para determinar las clases de referencia o condiciones del terreno y la definición de un criterio para la comparación de las clases de los mapas para las clases de referencia.

Tabla 37. Diseño de respuesta aplicado en la evaluación de la incertidumbre de los MCS para los años 1985/86, 2000/01 y 2012/13.

MCS	Diseño de muestreo	Referencia
1985/86	NO	Son puntos de 1986 desarrollados por INBio para la elaboración y verificación de los mapas generados en el marco del proyecto “Lecciones aprendidas y desarrollo de capacidades para aplicar iniciativas REDD+, la experiencia de Costa Rica” y aportados por el CATIE a Agresta. Se desconoce de dónde proceden los datos de referencia, aunque se cree que son datos generados para la clasificación de cartografía.
2000/01	NO	Son puntos del año 2000 desarrollados por INBio para la elaboración y verificación de los mapas generados en el marco del proyecto “Lecciones aprendidas y desarrollo de capacidades para aplicar iniciativas REDD+, la experiencia de Costa Rica” y aportados por el CATIE a Agresta. Se desconoce de dónde proceden los datos de referencia, aunque se cree que son datos generados para la clasificación de cartografía.
2012/13	NO	La parte de los datos procedentes de SINAC fueron levantados en campo por lo que se tiene confirmación de que son puntos de referencia utilizable aunque estos representan 167 puntos de 8,536. Son puntos de 2013 y 2014 que fueron compilados por Agresta como parte de la consultoría “ <i>Generating a consistent historical time series of activity data from land use change for the development of Costa Rica’s REDD plus reference level</i> ”.
2012/20 13bis*	SI	El levantamiento se ha realizado por medio de fotointerpretación, determinando su cobertura sobre las imágenes RapidEye como fuente directa, y Google Earth o la información recopilada en el campo (giras de campo de los años 2013 y 2014) como fuentes secundarias. Se utilizó como fuente de apoyo en algunos casos el mapa del SINAC de 2014. Estos datos fueron aportados directamente por el IMN.

*Para el MCS 2012/2013 existen dos análisis con dos bases de datos independientes; así el segundo de estos análisis viene identificado por 2012/2013bis.

Con el fin de utilizar los datos para el análisis, las clases utilizadas se han reclasificado en las clases del IPCC y clases de Bosque / No-Bosque y se han superpuesto sobre los mapas producidos.

Diseño de análisis

El diseño de análisis sigue las ecuaciones y procedimientos indicados por Olofsson *et al.* (2014), asumiendo que en todos los casos se ha aplicado un muestreo aleatorio. Las clases consideradas son las 6 del IPCC (Bosques, Cultivos, Pastizales, Áreas urbanas, Humedales, y Otras tierras) y estas también se han agrupado en las clases de Bosque/No-Bosque para estimar los estadísticos para esta clasificación.

El análisis consistió en primer lugar en estimar la matriz de errores en el que los datos de la matriz (p_{ij}) se expresan en forma de proporciones del área total, y no como número de puntos como usualmente se presenta en las matrices de confusión de los análisis de exactitud. Un ejemplo de dicha matriz para un mapa de 4 clases se presenta a continuación.

Figura 17. Ejemplo de matriz de errores

		Reference				
		Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Total
Map	Class 1	p_{11}	p_{12}	p_{13}	p_{14}	$p_{1\cdot}$
	Class 2	p_{21}	p_{22}	p_{23}	p_{24}	$p_{2\cdot}$
	Class 3	p_{31}	p_{32}	p_{32}	p_{34}	$p_{3\cdot}$
	Class 4	p_{41}	p_{42}	p_{43}	p_{44}	$p_{4\cdot}$
	Total	$p_{\cdot 1}$	$p_{\cdot 2}$	$p_{\cdot 3}$	$p_{\cdot 4}$	1

Los valores de dicha matriz se calcularon a partir de la proporción de cada una de las clases en el mapa (W_i) y la proporción de puntos clasificados en cada clase de error sobre el total en esa clase observada ($\frac{n_{ij}}{n_i}$):

$$\hat{p}_{ij} = W_i \frac{n_{ij}}{n_i}. \quad (\text{Ec.12})$$

Donde:

\hat{p}_{ij} Estimador de proporción del área total que cae en la clase observada i y la clase de referencia j ;

W_i Peso del estrato i ;

n_{ij} Número de puntos de control en la clase observada i y en la clase de referencia j ;

n_i Número de puntos de control total en la clase observada i ;

Los valores de dicha matriz se presentan entre las filas 26 y 37 de las hojas “4.AE xxxxx” y “5.AE xxxxx” archivos Excel con denominación “CDI_CostaRicaREL_AnalisisExactitud_MCSxxxxxx” localizados en la carpeta “AccuracyAssessment”.

En base a esta matriz se calcularían los siguientes estadísticos, cuyo cálculo recomienda las guías de buenas prácticas de Olofsson *et al.* (2014):

- Exactitud total (“Overall Accuracy”): $O = \sum_{j=1}^q p_{jj}$;
- Exactitud del usuario (“User’s accuracy”): $U_i = \frac{p_{ii}}{p_{i\cdot}}$ donde su complementario $(1 - \frac{p_{ii}}{p_{i\cdot}})$ es el error de comisión;
- Exactitud del productor (“Producer’s accuracy”): $P_j = \frac{p_{jj}}{p_{\cdot j}}$ donde su complementario $(1 - \frac{p_{jj}}{p_{\cdot j}})$ es el error de omisión.
- Áreas ajustadas de la clase k (“Adjusted area”): $\hat{A}_k = A \times \hat{p}_{\cdot k}$ donde A es el área total del área de interés y $\hat{p}_{\cdot k}$ se estima con la siguiente ecuación $\hat{p}_{\cdot k} = \sum_{i=1}^q W_i \frac{n_{ik}}{n_i}$.

Dichos indicadores se presentan con sus incertidumbres asociadas las cuales han sido estimadas utilizando las ecuaciones presentadas en Olofsson *et al.* (2014). Dichos valores se presentan se presentan entre las filas 39 y 61 de las hojas “4.AE xxxxx” y “5.AE xxxxx” archivos Excel con denominación “CDI_CostaRicaREL_AnalisisExactitud_MCSxxxxxx” localizados en la carpeta “AccuracyAssessment”.

Resultados

A continuación se reportan los resultados para el análisis de las clases bosque/no-bosque a excepción del año 2013bis para el cual también se reportan los estadísticos para las clases del IPCC. Dichos resultados se presentan en una hoja de cálculo en anexo.

MCS 1985/86

Los resultados del análisis de exactitud se muestran en las tablas que se presentan a continuación. Como se puede observar, el mapa MCS 1985/86 cumple con los requerimientos de VCS-JNR ya que la exactitud total de la clasificación bosque/no-bosque está por encima de 0.75. Como se indicó anteriormente el MF-FCPF no incluye requerimientos específicos sobre la exactitud los MCS; únicamente requiere la presentación de las incertidumbres de los datos de actividad y su propagación junto con las incertidumbres de los factores de emisión.

Tabla 38. Indicadores de exactitud del MCS 1985/1986

Clase	Exactitud Usuario (#)	Intervalo de confianza al 90% (#)	Exactitud Productor (#)	Intervalo de confianza al 90% (#)
Bosque	0.87	0.87 - 0.88	0.94	0.94 - 0.95
No Bosque	0.90	0.89 - 0.91	0.80	0.79 - 0.82
<hr/>				
Exactitud Total (#)	Intervalo de confianza al 90% (#)			
0.89	0.88 - 0.89			

No obstante, se puede observar que en materia de áreas, el área de bosque se ha sobre-estimado en relación con lo indicado por los datos de referencia.

Tabla 39. Áreas ajustadas e intervalos de confianza de estas para el MCS 1985/1986

Clase	Área estimada (ha)	Área ajustada (ha)	Error relativo al 90% de nivel de significancia (ha)	Error relativo al 90% de nivel de significancia (%)	Intervalo de confianza al 90% (ha)	Contiene al área estimada?
Bosque	3,187,714	2,963,325	35,274	1%	2,928,051 – 2,998,600	NO
No Bosque	1,810,861	2,035,250	35,277	2%	1,999,973 – 2,070,527	NO

MCS 2000/01

Los resultados del análisis de exactitud para el mapa MCS 2000/01 se muestran en las tablas que se presentan a continuación. Como se puede observar, el mapa MCS 2000/01 cumple con los requerimientos de VCS JNR ya que la exactitud total de la clasificación bosque/no-bosque está por encima de 0.75.

Tabla 40. Indicadores de exactitud del MCS 2000/2001

Clase	Exactitud Usuario (#)	Intervalo de confianza al 90% (#)	Exactitud Productor (#)	Intervalo de confianza al 90% (#)
Bosque	0.86	0.85 - 0.86	0.96	0.96 - 0.97
No Bosque	0.95	0.94 - 0.95	0.80	0.79 - 0.81
Exactitud Total (#)				
		Intervalo de confianza al 90% (#)		
	0.89	0.89 - 0.9		

No obstante, se puede observar que en materia de áreas, el área de bosque se ha sobre-estimado en relación con lo indicado por los datos de referencia.

Tabla 41. Áreas ajustadas e intervalos de confianza de estas para el MCS 2000/2001

Clase	Área estimada (ha)	Área ajustada (ha)	Error relativo al 90% de nivel de significancia (ha)	Error relativo al 90% de nivel de significancia (%)	Intervalo de confianza al 90% (ha)	Contiene al área estimada?
Bosque	3,071,471	2,727,788	29,895	1%	2,697,893 – 2,757,683	NO
No Bosque	1,927,105	2,270,788	29,894	1%	2,240,894 – 2,300,681	NO

MCS 2012/13

Los resultados del análisis de exactitud para el mapa MCS 2012/13 se muestran en las tablas que se presentan a continuación. Como se puede observar, el mapa MCS 2012/13 cumple con los requerimientos de VCS-JNR ya que la exactitud total de la clasificación bosque/no-bosque está por encima de 0.75.

Tabla 42. Indicadores de exactitud del MCS 2012/2013

Clase	Exactitud Usuario (#)	Intervalo de confianza al 90% (#)	Exactitud Productor (#)	Intervalo de confianza al 90% (#)
Bosque	0.88	0.87 - 0.89	0.97	0.97 - 0.98
No Bosque	0.96	0.96 - 0.97	0.83	0.82 - 0.84
Exactitud Total (#)				
		Intervalo de confianza al 90% (#)		
	0.91	0.91 - 0.92		

No obstante, se puede observar que en materia de áreas, el área de bosque se ha sobre-estimado en relación con lo indicado por los datos de referencia.

Tabla 43. Áreas ajustadas e intervalos de confianza de estas para el MCS 2012/2013

Clase	Área estimada (ha)	Área ajustada (ha)	Error relativo al 90% de nivel de significancia (ha)	Error relativo al 90% de nivel de significancia (%)	Intervalo de confianza al 90% (ha)	Contiene al área estimada?
Bosque	3,134,027	2,838,197	27,142	1%	2,811,055 – 2,865,340	NO
No Bosque	1,864,549	2,160,378	27,141	1%	2,133,237 – 2,187,519	NO

MCS 2012/2013bis

Los resultados del análisis de exactitud para MCS 2012/2013 utilizando los puntos de control del IMN (i.e. MCS 2012/2013bis) se muestran en las tablas que se presentan a continuación. Como se puede observar, el MCS 2012/2013 cumple en este caso también con los requerimientos del VCS JNR ya que la exactitud total de la clasificación bosque/no-bosque está por encima de 0.75.

Tabla 44. Indicadores de exactitud del MCS 2012/2013

Clase	Exactitud Usuario (#)	Intervalo de confianza al 90% (#)	Exactitud Productor (#)	Intervalo de confianza al 90% (#)
Bosque	0.76	0.75 - 0.77	0.95	0.95 - 0.96
No Bosque	0.94	0.93 - 0.94	0.70	0.69 - 0.71
Exactitud Total (#)				
		Intervalo de confianza al 90% (#)		
	0.82	0.82 - 0.83		

No obstante, se puede observar que en materia de áreas, el área de bosque se ha sobre-estimado en relación con lo indicado por los datos de referencia.

Tabla 45. Áreas ajustadas e intervalos de confianza de estas para el MCS 2012/2013

Clase	Área estimada (ha)	Área ajustada (ha)	Error relativo al 90% de nivel de significancia (ha)	Error relativo al 90% de nivel de significancia (%)	Intervalo de confianza al 90% (ha)	Contiene al área estimada?
Bosque	3134027	2494173	37409	1%	2456765 - 2531582	NO
No Bosque	1864549	2504402	37404	1%	2466998 - 2541806	NO

Ahora considerando la matriz de errores con las clases de IPCC, vemos que la exactitud total es menor lo cual se debe sobre todo a la reducida exactitud de usuario de los Pastizales, los cuales se han confundido en gran medida con la clase Cultivos.

Tabla 46. Indicadores de exactitud del MCS 2012/2013 considerando las categorías IPCC de usos del suelo

Clase	Exactitud Usuario (#)	Intervalo de confianza al 90% (#)	Exactitud Productor (#)	Intervalo de confianza al 90% (#)
Bosque	0.76	0.75 - 0.77	0.90	0.9 - 0.91
Cultivos	0.97	0.97 - 0.98	0.31	0.3 - 0.32
Pastizales	0.36	0.34 - 0.39	0.88	0.86 - 0.9
Áreas urbanas	0.94	0.9 - 0.99	0.91	0.85 - 0.96
Humedales	0.81	0.71 - 0.91	0.19	0.17 - 0.22
Otras tierras	0.45	0.41 - 0.49	0.48	0.41 - 0.55
Exactitud Total (#)				
Exactitud Total (#)		Intervalo de confianza al 90% (#)		
0.69		0.68 - 0.69		

En cuanto a las áreas, las conclusiones son similares a las anteriores aunque en este caso existen diferencias muy importantes con las clases cultivos y las clases de pastos. Mientras que la clase de Cultivos se a sub-estimado, la clase de pastos se ha sobre-estimado.

Tabla 47. Áreas ajustadas e intervalos de confianza de estas para el MCS 2012/2013 considerando las categorías IPCC del uso del suelo

Clase	Área estimada (ha)	Área ajustada (ha)	Error relativo al 90% de nivel de significancia (ha)	Error relativo al 90% de nivel de significancia (%)	Intervalo de confianza al 90% (ha)	Contiene al área estimada?
Bosque	3,134,027	2,631,342	41,812	2%	2,589,530 – 2,673,153	NO
Cultivos	529,136	1,651,142	42,851	3%	1,608,291 – 1,693,993	NO
Pastizales	1,190,835	494,132	28,839	6%	465,292 – 522,971	NO
Áreas urbanas	46,999	48,970	37,88	8%	45,181 – 52,758	SI
Humedales	24,867	104,641	13,508	13%	91,133 – 118,149	NO
Otras tierras	72,712	68,350	9,701	14%	58,649 – 780,50	SI
Total	4,998,575	4,998,575				

En conclusión, los mapas de todos los periodos estarían en conformidad con los requerimientos del VCS JNR ya que la exactitud total en la clasificación bosque /no-bosque sería del al menos el 75%.

En la siguiente sección se discute la incertidumbre de los datos de actividad y se analiza su cumplimiento con los requerimientos del MF-FCPF.

7.1.2 Incertidumbre de los datos de actividad

Las incertidumbres de los datos de actividad se pudieron estimar solamente para un periodo determinado para el cual existían datos de referencia. La estructura para la presentación de la validación sigue la estructura recomendada por el GOF-C-GOLD REDD Sourcebook 2014¹⁵⁹.

Diseño de muestreo

El diseño de muestreo se realizó siguiendo las directrices de Olofsson *et al.* (2014) consistente en un muestreo estratificado en el que el número de muestras se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$n = \frac{(\sum W_i S_i)^2}{[S(\hat{O})]^2 + (1/N) \sum W_i S_i^2} \approx \left(\frac{\sum W_i S_i}{S(\hat{O})} \right)^2 \quad (\text{Ec.13})$$

Donde:

W_i Peso del estrato i ;

S_i Desviación típica del estrato i el cual se determina por medio de la ecuación $S_i = \sqrt{U_i(U_i - 1)}$ donde U_i es la exactitud del usuario en el estrato i ;

$S(\hat{O})$ Error estándar de la exactitud total;

N_i Número de unidades en la región de interés;

Debido a la gran cantidad de clases de cambio, se consideraron únicamente cuatro clases de cambio siguiendo las directrices de Olofsson *et al.* (2014): Deforestación (Forest to Non-Forest); Bosques nuevos (Non-Forest to Forest); Bosque estable (Forest remaining Forest); No bosque estable (Non-Forest remaining Non-Forest). Se aplicó la ecuación anterior para determinar el número de muestras, para lo cual se asumió un $S(\hat{O})$ del 1% y se consideraron los valores del siguiente cuadro para W_i y U_i .

Tabla 48. Valores asumidos para estimar el número de muestras para realizar el análisis de exactitud del mapa de cambio de coberturas del suelo. Las áreas proceden del mapa inicial producido por Agresta antes del post-procesamiento realizado y descrito en la sección 3.

Estratos de cambio	Áreas (ha)	W_i	U
Deforestación (<i>Forest to Non-Forest</i>)	227,050.83	0.04	0.50
Bosques nuevos (<i>Non-Forest to Forest</i>)	212,889.15	0.04	0.60
Bosque estable (<i>Forest remaining Forest</i>)	2,926,948.95	0.57	0.93
No bosque estable (<i>Non-Forest remaining Non-Forest</i>)	1,741,729.59	0.34	0.95

¹⁵⁹ Sección 2.7.3.1.3, GOF-C-GOLD REDD Sourcebook 2014

El resultado de aplicar la ecuación es igual a 692 muestras. Siguiendo las directrices indicadas por Olofsson se consideró un mínimo de 50 muestras en la clase de deforestación y Bosques nuevos. El restante se distribuyó en las clases de bosque estable y no bosque estable en proporción al área de cada clase. Dicho cálculo se presenta en entre las filas 29 y 50 de la hoja “1.Tamaño muestra” del archivo Excel con denominación “CDI_CostaRicaREL_AnalisisExactitud_MCS2000-2001 vs MCS2010-2011” localizados en la carpeta “AccuracyAssessment”.

Finalmente, se levantaron 649 puntos: 315 en las áreas de bosque estable (áreas clasificadas como bosque en el año 2000/01 que se mantienen como bosque en el 2010/11), 223 en las de no bosque estable (áreas clasificadas como no bosque en el año 2000/01 que se mantienen como no bosque en el 2010/11), 63 en las de forestación/reforestación (áreas clasificadas como no bosque en el año 2000/01 que se clasifican como bosque en el 2010/11) y 48 en las de deforestación (áreas clasificadas como bosque en el año 2000/01 que se clasifican como no bosque en el 2010/11). Los valores de dichos puntos de control se presentan en la hoja “2001-2011_AccuracyAssessment” del archivo Excel con denominación “CDI_CostaRicaREL_AnalisisExactitud_MCS2000-2001 vs MCS2010-2011” localizados en la carpeta “AccuracyAssessment”.

Diseño de respuesta

La validación de cambios de uso del suelo entre los años MCS 2000/2001 y MCS 2010/2011 se realizó mediante la fotointerpretación utilizando las imágenes Landsat correspondientes las fechas de validación, ortofotografía aérea del año 2005 e imágenes Rapideye de los años 2011 y 2012. Dichos datos de referencia están de acuerdo a las directrices de Olofsson *et al.* (2014) ya que tienen mayor calidad y exactitud que los mapas y son independientes a la muestra utilizada para producir los MCS.

Diseño de análisis

El diseño del análisis es idéntico al del análisis de los MCS, pero calculando los estadísticos para las categorías de cambio en vez de las categorías de bosque/no-bosque. Los resultados se presentan en la hoja “2.AE Datos Actividad 2001-2011” del archivo Excel con denominación “CDI_CostaRicaREL_AnalisisExactitud_MCS2000-2001 vs MCS2010-2011” localizados en la carpeta “AccuracyAssessment”.

Adicionalmente, se implementó en la hoja “2.AE Datos Actividad 2001-2011” del archivo Excel con denominación “CDI_CostaRicaREL_AnalisisExactitud_MCS2000-2001 vs MCS2010-2011” una estimación de áreas ajustadas y errores relativos aplicando Bootstrapping para comprobar si existían diferencias con los valores estimados utilizando las ecuaciones de Olofsson *et al.* (2014). Dichos valores no se presentarán en la hoja de resultados.

Resultados

Los resultados de exactitud muestran unos valores de exactitud total bastante elevados (0.85) aunque esto es debido fundamentalmente a las altas exactitudes de las clases estables. Las clases de cambio en cambio tienen exactitudes reducidas por debajo de 0.6, lo que indica una incertidumbre muy elevada en los cambios predichos por los mapas.

Tabla 49. Estadísticos de exactitud para los cambios de coberturas entre el MCS 2000/2001 y MCS 2010/2011.

Clase	Exactitud Usuario (#)	Intervalo de confianza al 90% (#)	Exactitud Productor (#)	Intervalo de confianza al 90% (#)				
Deforestación (<i>Forest to Non-Forest</i>)	0.62	0.49 - 0.75	0.49	0.38 - 0.6				
Bosques nuevos (<i>Non-Forest to Forest</i>)	0.75	0.64 - 0.86	0.50	0.4 - 0.6				
Bosque estable (<i>Forest remaining Forest</i>)	0.88	0.84 - 0.91	0.94	0.92 - 0.96				
No bosque estable (<i>Non-Forest remaining Non-Forest</i>)	0.85	0.81 - 0.89	0.84	0.8 - 0.87				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Exactitud Total (#)</th> <th>Intervalo de confianza al 90% (#)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.85</td> <td>0.83 - 0.87</td> </tr> </tbody> </table>					Exactitud Total (#)	Intervalo de confianza al 90% (#)	0.85	0.83 - 0.87
Exactitud Total (#)	Intervalo de confianza al 90% (#)							
0.85	0.83 - 0.87							

En cuanto a las áreas ajustadas el resultado es similar. Mientras que existe una subestimación del área de bosque estable y consistencia en las áreas de no-bosque estable, las áreas de deforestación y nuevos bosques muestran sesgos e incertidumbres muy importantes. La deforestación en el periodo se ha subestimado en un 26% (con un error relativo del 22% al 90% de nivel de confianza) de media mientras que los bosques nuevos se han subestimado en un 51% (con un error relativo del 20% al 90% de nivel de confianza). Teniendo en cuenta los errores relativos, es muy probable que el sesgo de deforestación se podría haber reducido de manera importante con un incremento del número de muestras, mientras que los bosques nuevos se han subestimado en al menos un 31%, lo cual es muy significativo.

Tabla 50. Áreas ajustadas e intervalos de confianza de estas para el cambio de coberturas entre el MCS 2000/2001 y el MCS 2010/2011 considerando las categorías de cambio de bosque y no-bosque

Clase	Área estimada (ha)	Área ajustada (ha)	Sesgo (%)	Error relativo al 90% de nivel de significancia (ha)	Error relativo al 90% de nivel de significancia (%)	Intervalo de confianza al 90% (ha)	Contiene al área estimada?
Deforestación (<i>Forest to Non-Forest</i>)	222,418	280,602	26%	63,086	22%	217,516 – 343,688	SI
Bosques nuevos (<i>Non-Forest to Forest</i>)	208,162	314,796	51%	64,028	20%	250,768 – 378,824	NO
Bosque estable (<i>Forest remaining Forest</i>)	2,848,954	2,661,103	-7%	101,885	4%	2,559,218 – 2,762,989	NO
No bosque estable (<i>Non-Forest remaining Non-Forest</i>)	1,718,880	1,741,912	1%	99,201	6%	1,642,710 – 1,841,113	SI

7.2 Incertidumbre de los factores de emisión

Tal y como indicado por Cunia (187)¹⁶⁰ en la estimación de la biomasa y carbono en un área determinada, existen una serie de errores a considerar:

- **Error de Medición:** El error de medición se diferencia de los errores estadísticos ya que el error de medición es la diferencia entre el valor real y el valor computado para una unidad de muestreo. Dicho error contiene una componente aleatoria y sistemática. Mientras la primera tenderá a cero a medida que se miden unidades de muestreo (i.e. se compensan los errores), la segunda es más importante y es difícil de cuantificar. La única manera de reducirla, tal y como indicado por 2006 IPCC GL¹⁶¹, es el establecimiento de un plan de aseguramiento de calidad / control de calidad (QA/QC). En el caso del establecimiento de suficientes controles se puede asumir que esta parte sistemática es también cero, aunque en algunos estudios como en Chave *et al.* (2004)¹⁶² se indica

¹⁶⁰ Cunia, T., 1987. Error of forest inventory estimates: its main components. In E.H. Whraton & T. Cunia, eds., *Estimating tree biomass regressions and their error. Proceedings of the workshop on tree biomass regression functions and their contribution to the error of forest inventory estimates, May 26–30, 1986, Syracuse, N.Y. – Part E.* Broomall, PA, USA, USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, General Technical Report no. NE-117, p. 1–14. 34, 39, 46, 184

¹⁶¹ Capítulo 3 – Volumen 1 – 2006 IPCC GL

¹⁶² Chave, J., Condit, R., Aguilar, S., Hernandez, A., Lao, S. & Perez, R., 2004. Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates. *Philos. Trans. R. Soc. Lond., B Biol. Sci.*, 359(1443): 409–420. 40, 46, 50

que este error de medición puede ser igual a un 16% considerando el error de alturas, diámetros y medición de densidades básicas.

- Error del modelo alométrico: Generalmente la biomasa sobre el suelo no se mide directamente, sino que se miden variables biométricas de la vegetación que sirven de entrada en un modelo que estima la biomasa. En este caso existen dos errores posibles: el error asociado a la selección del modelo; el error asociado a la predicción de dicho modelo. La primera clase de errores consiste en que existen múltiples modelos disponibles para estimar la biomasa los cuales aportan estimaciones que pueden diferir en gran medida. Dicho error puede tener valores muy elevados tal y como indica Van Breugel *et al.* (2011)¹⁶³ el cual obtuvo errores asociados de entre el 5 y el 35% dependiendo del modelo elegido para realizar la estimación. La segunda clase de errores es la incertidumbre asociada a la predicción del modelo, la cual según Picard *et al.* (2013)¹⁶⁴ depende de dos factores: el plan de muestreo y el estimador. Así dos planes de muestreo o dos estimadores diferentes darán lugar a estimaciones diferentes manteniendo el resto de los factores idénticos.
- Error de muestreo: A los errores de medición y predicción anteriores, se le debe añadir el error del muestreo utilizado para realizar la inferencia para estimar la biomasa/carbono a nivel del área de interés. Dicho error depende¹⁶⁵ de: a) el diseño de muestreo; b) el tamaño de muestreo; c) el tipo de estimador utilizado; d) la variabilidad inherente entre las unidades de muestreo. Dicho error de muestreo es el único error que generalmente se reporta en los estudios.

Los marcos metodológicos aplicables no indican claramente qué errores deben considerarse, a excepción del 2006 IPCC GL que incluye una descripción de buenas prácticas en el cálculo y consideración de incertidumbres, aunque no incluye un requisito claro de qué incertidumbres a considerar. Tal y como se indicó en la sección 4 de este informe, para la estimación de las densidades de carbono se utilizaron únicamente valores del IFN y de otras fuentes con incertidumbres cuantificadas. Dichas incertidumbres en todos los casos eran incertidumbres estadísticas asociadas al muestreo, y no consideraban incertidumbres de medición o incertidumbres de los modelos alométricos aplicados.

En relación con los requerimientos de los distintos marcos metodológicos, tal y como se indicaba en la sección 4.2.3 de este informe, se debe cumplir con las siguientes condiciones:

- Se deberá estimar la incertidumbre de los factores de emisión siguiendo las directrices del IPCC (Capítulo 2 del Volumen 1 del 2006 IPCC) y, en particular, la propagación de errores en los estimados de reducción de emisiones deberá seguir el Método 2 (Método de Montecarlo).
- La incertidumbre de las reducciones de emisión se deberá presentar como intervalos de confianza de dos lados al 90% de confianza.
- Únicamente para el VCS, los factores de emisión deberán corregirse si el margen de error relativo es mayor del 10%.

¹⁶³ van Breugel, M., Ransijn, J., Craven, D., Bongers, F. & Hall, J.S., 2011. Estimating carbon stock in secondary forests: Decisions and uncertainties associated with allometric biomass models. *For. Ecol. Manag.*, 262(8): 1648–1657. 40, 43, 46, 50

¹⁶⁴ Picard N., Saint-André L., Henry M., 2012. Manual for building tree volume and biomass allometric equations: from field measurement to prediction. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, and Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, Montpellier, 215 p.

¹⁶⁵ Introducción - Cunia, T. 1987

Por tanto, se deben realizar una estimación de la incertidumbre para la reducción de emisiones y otra para los factores de emisión/absorción. El primero, con el fin de aplicar los descuentos requeridos por el MF-FCPF y el segundo para aplicar los ajustes definidos por el VCS JNR. El primer tipo de ajuste y estimación se discutirá en la sección 6.3 y 6.4 de este informe, mientras que para el segundo se incluye una discusión a continuación. Para ello se siguieron los siguientes pasos:

1. Estimación de la incertidumbres de los parámetros de entrada: En primer lugar se estimaron los parámetros de entrada de la hoja de cálculo, estos son valores obtenidos de la bibliografía y que sirven como parámetros de entrada para las ecuaciones presentadas en la sección 4 de este informe. En este caso la estimación de las incertidumbres se realizó siguiendo las directrices del IPCC (Capítulo 2 del Volumen 1 del 2006 IPCC GL). Se identificaron las incertidumbres descritas en las distintas publicaciones o determinadas a partir de los datos del IFN, y en el caso de combinar valores de varias fuentes, la propagación se hizo siguiendo el Método 1 de las directrices del IPCC para propagación de incertidumbres. Es decir, en el caso de una suma de dos parámetros x y y se consideró que sus incertidumbres σ_x y σ_y se combinarían con la raíz de la suma de cuadrados: $\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}$. En el caso de una multiplicación de los parámetros x e y se consideró que sus incertidumbres σ_x y σ_y se combinarían con la siguiente ecuación: $\sqrt{\left[\frac{\partial f}{\partial x} \sigma_x\right]^2 + \left[\frac{\partial f}{\partial y} \sigma_y\right]^2}$. Estas ecuaciones son equivalentes a las indicadas en el Capítulo 2 del Volumen 1 del 2006 IPCC GL. Las incertidumbres de dichos parámetros se presentan en la hoja "4.TablaDeParametros" del archivo Excel "BaseDeDatos_v1". Estas incertidumbres hacen referencia a los cálculos de incertidumbres realizados en la hoja "3.DensidadesCarbono" del mismo archivo.
2. Estimación de las incertidumbres de las densidades de carbono: Después se aplicaron las mismas ecuaciones anteriores para combinar las incertidumbres de todos los parámetros con el fin de estimar la incertidumbre agregada de las densidades de carbono para cada categoría del uso del suelo. Esta agregación se realizó siguiendo el Método 1 de las directrices del IPCC presentadas anteriormente. Dicha agregación se realizó directamente en la herramienta "FREL TOOL CR v.1", en la hoja "CARBONO" entre las celdas Y14: AM6053.
3. Corrección de la estimación: El siguiente paso fue realizar la corrección a la estimación si el error relativo de las densidades de carbono que superaran el 10% al 90% de nivel de confianza. La ecuación que se aplicó para el nivel de referencia fue la siguiente:

Para nivel de referencia:

$$\text{Si } \frac{CIC_k(CS)}{C_k(CS)} > 0.10 \rightarrow C'_k(CS) = \left(1 - \frac{CIC_k(CS)}{C_k(CS)} + 0.10\right) \times C_k(CS) \quad (\text{Ec.14})$$

Para monitoreo:

$$\text{Si } \frac{CIC_k(CS)}{C_k(CS)} > 0.10 \rightarrow C'_k(CS) = \left(1 + \frac{CIC_k(CS)}{C_k(CS)} - 0.10\right) \times C_k(CS) \quad (\text{Ec.15})$$

$$\text{Si } \frac{CIC_k(CS)}{C_k(CS)} \leq 0.10 \rightarrow C'_k(CS) = C_k(CS) \quad (\text{Ec.16})$$

Donde:

$CIC_k(CS)$ Mitad del intervalo de confianza al 90% de nivel de confianza de la densidad de carbono del reservorio o fuente k para una categoría del uso del suelo / estrato (CS), $\text{tCO}_2 \text{ ha}^{-1}$

$C_k(CS)$	Densidad de carbono del reservorio o fuente k para una categoría del uso del suelo / estrato (CS), $tCO_2 ha^{-1}$
$C'_k(CS)$	Densidad de carbono ajustada en conformidad del VCS JNR del reservorio o fuente k para una categoría del uso del suelo / estrato (CS), $tCO_2 ha^{-1}$
k	Reservorio o Fuente de emisiones k .

La aplicación de dicha corrección se presenta en la herramienta “FREL TOOL CR v.1”, en la hoja “CARBONO” entre las celdas AP14: BD6053.

Aunque el VCS JNR exige la corrección de los factores de emisión u absorción, en este caso la corrección de todas las densidades de carbono que superen el límite permitido hará que los factores de emisión resultantes estén dentro de los límites permitidos. Como se indica en las ecuaciones para el monitoreo el signo del ajuste será opuesto al del nivel de referencia.

Resultados

Las incertidumbres propagadas para cada categoría y reservorio al final de la hoja “CARBONO” de la herramienta “FREL TOOL CR v.1” entre las celdas Y14: AM6053.y también se describen con detalles en la sección 6.2 del informe CDI (2015.b).

Los resultados se reportan en las Tablas 51 y 52. La Tabla 51 presenta los valores de incertidumbres al 90% de confianza en $tCO_2 ha^{-1}$ para cada uno de los reservorios y categorías. La Tabla 51 presenta las incertidumbres relativas (%) al 90% de nivel de confianza.

Tabla 51. Incertidumbre promedio al 90% de nivel de confianza de las existencias de carbono estimadas para cada categoría, reservorio y gas utilizando el Método 1 del IPCC.

Notas: **TF & TFC** = Tierras Forestales y Tierras Convertidas a Tierras Forestales; **C** = Cultivos; **P** = Pastizales; **H** = Humedales; **AU** = Áreas Urbanas; **OT** = Otras Tierras; **SI** = Sin Información. **Bhp** = Bosques muy húmedos y pluviales; **Bh** = Bosques húmedos; **Bs** = Bosques secos; **Man** = Manglares; **Bp-Y** = Bosques de palma – Yolillales; **bp** = bosques primarios; **bn** = bosques nuevos; **smf** = sin manejo forestal; **cmf** = con manejo forestal; **i** = intacto; **d** = degradado; **md** = muy degradado; **int** = intervenido; **1 ... 400** = edad en años; **an** = anual; **per** = permanente; **zll** = zona lluviosa (> 2000 mm año⁻¹); **zh** = zona húmeda (1000-2000 mm año⁻¹); **para** = Páramos; **sd** = suelos desnudos; **nat** = natural; **art** = artificial; **BARA** = Biomasa Arbórea Aérea; **BNAA** = Biomasa No-Arbórea Aérea; **BARS** = Biomasa Arbórea Subterránea; **BNAS** = Biomasa No-Arbórea Subterránea; **MMA** = Madera Muerta Aérea; **MMS** = Madera Muerta Subterránea; **H** = Hojarasca; **COS** = Carbono Orgánico del Suelo; **PM.F1** = Productos de Madera, Fracción 1 (productos de papel); **PM.F2** = Productos de Madera, Fracción 2 (paneles no-estructurales); **PM.F3** = Productos de Madera, Fracción 3 (contrachapado, tableros y paneles estructurales); **PM.F4** = Productos de Madera, Fracción 4 (madera de aserrío); **CO₂** = dióxido de carbono; **CH₄** = Metano; **N₂O** = Óxido nitroso.

				CO ₂									Gases no-CO ₂		Total			
				Biomasa aérea		Biomasa subterránea		Madera muerta		Hoja-rasca	C suelo	Productos de madera: cosechas en cambio de uso				Quema de biomasa		
				BARA	BNAA	BARS	BNAS	MMA	MMS	H	COS	PM.F1	PM.F2	PM.F3	PM.F4	CH ₄	N ₂ O	
				incluido	incluido	incluido	incluido	incluido	excluido	incluido	excluido	incluido	incluido	incluido	incluido	incluido	incluido	
				tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹								
TF & TCF	Bhp	bp	smf	i	37.46	8.32	-	8.75			0.94	23.57	-	0.55	4.34	2.56	6.60	
				d	29.36	6.64	-	8.75			0.94	23.57	-	0.43	3.40	2.01	5.40	
			md	18.22	4.27	-	8.75			0.94	23.57	-	0.27	2.11	1.25	3.75		
			cmf	int	29.34	6.64	-	9.47			0.92	23.57	-	0.43	3.40	2.01	5.14	
		bn	smf	1	0.75	0.22	-	0.08			0.02	23.57	-	0.01	0.10	0.06	0.14	
				2	1.48	0.42	-	0.16			0.05	23.57	-	0.02	0.19	0.11	0.27	
				399	37.44	8.32	-	4.06			1.17	23.57	-	0.61	4.82	2.84	6.82	
				400	37.45	8.32	-	4.06			1.17	23.57	-	0.61	4.82	2.84	6.82	
	Bh	bp	smf	i	28.20	6.43	-	23.25			1.04	57.93	-	0.40	3.16	1.86	4.96	
				d	22.10	5.13	-	23.25			1.04	57.93	-	0.31	2.47	1.46	4.12	
				md	13.72	3.30	-	23.25			1.04	57.93	-	0.19	1.54	0.91	2.98	
		bn	smf	int	22.09	5.13	-	14.66			0.82	57.93	-	0.31	2.47	1.46	3.73	
				1	0.88	0.26	-	0.58			0.03	57.93	-	0.01	0.11	0.06	0.16	
				2	1.73	0.48	-	1.15			0.06	57.93	-	0.03	0.21	0.12	0.31	



Nivel de Referencia de Emisiones y Absorciones Forestales
de Costa Rica ante el Fondo de Carbono de FCPF

				CO ₂										Gases no-CO ₂		Total				
				Biomasa aérea		Biomasa subterránea		Madera muerta		Hoja-rasca	C suelo	Productos de madera: cosechas en cambio de uso				Quema de biomasa				
				BARA	BNAA	BARS	BNAS	MMA	MMS	H	COS	PM.F1	PM.F2	PM.F3	PM.F4	CH ₄	N ₂ O			
				incluido	incluido	incluido	incluido	incluido	excluido	incluido	excluido	incluido	incluido	incluido	incluido	incluido	incluido			
				tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹										
Bs	bp	smf	399	28.20		6.43	-	18.72				1.04	57.93	-	0.44	3.45	2.03	5.02		
			400	28.20		6.43	-	18.72				1.04	57.93	-	0.44	3.45	2.03	5.02		
		cmf	i	17.96		4.22	-	21.92					0.61	168.55	-	0.26	2.06	1.21	4.05	
			d	14.08		3.37	-	21.92					0.61	168.55	-	0.20	1.61	0.95	3.49	
			md	8.74		2.17	-	21.92					0.61	168.55	-	0.13	1.00	0.59	2.74	
	bn	smf	int	14.07		3.37	-	6.06				1.45	168.55	-	0.20	1.61	0.95	2.72		
			1	0.00		0.00	-	0.00				0.00	168.55	-	0.00	0.00	0.00	0.00		
		cmf	2	0.00		0.00	-	0.00				0.00	168.55	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
			399	17.96		4.22	-	7.74				1.85	168.55	-	0.29	2.27	1.34	3.72		
			400	17.96		4.22	-	7.74				1.85	168.55	-	0.29	2.27	1.34	3.72		
Man	bp	smf	i	31.21		7.25	-	2.05			0.24	-	-	0.38	2.98	1.76				
			d	24.47		5.79	-	2.05			0.24	-	-	0.30	2.34	1.38				
			md	15.19		3.72	-	2.05			0.24	-	-	0.18	1.45	0.86				
		cmf	int	24.45		5.78	-	1.97			0.57	-	-	0.30	2.34	1.38				
	bn	smf	1	0.31		0.10	-	0.03				0.01	-	-	0.00	0.03	0.02			
			2	0.62		0.19	-	0.05				0.01	-	-	0.01	0.06	0.03			
			399	31.21		7.25	-	2.51				0.72	-	-	0.37	2.94	1.74			
		cmf	400	31.21		7.25	-	2.51				0.72	-	-	0.37	2.94	1.74			
			bp	smf	i	40.89		9.74	-	7.02			1.13	225.49						
					d	32.05		7.77	-	7.02			1.13	225.49						
Bp-Y	cmf	smf	md	19.89		5.00	-	7.02			1.13	225.49								
			int	32.03		7.77	-	5.68			0.90	225.49								
	bn	smf	1	0.41		0.14	-	0.08			0.01	225.49								
			2	0.82		0.26	-	0.17			0.02	225.49								



Nivel de Referencia de Emisiones y Absorciones Forestales
de Costa Rica ante el Fondo de Carbono de FCPF

				CO ₂									Gases no-CO ₂		Total											
				Biomasa aérea		Biomasa subterránea		Madera muerta		Hoja-rasca	C suelo	Productos de madera: cosechas en cambio de uso				Quema de biomasa										
				BARA	BNAA	BARS	BNAS	MMA	MMS	H	COS	PM.F1	PM.F2	PM.F3	PM.F4	CH ₄	N ₂ O									
				incluido	incluido	incluido	incluido	incluido	excluido	incluido	excluido	incluido	incluido	incluido	incluido	incluido	incluido									
				tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹	tCO ₂ -e ha ⁻¹																
C				399	40.89		9.74	-	8.40			1.14	225.49													
				400	40.89		9.74	-	8.40			1.14	225.49													
	per	an			-	9.69	-	2.45	-			-														
					1	2.04	0.89	0.66	0.31	0.02			0.18													
		zll				2	4.08	1.77	1.26	0.58	0.04			0.36												
						399	40.80	17.72	10.62	4.89	0.43			3.61												
						400	40.80	17.72	10.62	4.89	0.43			3.61												
						zh				1	2.04	0.89	0.66	0.31	0.02			0.18								
										2	4.08	1.77	1.26	0.58	0.04			0.36								
										399	40.80	17.72	10.62	4.89	0.43			3.61								
400	40.80	17.72	10.62	4.89	0.43							3.61														
P					-	-	-	-	6.29			-														
AU					-	-	-	-	-			-														
H				nat	-	-	-	-	-			-														
				art	-	-	-	-	-			-														
OT		para			-	2.16	-	0.53	-			-														
					sd			nat	-		-	-														
								art	-		-	-														
SI					-		-	-																		

Tabla 52. Incertidumbres relativas (%) promedio al 90% de nivel de confianza de las existencias de carbono estimadas para cada categoría, reservorio y gas utilizando el Método 1 del IPCC.

Notas: **TF & TFC** = Tierras Forestales y Tierras Convertidas a Tierras Forestales; **C** = Cultivos; **P** = Pastizales; **H** = Humedales; **AU** = Áreas Urbanas; **OT** = Otras Tierras; **SI** = Sin Información. **Bhp** = Bosques muy húmedos y pluviales; **Bh** = Bosques húmedos; **Bs** = Bosques secos; **Man** = Manglares; **Bp-Y** = Bosques de palma – Yolillales; **bp** = bosques primarios; **bn** = bosques nuevos; **smf** = sin manejo forestal; **cmf** = con manejo forestal; **i** = intacto; **d** = degradado; **md** = muy degradado; **int** = intervenido; **1 ... 400** = edad en años; **an** = anual; **per** = permanente; **zll** = zona lluviosa (> 2000 mm año⁻¹); **zh** = zona húmeda (1000-2000 mm año⁻¹); **para** = Páramos; **sd** = suelos desnudos; **nat** = natural; **art** = artificial; **BARA** = Biomasa Arbórea Aérea; **BNAA** = Biomasa No-Arbórea Aérea; **BARS** = Biomasa Arbórea Subterránea; **BNAS** = Biomasa No-Arbórea Subterránea; **MMA** = Madera Muerta Aérea; **MMS** = Madera Muerta Subterránea; **H** = Hojarasca; **COS** = Carbono Orgánico del Suelo; **PM.F1** = Productos de Madera, Fracción 1 (productos de papel); **PM.F2** = Productos de Madera, Fracción 2 (paneles no-estructurales); **PM.F3** = Productos de Madera, Fracción 3 contrachapado, tableros y paneles estructurales); **PM.F4** = Productos de Madera, Fracción 4 (madera de aserrío); **CO₂** = dióxido de carbono; **CH₄** = Metano; **N₂O** = Óxido nitroso.

					CO ₂								Gases no-CO ₂		Total				
					Biomasa aérea		Biomasa subterránea		Madera muerta		Hoja-rasca	C suelo	Productos de madera: cosechas en cambio de uso				Quema de biomasa		
					BARA	BNAA	BARS	BNAS	MMA	MMS	H	COS	PM.F1	PM.F2		PM.F3	PM.F4	CH ₄	N ₂ O
					incluido	incluido	incluido	incluido	incluido	excluido	incluido	excluido	incluido	incluido		incluido	incluido	incluido	incluido
					%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%				
TF & TCF	Bhp	bp	smf	i	8%		8%		18%		0%	0%			2%	20%	23%	137%	0%
				d	8%		8%		18%		0%	0%			1%	20%	22%	135%	0%
				md	8%		8%		18%		0%	0%			1%	20%	19%	134%	0%
		bn	cmf	int	8%		8%		23%		0%	0%			1%	20%	23%	137%	0%
				1	8%		8%		8%		0%	0%			1%	23%	22%	117%	0%
				2	8%		8%		8%		0%	0%			1%	22%	20%	117%	0%
	Bh	bp	smf	399	8%		8%		8%		0%	0%			2%	22%	21%	116%	0%
				400	8%		8%		8%		0%	0%			2%	22%	21%	116%	0%
				i	8%		8%		48%		0%	0%			2%	21%	22%	138%	0%
		bn	smf	d	8%		8%		48%		0%	0%			1%	20%	21%	136%	0%
				md	8%		8%		48%		0%	0%			1%	20%	18%	138%	0%
				int	8%		8%		48%		0%	0%			2%	21%	23%	138%	0%
bn	smf	1	8%		8%		48%		0%	0%			1%	23%	19%	123%	0%		
		2	8%		8%		48%		0%	0%			2%	22%	20%	119%	0%		



Nivel de Referencia de Emisiones y Absorciones Forestales
de Costa Rica ante el Fondo de Carbono de FCPF

				CO ₂									Gases no-CO ₂		Total					
				Biomasa aérea		Biomasa subterránea		Madera muerta		Hoja-rasca	C suelo	Productos de madera: cosechas en cambio de uso				Quema de biomasa				
				BARA	BNAA	BARS	BNAS	MMA	MMS	H	COS	PM.F1	PM.F2	PM.F3	PM.F4	CH ₄	N ₂ O			
				incluido	incluido	incluido	incluido	incluido	excluido	incluido	excluido	incluido	incluido	incluido	incluido	incluido	incluido			
				%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%		
Bs	bp	smf	399	8%		8%		48%		0%	0%			2%	22%	21%	118%	0%		
			400	8%		8%		48%		0%	0%			2%	22%	21%	118%	0%		
		cmf	i	8%		8%		78%		0%	0%			2%	20%	22%	168%	0%		
			d	8%		8%		78%		0%	0%			1%	20%	20%	172%	0%		
			md	8%		8%		78%		0%	0%			2%	20%	18%	188%	0%		
			int	8%		8%		29%		0%	1%			1%	20%	22%	145%	0%		
	bn	smf	1									0%								
			2	0%		0%		0%				0%						0%		
		cmf	399	8%		8%		29%		0%	1%			2%	22%	20%	125%	0%		
			400	8%		8%		29%		0%	1%			2%	22%	20%	125%	0%		
	Man	bp	smf	i	12%		12%		29%		0%	0%			2%	25%			0%	
				d	12%		12%		29%		0%	0%			2%	25%			0%	
				md	11%		11%		29%		0%	0%			2%	24%			0%	
			cmf	int	12%		12%		37%		0%	0%			2%	25%			0%	
bn		smf	1	12%		11%		43%		0%	0%			0%	25%				0%	
			2	12%		12%		36%		0%	0%			2%	25%			0%		
		cmf	399	12%		12%		37%		0%	0%			2%	24%				0%	
			400	12%		12%		37%		0%	0%			2%	24%				0%	
Bp-Y		bp	smf	i	22%		22%		118%			0%								0%
				d	21%		21%		118%			0%								0%
	md			21%		21%		118%			0%								0%	
	bn	smf	cmf	int	22%		22%		122%			0%								0%
			1	22%		22%		133%			0%								0%	
			2	22%		21%		142%			0%								0%	



Nivel de Referencia de Emisiones y Absorciones Forestales
de Costa Rica ante el Fondo de Carbono de FCPF

				CO ₂									Gases no-CO ₂		Total				
				Biomasa aérea		Biomasa subterránea		Madera muerta		Hoja-rasca	C suelo	Productos de madera: cosechas en cambio de uso				Quema de biomasa			
				BARA	BNAA	BARS	BNAS	MMA	MMS	H	COS	PM.F1	PM.F2	PM.F3	PM.F4	CH ₄	N ₂ O		
				incluido	incluido	incluido	incluido	incluido	excluido	incluido	excluido	incluido	incluido	incluido	incluido	incluido	incluido		
				%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
				399	22%		22%		141%		0%							0%	
				400	22%		22%		141%		0%							0%	
C	an					12%		12%											
		per	zll	1	71%	68%	70%	69%	33%		47%								
	2			71%	68%	70%	68%	33%		47%									
	399			71%	68%	71%	68%	35%		48%									
	400			71%	68%	71%	68%	35%		48%									
	zh		1	71%	68%	70%	69%	33%		47%									
			2	71%	68%	70%	68%	33%		47%									
			399	71%	68%	71%	68%	35%		48%									
			400	71%	68%	71%	68%	35%		48%									
	P							76%											
AU																			
H				nat															
				art															
OT	para				2%		2%												
	sd			nat															
				art															
SI																			

7.3 Incertidumbre del nivel de referencia

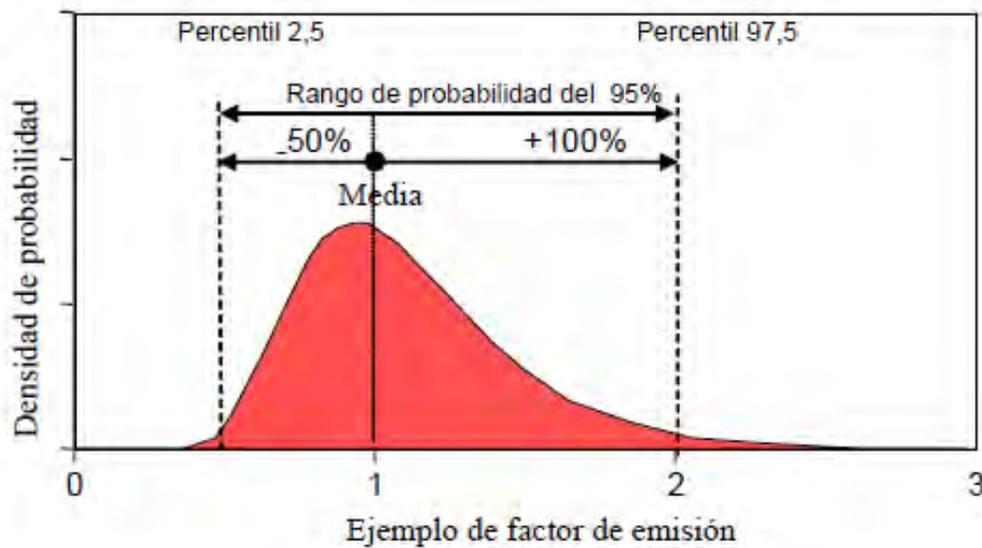
Como se ha venido indicando a lo largo del informe, las emisiones y absorciones se calculan combinando los datos de actividad y los factores de emisión. Por tanto, la incertidumbre del nivel de referencia es igual a la propagación de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión los cuales se han estimado siguiendo la metodología descrita en las secciones anteriores.

Tal y como indicado anteriormente, tal y como requerido por el MF-FCPF dicha propagación de errores se debe realizar de acuerdo al método Método 2 (Método de Montecarlo) y las incertidumbres se deben reportar como intervalos de confianza de dos lados al 90% de nivel de confianza.

Para realizar esta estimación se siguieron los pasos siguientes:

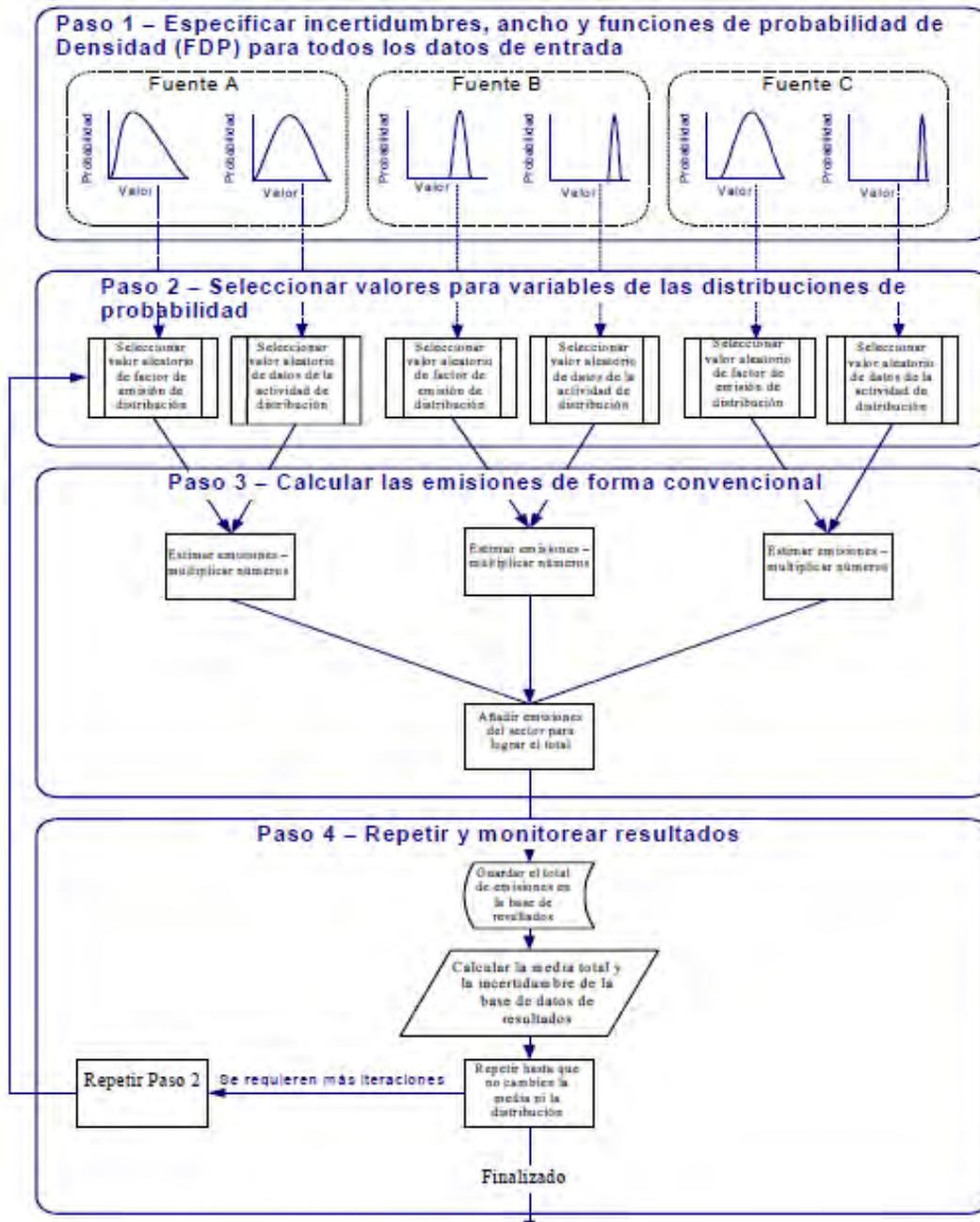
1. Estimación de la incertidumbre de los datos de actividad: En primer lugar se estimaron las incertidumbres de los datos de actividad. Para ello se utilizaron los resultados del análisis de exactitud de los datos de actividad, el cual reportaba los intervalos de confianza relativos para la estimación de las áreas ajustadas al 90% de nivel de confianza. Aunque Olofsson *et al.* (2014) recomienda el que los valores de las áreas de los datos de actividad se ajusten primero, en nuestro caso este ajuste no se realizó debido a los sesgos tan acentuados para el caso de los bosques nuevos, cuyo valor era del 56%.
2. Estimación de la incertidumbres de los parámetros de entrada de los factores de emisión: Tal y como se explicó en la sección anterior, se estimaron los parámetros de entrada de la hoja de cálculo, estos son valores obtenidos de la bibliografía y que sirven como parámetros de entrada para las ecuaciones presentadas en la sección 4 de este informe.
3. Sustitución de valores por valores aleatorios: El siguiente paso fue sustituir los valores de los parámetros de entrada por variables aleatorias asumiendo que dichos valores siguen una distribución: a) normal; b) con media el valor estimado de dicho parámetro; y c) como desviación típica el error estándar de dicho valor estimado. Esto se asumió para todos los parámetros de entrada tanto los de datos de actividad como los parámetros para estimar los factores de emisión.
4. Simulación de Montecarlo: Los valores aleatorios fueron actualizados unas 10000 veces y se calcularon los siguientes estadísticos.

Figura 18. Ejemplo del cálculo de los intervalos de confianza utilizando los percentiles de una función de densidad de probabilidad



5. Estimación de las incertidumbres: De las 10000 realizaciones se estimaron los intervalos de confianza a partir de los percentiles 95% (p_{95}) y 5% (p_5) del nivel de referencia resultante siguiendo las siguientes ecuaciones: $U_{baja} = \frac{p_5 - \bar{x}}{\bar{x}} 100$; $U_{alta} = \frac{p_{95} - \bar{x}}{\bar{x}} 100$

Figura 19. Proceso de simulación de Montecarlo según el IPCC (2006)



Dichos cálculos y simulación se presenta en las filas 469:569 de la hoja “FRL&FREL” de la herramienta “FREL TOOL CR v.1”.

Resultados

Las incertidumbres propagadas para el nivel de referencia se presenta en las filas 469:569 de la hoja “FRL&FREL” de la herramienta “FREL TOOL CR v.1” y también se describen con detalles en la sección 6.2 del informe CDI (2015.b).

En la Tabla 53 se presenta los parámetros definida en la simulación realizada. En la Tabla 54 se presentan los resultados utilizando esta parametrización. Los resultados se presentan al 90% de confianza. La Tabla 55 presenta las incertidumbres relativas finales del nivel de referencia.

Tabla 53. Configuración de la simulación realizada

Fecha	22/08/2015 12:17	
Iteraciones	10,000	
Nivel de confianza	0.9	
Incluir incertidumbres de datos de actividad	Sí	
Incluir incertidumbres de datos de factores de emisión	Sí	

Tabla 54. Media y percentiles para cada actividad REDD+ de acuerdo al modelo Montecarlo

Actividad		Estadístico	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023		
DF.an	Deforestación antrópica total	Media	7,212,197	7,212,197	7,212,197	7,212,197	7,212,197	7,212,197	7,212,197	7,212,197	7,212,197	7,212,197	7,212,197	7,212,197	7,212,197	7,212,197	7,212,197	
		Percentil 95%	8,953,035	8,953,035	8,953,035	8,953,035	8,953,035	8,953,035	8,953,035	8,953,035	8,953,035	8,953,035	8,953,035	8,953,035	8,953,035	8,953,035	8,953,035	8,953,035
		Percentil 5%	5,541,494	5,541,494	5,541,494	5,541,494	5,541,494	5,541,494	5,541,494	5,541,494	5,541,494	5,541,494	5,541,494	5,541,494	5,541,494	5,541,494	5,541,494	5,541,494
	Deforestación antrópica de bosques primarios	Media	5,289,882	5,289,882	5,289,882	5,289,882	5,289,882	5,289,882	5,289,882	5,289,882	5,289,882	5,289,882	5,289,882	5,289,882	5,289,882	5,289,882	5,289,882	5,289,882
		Percentil 95%	6,548,580	6,548,580	6,548,580	6,548,580	6,548,580	6,548,580	6,548,580	6,548,580	6,548,580	6,548,580	6,548,580	6,548,580	6,548,580	6,548,580	6,548,580	6,548,580
		Percentil 5%	4,060,428	4,060,428	4,060,428	4,060,428	4,060,428	4,060,428	4,060,428	4,060,428	4,060,428	4,060,428	4,060,428	4,060,428	4,060,428	4,060,428	4,060,428	4,060,428
	Deforestación antrópica de bosques nuevos	Media	1,922,315	1,922,315	1,922,315	1,922,315	1,922,315	1,922,315	1,922,315	1,922,315	1,922,315	1,922,315	1,922,315	1,922,315	1,922,315	1,922,315	1,922,315	1,922,315
		Percentil 95%	2,421,850	2,421,850	2,421,850	2,421,850	2,421,850	2,421,850	2,421,850	2,421,850	2,421,850	2,421,850	2,421,850	2,421,850	2,421,850	2,421,850	2,421,850	2,421,850
		Percentil 5%	1,450,398	1,450,398	1,450,398	1,450,398	1,450,398	1,450,398	1,450,398	1,450,398	1,450,398	1,450,398	1,450,398	1,450,398	1,450,398	1,450,398	1,450,398	1,450,398
AE.bs	Aumento de existencias de carbono en bosques nuevos	Media	(4,419,941)	(4,419,941)	(4,419,941)	(4,419,941)	(4,419,941)	(4,419,941)	(4,419,941)	(4,419,941)	(4,419,941)	(4,419,941)	(4,419,941)	(4,419,941)	(4,419,941)	(4,419,941)	(4,419,941)	
		Percentil 95%	(3,983,346)	(3,983,346)	(3,983,346)	(3,983,346)	(3,983,346)	(3,983,346)	(3,983,346)	(3,983,346)	(3,983,346)	(3,983,346)	(3,983,346)	(3,983,346)	(3,983,346)	(3,983,346)	(3,983,346)	(3,983,346)
		Percentil 5%	(4,885,601)	(4,885,601)	(4,885,601)	(4,885,601)	(4,885,601)	(4,885,601)	(4,885,601)	(4,885,601)	(4,885,601)	(4,885,601)	(4,885,601)	(4,885,601)	(4,885,601)	(4,885,601)	(4,885,601)	(4,885,601)
CO	Conservación de bosques	Media	1,258,696	1,251,542	1,244,442	1,237,396	1,230,403	1,223,463	1,216,575	1,209,739	1,202,955	1,196,221	1,189,538	1,182,904	1,176,321	1,169,786	1,169,786	
		Percentil 95%	1,342,540	1,334,837	1,327,327	1,319,899	1,312,399	1,305,055	1,297,825	1,290,568	1,283,393	1,276,358	1,269,262	1,262,194	1,255,180	1,248,180	1,248,180	
		Percentil 5%	1,175,666	1,169,027	1,162,329	1,155,689	1,149,116	1,142,577	1,136,100	1,129,683	1,123,309	1,116,982	1,110,691	1,104,470	1,098,279	1,092,185	1,092,185	
FREL	Total nivel de referencia (solo flujos)	Media	2,792,256	2,792,256	2,792,256	2,792,256	2,792,256	2,792,256	2,792,256	2,792,256	2,792,256	2,792,256	2,792,256	2,792,256	2,792,256	2,792,256	2,792,256	
		Percentil 95%	4,399,996	4,399,996	4,399,996	4,399,996	4,399,996	4,399,996	4,399,996	4,399,996	4,399,996	4,399,996	4,399,996	4,399,996	4,399,996	4,399,996	4,399,996	4,399,996
		Percentil 5%	1,198,082	1,198,082	1,198,082	1,198,082	1,198,082	1,198,082	1,198,082	1,198,082	1,198,082	1,198,082	1,198,082	1,198,082	1,198,082	1,198,082	1,198,082	1,198,082



Tabla 55. Incertidumbres relativas al 90% de nivel de confianza del nivel de referencia

Estadístico	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Límite superior al 90% de significancia	57.58%	57.58%	57.58%	57.58%	57.58%	57.58%	57.58%	57.58%	57.58%	57.58%	57.58%	57.58%	57.58%	57.58%
Límite inferior al 90% de significancia	57.09%	57.09%	57.09%	57.09%	57.09%	57.09%	57.09%	57.09%	57.09%	57.09%	57.09%	57.09%	57.09%	57.09%

Nota: Para poder efectuar las simulaciones de Montecarlo se incorporaron dos macros en la herramienta “FREL TOOL CR v.1”. La primera calcula la incertidumbre del nivel de referencia en la hoja “FREL&FRL” y la segunda las incertidumbres de los resultados del programa de reducción de emisiones.

7.4 Incertidumbre de las reducciones de emisiones

Para determinar las incertidumbres de las reducciones de emisiones se siguió el mismo método que indicado anteriormente. No obstante, en este caso el valor final de la simulación no es el nivel de referencia pero el cálculo final de reducción de emisiones el cual es igual a las emisiones estimadas expost menos el nivel de referencia. Se incluyó un paso final consistente en la corrección de la estimación siguiendo las reglas del MF-FCPF:

1. Ajuste del valor final siguiendo el MF-FCPF: Como se indicó anteriormente el MF-FCPF exige el ajuste de las reducciones de emisión de deforestación y degradación¹⁶⁶, con el fin de estimar el número de créditos que se retendrán en la reserva. La tabla de ajustes se presenta a continuación.

Tabla 56. Tabla de ajustes definidas por el Criterio 22 del MF-FCPF

Incertidumbre agregada de reducciones de emisiones	Factor de ajuste
= 15%	0%
> 15% and = 30%	4%
> 30 and = 60%	8%
> 60 and =100%	12%
> 100%	15%

Por tanto el ajuste sería:

$$ER_{PROGRAMA,i} = (E_{NR,i} - E_{PROGRAMA,i}) \times (100 - CF_i)/100 \quad (\text{Ec.17})$$

Donde:

$ER_{PROGRAMA,i}$ Reducción de emisiones generadas por la actividad REDD+ del programa REDD+; tCO₂ año⁻¹.

$E_{NR,i}$ Nivel de referencia de la actividad REDD+ i ; tCO₂ año⁻¹.

$E_{PROGRAMA,i}$ Emisiones generadas por la actividad REDD+ i del programa REDD+; tCO₂ año⁻¹.

CF_i Factor de ajuste de la actividad REDD+ i ; porcentaje

Dichos cálculos y simulación se presenta en las filas 132:229 de la hoja "RESULTADOS" de la herramienta "FREL TOOL CR v.1".

¹⁶⁶ Sólo si el Método 3 del IPCC se aplica y los factores de emisión son de alta calidad. Criterio 22 del MF-FCPF CF.

Referencias citadas

- Agresta, Dimap, Universidad de Costa Rica, Universidad Politécnica de Madrid, 2015.a. Informe Final: Generating a consistent historical time series of activity data from land use change for the development of Costa Rica's REDD plus reference level: Protocolo metodológico. Informe de consultoría preparado para el Gobierno de Costa Rica bajo el Fondo de Carbono del Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques (FCPF). 44 p.
- Agresta, Dimap, Universidad de Costa Rica, Universidad Politécnica de Madrid, 2015. b. Índice de cobertura como base para la estimación de la degradación y aumento de existencias de carbono: Generating a consistent historical time series of activity data from land use change for the development of Costa Rica's REDD plus reference level. Informe de consultoría preparado para el Gobierno de Costa Rica bajo el Fondo de Carbono del Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques (FCPF). 18 p.
- Angelsen, A., S. Brown, C. Loisel, L. Peskett, C. Streck, D. Zarin, 2009: Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD); An Options Assessment Report, Meridian Institute Report, Prepared for the Government of Norway; 21 p.
- Arroyo-Mora, P.J., S. Svob, M. Kalacska y R. L. Chazdon, 2014. Historical patterns of natural forest management in Costa Rica: the good, the bad and the ugly. *Forests*, 5:1777-1797.
- Cairns M.A., Brown S., Helmer E.H., and Baumgardner G.A., 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia* 111: pp. 1-11.
- Canty, M. J. y A. A. Nielsen, 2008. Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery with the iteratively re-weighted MAD transformation. *Remote Sensing of Environment* 112 (2008):1025-1036
- CDI (Carbon Decisions International), 2015.a. Recomendaciones para la estrategia REDD+ y la carbono neutralidad. Informe de consultoría preparado para el Gobierno de Costa Rica bajo el Fondo de Carbono del Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques (FCPF). 17 p.
- CDI (Carbon Decisions International), 2015.c. Análisis de significancia de los cambios de existencias de carbono en bosques que permanecieron bosques. Informe de consultoría preparado para el Gobierno de Costa Rica bajo el Fondo de Carbono del Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques (FCPF). 12 p.
- Chacón, A. R, Jiménez, G., J. Montenegro, J. Sasa y K. Blanco, 2014. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero y Absorción de Carbono 2010. MINAE, IMN, GEF, PNUD, Costa Rica, 64 p.
- Chave, J., Condit, R., Aguilar, S., Hernandez, A., Lao, S. & Perez, R. 2004. Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates. *Philos. Trans. R. Soc. Lond., B Biol. Sci.*, 359(1443): 409–420.
- Cifuentes, M., 2008. Aboveground Biomass and Ecosystem Carbon Pools in Tropical Secondary Forests Growing in Six Life Zones of Costa Rica. Oregon State University. School of Environmental Sciences. 2008. 195 p.
- Costa Rica, 2013. Emission Reductions Program Idea Note (ER-PIN), version February 15, 2013. 117 p. Available at: <https://www.forestcarbonpartnership.org/costa-rica>
- Cunia, T., 1987. Error of forest inventory estimates: its main components. In E.H. Whraton & T. Cunia, eds., *Estimating tree biomass regressions and their error. Proceedings of the workshop on tree*

biomass regression functions and their contribution to the error of forest inventory estimates, May 26–30, 1986, Syracuse, N.Y. – Part E. Broomall, PA, USA, USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, General Technical Report no. NE-117, pp. 1–14. 34, 39, 46, 184

- Eguiguren-Velepucha, P. A., 2013. Los efectos de intervenciones forestales y la variabilidad climática sobre la dinámica a largo plazo de bosques tropicales en el noreste de Costa Rica. Turrialba (Costa Rica): CATIE , 2013
- FAO (Food and Agriculture Organization), UNDP (United Nations Development Program) and UNEP (United Nations Environment Program), 2015. Technical considerations for Forest Reference Emission Level and/or Forest Reference Level construction for REDD+ under the UNFCCC. 31 p. <http://www.un-redd.org>.
- FONAFIFO (Fondo Nacional de Financiamiento Forestal), 2015.- Informe Final - Aumentando los acervos de carbono en productos de madera y derivados en Costa Rica.
- GFA Consulting Group, 2010. Estudio del estado de la producción sostenible y propuesta de mecanismos para el fomento de la producción sostenible. Consultoría SP-12-2009. 417 p. (<http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00187.pdf>).
- GFOI (Global Forest Observations Initiative), 2014. Integrating remote-sensing and ground-based observations for estimation of emissions and removals of greenhouse gases in forests: Methods and Guidance from the Global Forest Observations Initiative: Pub: Group on Earth Observations, Geneva, Switzerland, 2014. ISBN 978-92-990047-4-6.
- GOFC-GOLD (Global Observation of Forest and Land Cover Dynamics), 2014. A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals associated with deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and forestation. GOFC-GOLD Report version COP20-1, (GOFC-GOLD Land Cover Project Office, Wageningen University, The Netherlands). (http://www.gofcgold.wur.nl/redd/sourcebook/GOFC-GOLD_Sourcebook.pdf).
- Holdridge, L.R.,1966. The Life Zone System, *Adansonia VI*: 2: 199-203.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 1996. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Available at: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2000. Land Use, Land—Use Change and Forestry. Robert T. Watson, Ian R. Noble, Bert Bolin, N. H. Ravindranath, David J. Verardo and David J. Dokken (Eds.), Cambridge University Press, UK. pp 375 (http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/land_use/index.php?idp=0).
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2003. Good Practice Guidance for Land Use, land Use-Change and Forestry. (http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_contents.html).
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4, Chapter 12; Volume 5, Chapters 2 and 3. (<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>).
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol.

(http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/kpsg/pdf/KP_Separate_files/KP_Chapter_2_Methods_Estimation_Measurement_Monitoring_Reporting.pdf).

- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2013 Supplement to the 2006 guidelines: Wetlands.
- Mokany, K., Raison, J.R. and Prokushkin, A.S., 2006. Critical analysis of root:shoot ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biology* 12: 84-96.
- Olofsson, Pontus, Giles M. Foody, Martin Herold, Stephen V. Stehman, Curtis E. Woodcock, Michael A. Wulder, 2014. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change, *Remote Sensing of Environment*, Volume 148, 25 May 2014, Pages 42-57, ISSN 0034-4257.
- Pearson, T. R. H., S. Brown, F. M. Casarim, 2014. Carbon emissions from tropical forest degradation caused by logging. *Environmental Research Letters*, 9 (2014), 034017, 11 p.
- Picard N., Saint-André L., Henry M., 2012. Manual for building tree volume and biomass allometric equations: from field measurement to prediction. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, and Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, Montpellier, 215 p.
- Powers, J. S.; Becknell, J. M.; Irving, J.; Pérez-Avilés, D., 2009. Diversity and structure of regenerating tropical dry forests in Costa Rica: Geographic patterns and environmental drivers. *Forest Ecology and Management* 258 (2009) 959–970
- Sidman, G, Casarim, F.M., Pearson, T.R.H., 2015. A Gap Analysis of Costa Rica’s National REDD+ Strategy relative to the VCS Jurisdictional and Nested REDD+ Requirements.
- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación) – Programa REDD-CCAD-GIZ, 2014. Manual de campo para el inventario forestal nacional de Costa Rica: Diseño de parcela y medición de variables de sitio y dasométricas. Preparado por Jorge Fallas – consultor para el Programa Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal en Centroamérica y la República Dominicana (REDD/CCAD/GIZ). San José, Costa Rica. 74 p.
- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación), 2009. Estándares de sostenibilidad para manejo de bosques naturales: Código de prácticas. In: Resolución R-SINAC-021-2009; La Gaceta: San José, Costa Rica, 2009.
- Svob, S., J. P. Arroyo-Mora, M. Kalacska, 2014. The development of a forestry geodatabase for natural forest management plans in Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, 327:240-250.
- Todorova, S., R. Lichte, A. Olsson, C. Breidenich (UNFCCC secretariat), sin año. National greenhouse gas inventories: application of the principles of transparency, consistency, comparability, completeness and accuracy. (<http://www.epa.gov/ttnchie1/conference/ei12/poster/todorova.pdf>).
- Ulate-Quesada, C. A., 2011. Análisis y comparación de la biomasa aérea de la cobertura forestal según zona de vida y tipos de bosque para Costa Rica Tesis de Licenciatura. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 61 p.
- Van Breugel, M., Ransijn, J., Craven, D., Bongers, F. & Hall, J.S., 2011. Estimating carbon stock in secondary forests: Decisions and uncertainties associated with allometric biomass models. *For. Ecol. Manag.*, 262(8): 1648–1657.



- Verchot, L. and E. Petkova, 2009. The State of REDD Negotiations: Consensus Points, Options for Moving Forward and Research Needs to Support the Process, A Background Document for the UN-REDD Sponsored Support to Regional Groups, CIFOR; p. 18
- Verified Carbon Standard, 2013. Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU) Requirements, version 3.4. 63 p. (<http://www.v-c-s.org>).
- Verified Carbon Standard, 2014. Jurisdictional and Nested REDD+ (JNR) Requirements, version 3.2 of October 30, 2014, 57p. (<http://www.v-c-s.org>).
- World Bank, 2013. FCPF Carbon Fund Methodological Framework, December 20, 2013. 39p. (<https://www.forestcarbonpartnership.org/carbon-fund-methodological-framework>).

Anexo 1:

Cumplimiento de los criterios e indicadores del marco metodológico del Fondo de Carbono del FCPF relativos al establecimiento de niveles de referencia de emisiones forestales o niveles de referencia forestales

Considerando que los criterios e indicadores del Marco Metodológico del Fondo de Carbono del FCPF están escritos en inglés se optó por explicar en este mismo idioma la manera en que se considera que se cumplió con cada criterio e indicador. En este análisis solamente se consideran los criterios e indicadores relacionados al nivel de referencia, ya que el alcance de este informe no incluye otros temas que se abordan en el Marco Metodológico.

Criterion	Indicator	How criteria and indicators have been met
<p>Criterion 1: The proposed ER Program is ambitious, demonstrating the potential of the full implementation of the variety of interventions of the national REDD+ strategy, and is implemented at a jurisdictional scale or programmatic scale.</p>	<p>Indicator 1.1: The ER Program Measures aim to address a significant portion of forest related emissions and removals.</p>	<p>a) Anthropogenic deforestation represents 98.36% of total emissions from deforestation and it has been included.</p> <p>b) Enhancement of forest carbon stocks in new forest represents 100% of the estimated total enhancements of forest carbon stocks and has been included.</p> <p>c) Conservation of forest carbon stocks is included as carbon stock existing in remaining primary forests. No double counting exists with other REDD+ activities included in the FREL/FRL because this activity refers to existing carbon stocks and not to carbon stock changes or GHG emissions and removals.</p>
		<p>GHG flows associated to changes in carbon stocks in forest land remaining forest land (degradation of primary forests) has been excluded due to the absence of good quality data to estimate them. Based on available proxy data (changes in the percentage of crown cover in primary forests between 2001 and 2012) carbon stock changes in primary forests remaining primary forests is estimated to be 2.42% of total forest-related GHG emissions.</p>

Criterion	Indicator	How criteria and indicators have been met
	<p>Indicator 1.2: The ER Program is ambitious, uses new or enhanced ER Program Measures to reduce emissions or enhance removals, is undertaken at a jurisdictional scale and/or takes a programmatic approach (i.e., involves multiple land areas, landowners or managers within one or several jurisdictions), and reflects a variety of interventions from the national REDD+ strategy in a coordinated manner.</p>	<p>The accounting area represents 97.35% of the continental area of Costa Rica (4,978,596.42 ha). Only the Coco island, areas without ground cover information due to clouds and shadows in the satellite images of the historical reference period and areas impacted by natural disturbances have been excluded from the accounting area.</p>
<p>Criterion 2: The Accounting Area matches a government-designated area that is of significant scale.</p>	<p>Indicator 2.1: The Accounting Area is of significant scale and aligns with one or more jurisdictions; or a national Government designated area (e.g., ecoregion) or areas.</p>	<p>See above</p>
<p>Criterion 3: The ER Program can choose which sources and sinks associated with any of the REDD+ Activities will be accounted for, measured, and reported, and included in the ER Program Reference Level. At a minimum, ER Programs must account for emissions from deforestation. Emissions from forest degradation also should be accounted for where such emissions are significant.</p>	<p>Indicator 3.1: The ER Program identifies which anthropogenic sources and sinks associated with any of the REDD+ Activities will be accounted for in the ER Program.</p>	<p>The FREL/FRL of the ER Program includes emissions from all significant anthropogenic sources of emissions (deforestation) and sinks associated with any of the REDD+ activities accounted for in the ER Program (Enhancement of forest carbon stocks in new forests).</p>
	<p>Indicator 3.2: The ER Program accounts for emissions from deforestation.</p>	<p>Yes, it does.</p>
	<p>Indicator 3.3: Emissions from forest degradation are accounted for where such emissions are more than 10% of total forest-related emissions in the Accounting Area, during the Reference Period and during the Term of the ERPA. These emissions are estimated using the best available data (including proxy activities or data).</p>	<p>Emissions from degradation have been estimated using proxy data (changes in the percentage of crown cover in primary forests remaining primary forests between 2001 and 2012) and the results of this assessment is that changes in crown cover, which are considered a proxy indicator for degradation, do not result in significant GHG emissions (see Table 1).</p>

Criterion	Indicator	How criteria and indicators have been met
<p>Criterion 4: The ER Program should account for, measure, and report, and include in the ER Program Reference Level, significant Carbon Pools and greenhouse gases, except where their exclusion would underestimate total emission reductions.</p>	<p>Indicator 4.1: The ER Program accounts for all Carbon Pools and greenhouse gases that are significant within the Accounting Area, both for Reference Level setting and Measurement, Monitoring and reporting MMR).</p>	<p>The FREL/FRL constructed for the activity "deforestation" includes the following carbon pools: above-ground biomass, below-ground biomass, dead wood, litter and wood products. Carbon stocks in long-lived wood products are assumed not to oxidize after deforestation. Soil organic carbon is excluded as it could not be estimated at a Tier 2 or higher level. Changes in soil carbon stocks are unlikely to be significant during the lifetime of the ER Program because deforestation in the forest types where soil carbon may be significant represents less than 10 % of total deforestation.</p>
		<p>The FREL/FRL for the activity "Enhancement of forest carbon stocks" includes the same carbon pools included in the activity "deforestation", except wood product.</p>
		<p>The FREL/FRL for the activity "Conservation" includes the same carbon pools included in the activity "deforestation", except wood product. Non-CO₂ emissions associated to biomass burning in forest land remaining forest land is excluded.</p>
		<p>Methane (CH₄) and Nitrogen oxide (N₂O) emissions associated to biomass burning occurring in land-use change activities is included.</p>
		<p>Non-CO₂ emissions associated to enhancement of forest carbon stocks are considered inexistent.</p>
		<p>Non-CO₂ emissions associated to biomass burning in forest land remaining forest land is excluded. It represents less than 1% of forest-related emissions according to the national GHG inventory.</p>
		<p>The same carbon pools and GHG gasses accounted under the construction of the FREL/FRL will be considered for MMR.</p>

Criterion	Indicator	How criteria and indicators have been met
	<p>Indicator 4.2: Carbon Pools and greenhouse gases may be excluded if:</p> <ul style="list-style-type: none"> i. Emissions associated with excluded Carbon Pools and greenhouse gases are collectively estimated to amount to less than 10% of total forest-related emissions in the Accounting Area during the Reference Period; or ii. The ER Program can demonstrate that excluding such Carbon Pools and greenhouse gases would underestimate total emission reductions. 	<p>The only carbon pool excluded is soil organic carbon. Changes in carbon stocks in this pool are considered insignificant during the historical reference period (1996-2009) and are unlikely to become significant during the ER program.</p>
<p>Criterion 5: The ER Program uses the most recent Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) guidance and guidelines, as adopted or encouraged by the Conference of the Parties as a basis for estimating forest-related greenhouse gas emissions by sources and removals by sinks (e.g., UNFCCC 4/CP.15).</p>	<p>Indicator 5.1: The ER Program identifies the IPCC methods used to estimate emissions and removals for Reference Level setting and Measurement, Monitoring and reporting (MMR).</p>	<p>The FREL/FRL was constructed according to the 2006 AFOLU IPCC guidelines.</p>

Criterion	Indicator	How criteria and indicators have been met
<p>Criterion 6: Key data and methods that are sufficiently detailed to enable the reconstruction of the Reference Level, and the reported emissions and removals (e.g., data, methods and assumptions), are documented and made publicly available online. In cases where the country's or ER Program's policies exempt sources of information from being publicly disclosed or shared, the information should be made available to independent reviewers and a rationale is provided for not making these data publicly available. In these cases, reasonable efforts should be made to make summary data publicly available to enable reconstruction.</p>	<p>Indicator 6.1: The following methodological steps are made publicly available:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Forest definition; - Definition of classes of forests, (e.g., degraded forest; natural forest; plantation), if applicable; - Choice of activity data, and preprocessing and processing methods; - Choice of emission factors and description of their development; - Estimation of emissions and removals, including accounting approach; - Disaggregation of emissions by sources and removal by sinks; - Estimation of accuracy, precision, and/or confidence level, as applicable; - Discussion of key uncertainties; - Rationale for adjusting emissions, if applicable; - Methods and assumptions associated with adjusting emissions, if applicable. 	<p>Indicator 6.1: The following methodological steps are made publicly available:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Forest definition: Made explicit in the ERPD and it's the same used in the national GHG inventory and for the CDM - Definition of classes of forests, (e.g., degraded forest; natural forest; plantation): Made explicit in the ERPD and related technical reports (e.g. CDI, 2015); - Choice of activity data, and pre-processing and processing methods; Made explicit in the ERPD and related technical reports (e.g. Agresta et al., 2015); - Choice of emission factors and description of their development; Made explicit in the ERPD and related technical reports (e.g. CDI, 2015.b); - Estimation of emissions and removals, including accounting approach; Made explicit in the ERPD and related technical reports (e.g. CDI, 2015.b) and calculation tools ("FREL TOOL CR v.1"). - Disaggregation of emissions by sources and removal by sinks; Made explicit in each cell of the annual land-use change matrixes in the calculation tool "FREL TOOL CR v.1" and duly summarized in the ERPD and related documents (e.g. CDI, 2015). - Estimation of accuracy, precision, and/or confidence level: Duly reported in the ERPD, related documents (e.g. CDI, 2015) and calculation tools ("FREL TOOL CR v.1"); - Discussion of key uncertainties; Duly reported in the ERPD, related documents (e.g. CDI, 2015) - Rationale for adjusting emissions, if applicable; No applied. - Methods and assumptions associated with adjusting emissions, if applicable. Not applied.

Criterion	Indicator	How criteria and indicators have been met
	<p>Indicator 6.2: For the following spatial information, maps and/or synthesized data are displayed publicly, and reasonable efforts are made to explain how these were derived from the underlying spatial and other data, and to make key data sets or analyses publicly available:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Accounting Area; - Activity data (e.g., forest-cover change or transitions between forest categories); - Emission factors; - Average annual emissions over the Reference Period; - Adjusted emissions - Any spatial data used to adjust emissions, if applicable. 	<p>All spatial information, maps and/or synthesized data, and technical reports are displayed publicly and can be downloaded from http://www.reddcr.go.cr:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Accounting Area: a map is included in the ERPD, related documents (CDI, 2015) and spatial database. - Activity data (e.g., forest-cover change or transitions between forest categories): the data are made explicit in historical and annualized land-use change matrixes in the calculation tool "FREL TOOL CR v.1" and are duly summarized in various tables in the ERPD and related technical reports (CDI,2015). - Emission factors: are made explicit in annualized land-use change matrixes in the calculation tool "FREL TOOL CR v.1" and are duly presented in the ERPD and related documents (CDI, 2015). - Average annual emissions over the Reference Period: are transparently calculated in in the calculation tool "FREL TOOL CR v.1" and are duly presented in the ERPD and related documents (CDI, 2015). - Adjusted emissions. Not applied - Any spatial data used to adjust emissions, if applicable. No adjustments were made to historical data but all spatial data used to construct the FRL/FRL can be downloaded from http://www.reddcr.go.cr
<p>Criterion 7: Sources of uncertainty are systematically identified and assessed in Reference Level setting and Measurement, Monitoring and reporting.</p>	<p>Indicator 7.1: All assumptions and sources of uncertainty associated with activity data, emission factors and calculation methods that contribute to the uncertainty of the estimates of emissions and removals are identified.</p> <p>Indicator 7.2: The sources of uncertainty identified in Indicator 7.1: are assessed for their relative contribution to the overall uncertainty of the emissions and removals.</p>	<p>All assumptions and sources of uncertainty associated with activity data, emission factors and calculation methods that contribute to the uncertainty of the estimates of emissions and removals are described and discussed.</p> <p>Montecarlo simulations have been done separately considering only the uncertainties related to activity data, only the uncertainties of emission factors and the uncertainties of both, activity data and emission factors. This allowed identifying that the major source of uncertainty relates to activity data</p>

Criterion	Indicator	How criteria and indicators have been met
<p>Criterion 8: The ER Program, to the extent feasible, follows a process of managing and reducing uncertainty of activity data and emission factors used in Reference Level setting and Measurement, Monitoring and reporting.</p>	<p>Indicator 8.1: Systematic errors are minimized through the implementation of a consistent and comprehensive set of standard operating procedures, including a set of quality assessment and quality control processes that work within the local circumstances of the ER Program.</p>	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>
	<p>Indicator 8.2: Random errors and other uncertainties are minimized to the extent practical based on the assessment of their relative contribution to the overall uncertainty of the emissions and removals.</p>	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>
<p>Criterion 9: Uncertainty of activity data and emission factors used in Reference Level setting and Measurement, Monitoring and reporting is quantified in a consistent way, so that the estimation of emissions, removals and Emission Reductions is comparable among ER Programs (This uncertainty is subsequently applied in the calculation of Emission Reductions, refer to Criterion 22).</p>	<p>Indicator 9.1: Uncertainty associated with activity data and emission factors is quantified using accepted international standards, for example by providing accuracy, confidence interval, distribution of error, and propagation of error. Where errors in data and methods are considered large as defined in IPCC Guidelines, Monte Carlo methods (numerical simulations) should be used to estimate uncertainty (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Volume 1, Chapter 3, Section 3.2)).</p>	<p>Uncertainty associated with activity data and emission factors has been quantified using the Montecarlo method. Two macros have been included in the "FREL TOOL CR v.1", sheet "FREL&FRL" and "RESULTS" allowing to run Montecarlo simulations to assess the accuracy of the constructed FREL/FRL and the accuracy of the emission reductions under the ER program.</p>
	<p>Indicator 9.2: Uncertainty of the estimate of Emission Reductions is quantified using Monte Carlo methods. Underlying sources of error in data and methods for integrated measurements of deforestation, forest degradation and enhancements (e.g., as in a national forest inventory) are combined into a single combined uncertainty estimate and are reported at the two-tailed 90% confidence level.</p>	<p>The uncertainty of the estimate of Emission Reductions can be quantified using Montecarlo methods by running the macro specifically designed for this purpose in the sheet "RESULTS" of the "FREL TOOL CR v.1". The macro accounts for all underlying sources of error in data and methods for integrated measurements of deforestation and enhancements which are combined into a single combined uncertainty estimate and can be reported at the two-tailed 90% or 95% confidence level.</p>

Criterion	Indicator	How criteria and indicators have been met
	<p>Indicator 9.3: Uncertainty of Emissions Reductions associated with deforestation, forest degradation and enhancements are reported separately if measured through separate (i.e., non-integrated) approaches and when degradation is estimated using proxy data.</p>	<p>The uncertainty of Emissions Reductions associated with deforestation and enhancements are reported separately and combined in the sheet "RESULTS" of the calculation tool "FREL TOOL CR v.1".</p>
<p>Criterion 10: The development of the Reference Level is informed by the development of a Forest Reference Emission Level or Forest Reference Level for the UNFCCC.</p>	<p>Indicator 10.1: The Reference Level is expressed in tonnes of carbon dioxide equivalent per year.</p>	<p>Yes, it is expressed in tCO₂-e yr⁻¹</p>
	<p>Indicator 10.2: The ER Program explains how the development of the Reference Level can inform or is informed by the development of a national Forest Reference Emission Level or Forest Reference Level, and explains the relationship between the Reference Level and any intended submission of a Forest Reference Emission Level or Forest Reference Level to the UNFCCC.</p>	<p>The ERPD and related technical documents (e.g. CDI, 2015) explain the relationship between the Reference Level and any intended submission of a Forest Reference Emission Level or Forest Reference Level to the UNFCCC</p>
	<p>Indicator 10.3: The ER Program explains what steps are intended in order for the Reference Level to achieve consistency with the country's existing or emerging greenhouse gas inventory.</p>	<p>The FREL/FRL has been prepared in consultation with the technical team in charge of the country's emerging greenhouse gas inventory at IMN.</p>
<p>Criterion 11: A Reference Period is defined.</p>	<p>Indicator 11.1: The end-date for the Reference Period is the most recent date prior to 2013 for which forest-cover data is available to enable IPCC Approach 3. An alternative end-date could be allowed only with convincing justification, e.g., to maintain consistency of dates with a Forest Reference Emission Level or Forest Reference Level, other relevant REDD+ programs, national communications, national ER program or climate change strategy.</p>	<p>The end-date for the Reference Period is 2009. A justification for this date is duly given in the ERPD.</p>
	<p>Indicator 11.2: The start-date for the Reference Period is about 10 years before the end-date. An alternative start-date could be allowed only with convincing justification as in Indicator 11.1, and is not more than 15 years before the end-date.</p>	<p>The start-date for the Reference Period is 1996. A justification for this date is duly given in the ERPD.</p>

Criterion	Indicator	How criteria and indicators have been met
<p>Criterion 12: The forest definition used for the ER Program follows available guidance from UNFCCC decision 12/CP.17.</p>	<p>Indicator 12.1: The definition of forest used in the construction of the Reference Level is specified. If there is a difference between the definition of forest used in the national greenhouse gas inventory or in reporting to other international organizations (including an Forest Reference Emission Level or Forest Reference Level to the UNFCCC) and the definition used in the construction of the Reference Level, then the ER Program explains how and why the forest definition used in the Reference Level was chosen (UNFCCC SBSTA 12/CP.17 Annex Para. 4).</p>	<p>The definition of "forest" used in the construction of the Reference Level is clearly specified in the ERPD and related technical documents (e.g. CDI, 2015) and is totally consistent with the definition of "forest" used in the national greenhouse gas inventory and under the CDM.</p>
<p>Criterion 13: The Reference Level does not exceed the average annual historical emissions over the Reference Period. For a limited set of ER Programs, the Reference Level may be adjusted upward by a limited amount above average annual historical emissions (The Carbon Fund seeks both to achieve net emission reductions across its portfolio, and to pilot REDD+ across a diverse set of countries, including those countries with high forest cover and low deforestation. Carbon Fund Participants will take this into account when selecting ER Programs.). For any ER Program, the Reference Level may be adjusted downward.</p>	<p>Indicator 13.1: The Reference Level does not exceed the average annual historical emissions over the Reference Period, unless the ER Program meets the eligibility requirements in Indicator 13.2. If the available data from the National Forest Monitoring System used in the construction of the Reference Level shows a clear downward trend, this should be taken into account in the construction of the Reference Level.</p>	<p>a) The Reference Level for the activity "deforestation" does not exceed the average annual historical emissions over the Reference Period 1996-2009 because it is equal to the estimated average for this period. b) Idem for the activity "enhancement of forest carbon stocks". c) The Reference Level for the activity "conservation of forest carbon stocks" does not exceed the average carbon stock stored in primary forests over the Reference Period 1996-2009. In fact, the average carbon stock over the reference period 1996-2009 was 1,304,130,862 tCO₂-e, while the reference level average carbon stock over the 2010-2023 period is 1,213,650,524 tCO₂-e.</p>

Criterion	Indicator	How criteria and indicators have been met
	<p>Indicator 13.2: The Reference Level may be adjusted upward above average annual historical emissions if the ER Program can demonstrate to the satisfaction of the Carbon Fund that the following eligibility requirements are met:</p> <ul style="list-style-type: none"> i. Long-term historical deforestation has been minimal across the entirety of the country, and the country has high forest cover; ii. National circumstances have changed such that rates of deforestation and forest degradation during the historical Reference Period likely underestimate future rates of deforestation and forest degradation during the Term of the ERPA. 	<p>No adjustment has been made to the reference level</p>
	<p>Indicator 13.3: For countries meeting the eligibility requirements in Indicator 13.2, a Reference Level could be adjusted above the average historical emission rate over the Reference Period. Such an adjustment is credibly justified on the basis of expected emissions that would result from documented changes in ER Program circumstances, evident before the end-date of the Reference Period, but the effects of which were not fully reflected in the average annual historical emissions during the Reference Period. Proposed adjustments may be rejected for reasons including, but not limited to:</p> <ul style="list-style-type: none"> i. The basis for adjustments is not documented; or ii. Adjustments are not quantifiable. 	<p>N.A.</p>
	<p>Indicator 13.4: An adjustment of the Reference Level above the average annual historical emissions during the Reference Period may not exceed 0.1%/year of Carbon Stocks.</p>	<p>N.A.</p>

Criterion	Indicator	How criteria and indicators have been met
<p>Criterion 14: Robust Forest Monitoring Systems provide data and information that are transparent, consistent over time, and are suitable for measuring, reporting and verifying emissions by sources and removals by sinks, as determined by following Criterion 3 within the proposed Accounting Area.</p>	<p>Indicator 14.1: The ER Program monitors emissions by sources and removals by sinks included in the ER Program's scope (Indicator 3.1) using the same methods or demonstrably equivalent methods to those used to set the Reference Level.</p>	<p>It is foreseen to use the same methods, equations and calculation tool, thus emissions and removals reported under the ER Program will be fully consistent with the Reference Level.</p>
	<p>Indicator 14.2: Activity data are determined periodically, at least twice during the Term of the ERPA, and allow for ERs to be estimated from the beginning of the Term of the ERPA. Deforestation is determined using IPCC Approach 3. Other sinks and sources such as degradation may be determined using indirect methods such as survey data, proxies derived from landscape ecology, or statistical data on timber harvesting and regrowth if no direct methods are available.</p>	<p>Historical activity data were all determined using IPCC Approach 3. It is foreseen to do biennial monitoring reports.</p>
	<p>Indicator 14.3: Emission factors or the methods to determine them are the same for Reference Level setting and for Monitoring, or are demonstrably equivalent. IPCC Tier 2 or higher methods are used to establish emission factors, and the uncertainty for each emission factor is documented. IPCC Tier 1 methods may be considered in exceptional cases.</p>	<p>Emission factors will not change over the ER program period unless the country decides to update its FREL/FRL. The use of the calculation tool "FREL TOOL CR v.1" to calculate Emission Reductions during the ER Program period (2010-2025) ensures that emission factors and methods to determine them are the same for Reference Level Setting and for MMR. Any change in the estimated emission factors in the "FREL TOOL CR v.1" will simultaneously impact on the constructed FRL/FRL and the MMR.</p>
<p>Criterion 15: ER Programs apply technical specifications of the National Forest Monitoring System where possible.</p>	<p>Indicator 15.1: ER Programs articulate how the Forest Monitoring System fits into the existing or emerging National Forest Monitoring System, and provides a rationale for alternative technical design where applicable.</p>	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>

Criterion	Indicator	How criteria and indicators have been met
<p>Criterion 16: Community participation in Monitoring and reporting is encouraged and used where appropriate.</p>	<p>Indicator 16.1: The ER Program demonstrates that it has explored opportunities for community participation in Monitoring and reporting, e.g., of ER Program Measures, activity data, emission factors, safeguards and Non-Carbon Benefits, and encourages such community participation where appropriate.</p>	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>
<p>Criterion 17: The ER Program is designed and implemented to prevent and minimize potential Displacement.</p>	<p>Indicator 17.1: Deforestation and degradation drivers that may be impacted by the proposed ER Program Measures are identified, and their associated risk for Displacement is assessed, as well as possible risk mitigation strategies. This assessment categorizes Displacement risks as high, medium or low.</p>	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>
	<p>Indicator 17.2: The ER Program has in place an effective strategy to mitigate and/or minimize, to the extent possible, potential Displacement, prioritizing key sources of Displacement risk.</p>	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>
	<p>Indicator 17.3: By the time of verification, the ER Program has implemented its strategy to mitigate and/or minimize potential Displacement.</p>	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>
	<p>Indicator 17.4: ER Programs are also invited to report on changes in major drivers in the ER Accounting Area, any Displacement risks associated with those drivers, and any lessons from the ER Programs' efforts to mitigate potential Displacement.</p>	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>
<p>Criterion 18: The ER Program is designed and implemented to prevent and minimize the risk of Reversals and address the long-term sustainability of ERs.</p>	<p>Indicator 18.1: The ER Program has undertaken an assessment of the anthropogenic and natural risk of Reversals that might affect ERs during the Term of the ERPA and has assessed, as feasible, the potential risk of Reversals after the end of the Term of the ERPA.</p>	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>

Criterion	Indicator	How criteria and indicators have been met
	<p>Indicator 18.2: The ER Program demonstrates how effective ER Program design and implementation will mitigate significant risks of Reversals identified in the assessment to the extent possible, and will address the sustainability of ERs, both during the Term of the ERPA, and beyond the Term of the ERPA.</p>	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>
<p>Criterion 19: The ER Program accounts for Reversals from ERs that have been transferred to the Carbon Fund during the Term of the ERPA</p>	<p>Indicator 19.1: During the Term of the ERPA, the ER Program accounts for Reversals from ERs using one of the following options:</p> <p><u>Option 1:</u> The ER Program has in place a Reversal management mechanism (e.g., buffer reserve or insurance) that is substantially equivalent to the Reversal risk mitigation assurance provided by the ‘ER Program CF Buffer’ approach referred to in option 2 below, appropriate for the ER Program’s assessed level of risk, which in the event of a Reversal during the Term of the ERPA will be used to fully cover such Reversals.</p> <p><u>Option 2:</u> ERs from the ER Program are deposited in an ER Program specific buffer, managed by the Carbon Fund (ER Program CF Buffer), based on a Reversal risk assessment. ERs deposited in the ER Program CF Buffer (Buffer ERs) will not be transferred to the Carbon Fund. In the event that a Reversal event occurs during the Term of the ERPA, an amount of Buffer ERs will be cancelled from the ER Program CF Buffer equivalent to the amount of transferred ERs affected by the Reversal event (The modalities for the ER Program CF Buffer will be developed separately including the Reversal risk assessment. The ER Program CF Buffer shall cover Reversal events, provided that the ER Program Entity is in full compliance with its obligations under or in connection with the ERPA. The ERs set aside to cover Reversal events in the ER Program</p>	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>

Criterion	Indicator	How criteria and indicators have been met
	CF Buffer will have a minimum set aside of 10% and a maximum set aside of 40% of the ERs generated, verified and transferred to the CF at each time of ER transfer.).	
<p>Criterion 20: The ER Program, building on its arrangements put in place during the readiness phase and during the Term of the ERPA, will have in place a robust Reversal management mechanism to address the risk of Reversals after the Term of the ERPA.</p>	<p>Indicator 20.1: At the latest 1 year before the end of the Term of the ERPA, the ER Program will have in place a robust Reversal management mechanism or another specified approach that addresses the risk of Reversals beyond the Term of the ERPA.</p>	This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.
	<p>Indicator 20.2: If the ER Program has selected option 2 under Indicator 19.1, all or a portion of the Buffer ERs of the ER Program, subject to a Carbon Fund review of the Methodological Framework and a decision of the parties to the ERPA in 2019, will be transferred to the mechanism identified in Indicator 20.1 at the end of the Term of the ERPA. If the ER Program fails to meet the requirements of Indicator 20.1, all remaining Buffer ERs in the ER Program CF Buffer will be cancelled.</p>	This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.
<p>Criterion 21: The ER Program monitors and reports major emissions that could lead to Reversals of ERs transferred to the Carbon Fund during the Term of the ERPA.</p>	<p>Indicator 21.1: The ER Program Monitoring Plan and Monitoring system are technically capable of identifying Reversals.</p>	This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.
	<p>Indicator 21.2: The ER Program reports to the Carbon Fund within 90 calendar days after becoming aware of any emissions in the Accounting Area or changes in ER Program circumstances that, in the reasonable opinion of the ER Program, could lead to Reversals of previously transferred ERs by the next Monitoring event. The ER Program explains how the potential Reversals would be addressed by additional ER Program Measures or by the Reversal management mechanism described in Indicator 19.1. §</p>	This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.

Criterion	Indicator	How criteria and indicators have been met
<p>Criterion 22: Net ERs are calculated by the following steps:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Subtract the reported and verified emissions and removals from the Reference Level 2. Set aside a number of ERs from the result of step 1, above, in a buffer reserve. This amount reflects the level of uncertainty associated with the estimation of ERs during the Term of the ERPA. The amount set aside in the buffer reserve is determined using the following conservativeness factors for deforestation: 		<p>Step 1 is automatically implemented in the sheet "RESULTADOS": of the calculation tool "FREL TOOL CR v.1"</p> <p>Step 2 will be applied in the MRV phase of the ER program.</p> <p>Step 2. will also be implemented in the same tool.</p>
<p>Aggregate Uncertainty of Emissions Reductions Conservativeness Factor</p>		
<p>≤ 15%</p>		<p>0%</p>
<p>> 15% and ≤ 30%</p>		<p>4%</p>
<p>> 30 and ≤ 60%</p>		<p>8%</p>
<p>> 60 and ≤100%</p>		<p>12%</p>
<p>> 100%</p>		<p>15%</p>
<p>For estimated emissions reductions associated with degradation, the same conservativeness factors may be applied if spatially explicit activity data (IPCC Approach 3) and high-quality emission factors (IPCC Tier 2) are used. Otherwise, for proxy based approaches, apply a general conservativeness factor of 15% for forest degradation Emission Reductions.</p>		<p>N.A.</p>
<p>3. Set aside a number of ERs in the ER Program CF Buffer or other reversal management mechanism created or used by an ER Program to address Reversals.</p>		<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>
<p>Criterion 23: To prevent double counting, ERs generated under the ER Program shall not be counted or compensated for more than once. Any reported and verified ERs generated under the ER Program and sold and/or transferred to the Carbon Fund shall not be sold, offered or otherwise used or reported a second time by the ER Program Entity. Any reported and verified ERs generated under the ER Program that have been sold and/or transferred, offered or otherwise used or reported once by the ER Program Entity shall not be sold and transferred to the Carbon Fund.</p>		<p>This Criterion is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>

Criterion	Indicator	How criteria and indicators have been met
<p>Criterion 24: The ER Program meets the World Bank social and environmental safeguards and promotes and supports the safeguards included in UNFCCC guidance related to REDD+.</p>	<p>Indicator 24.1: The ER Program demonstrates through its design and implementation how it meets relevant World Bank social and environmental safeguards, and promotes and supports the safeguards included in UNFCCC guidance related to REDD+, by paying particular attention to Decision 1/CP.16 and its Appendix I as adopted by the UNFCCC (FMT Note CF-2013-3 describes World Bank Safeguard Policies and the UNFCCC REDD+ Safeguards).</p>	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>
	<p>Indicator 24.2: Safeguards Plans address social and environmental issues and include related risk mitigation measures identified during the national readiness process, e.g., in the SESA process and the ESMF, that are relevant for the specific ER Program context (e.g., land tenure issues), taking into account relevant existing institutional and regulatory frameworks. The Safeguards Plans are prepared concurrently with the ER Program Document, and are publicly disclosed in a manner and language appropriate for the affected stakeholders (If final Safeguards Plans are not provided at the time of ERPA signature, they become a condition precedent which must be fulfilled in order for the sale and purchase obligations under the ERPA to become effective.)</p>	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>
<p>Criterion 25: Information is provided on how the ER Program meets the World Bank social and environmental safeguards and addresses and respects the safeguards included in UNFCCC guidance related to REDD+, during ER Program implementation.</p>	<p>Indicator 25.1: Appropriate monitoring arrangements for safeguards referred to in Criterion 24 are included in the Safeguards Plans.</p>	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>

Criterion	Indicator	How criteria and indicators have been met
	<p>Indicator 25.2: During ER Program implementation, information on the implementation of Safeguards Plans is included in an annex to each ER monitoring report and interim progress report. This information is publicly disclosed, and the ER Program is encouraged to make this information available to relevant stakeholders. This information is also made available as an input to the national systems for providing information on how safeguards are addressed and respected (SIS) (The abbreviation “SIS” will be used throughout this Methodological Framework to describe a national system for providing information on how the Cancun Safeguards are addressed and respected, as contained in UNFCCC Decision 12/CP.17) required by the UNFCCC guidance related to REDD+, as appropriate.</p>	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>
<p>Criterion 26: An appropriate Feedback and Grievance Redress Mechanism (FGRM) developed during the Readiness phase or otherwise exist(s), building on existing institutions, regulatory frameworks, mechanisms and capacity.</p>	<p>Indicator 26.1: An assessment of existing FGRM, including any applicable customary FGRMs, is conducted and is made public. The FGRM applicable to the ER Program demonstrates the following:</p> <ul style="list-style-type: none"> i) Legitimacy, accessibility, predictability, fairness, rights compatibility, transparency, and capability to address a range of grievances, including those related to benefit-sharing arrangements for the ER Program; ii) Access to adequate expertise and resources for the operation of the FGRM. 	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>

Criterion	Indicator	How criteria and indicators have been met
	<p>Indicator 26.2: The description of FGRM procedures, included in the Benefit-Sharing Plan and/or relevant Safeguards Plans, specifies the process to be followed to receive, screen, address, monitor, and report feedback on, grievances or concerns submitted by affected stakeholders. As relevant, the Benefit-Sharing Plan and/or relevant Safeguards Plans and/or ER Program Document describe the relationship among FGRM(s) at the local, ER Program, and national levels.</p>	<p>This indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>
	<p>Indicator 26.3: If found necessary in the assessment mentioned in Indicator 26.1, a plan is developed to improve the FGRM.</p>	<p>This indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>
<p>Criterion 27: The ER Program describes how the ER Program addresses key drivers of deforestation and degradation.</p>	<p>Indicator 27.1: The ER Program identifies the key drivers of deforestation and degradation, and potentially opportunities for forest enhancement.</p>	<p>This indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>
	<p>Indicator 27.2: The ER Program identifies currently planned ER Program Measures and how they address the key drivers identified in Indicator 27.1, and the entities that would undertake them.</p>	<p>This indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>
<p>Criterion 28: The ER Program has undertaken and made publicly available an assessment of the land and resource tenure regimes present in the Accounting Area.</p>	<p>Indicator 28.1: The ER Program reviews the assessment of land and resource tenure regimes carried out during the readiness phase at the national level (i.e., SESA) and, if necessary, supplements this assessment by undertaking an additional assessment of any issues related to land and resource tenure regimes in the Accounting Area that are critical to the successful implementation of the ER Program, including:</p> <ul style="list-style-type: none"> i. The range of land and resource tenure rights (including legal and customary rights of use, access, management, ownership, exclusion, etc.) and categories of rights-holders present in the Accounting Area (including Indigenous Peoples and other relevant communities); ii. The legal status of such rights, 	<p>This indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>

Criterion	Indicator	How criteria and indicators have been met
	<p>and any significant ambiguities or gaps in the applicable legal framework, including as pertains to the rights under customary law;</p> <p>iii. Areas within the Accounting Area that are subject to significant conflicts or disputes related to contested or competing claims or rights, and if critical to the successful implementation of the ER Program, how such conflicts or disputes have been or are proposed to be addressed; and</p> <p>iv. Any potential impacts of the ER Program on existing land and resource tenure in the Accounting Area.</p> <p>The ER Program demonstrates that the additional assessment has been conducted in a in a consultative, transparent and participatory manner, reflecting inputs from relevant stakeholders.</p>	
	<p>Indicator 28.2: The ER Program explains how the relevant issues identified in the above assessment have been or will be taken into consideration in the design and implementation of the ER Program, and in the relevant Safeguards Plan(s). If the ER Program involves activities that are contingent on establishing legally recognized rights to lands and territories that Indigenous Peoples have traditionally owned or customarily used or occupied, the relevant Safeguards Plan sets forth an action plan for the legal recognition of such ownership, occupation, or usage. Beyond what is required for the successful implementation of the ER Program, the ER Program is encouraged to show how it can contribute to progress towards clarifying land and resource tenure in the Accounting Area, where relevant.</p>	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>

Criterion	Indicator	How criteria and indicators have been met
	<p>Indicator 28.3: The ER Program provides a description of the implications of the land and resource regime assessment for the ER Program Entity's ability to transfer Title to ERs to the Carbon Fund.</p>	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>
<p>Criterion 29: The ER Program provides a description of the benefit-sharing arrangements for the ER Program, including information specified in Indicator 30.1, to the extent known at the time.</p>		<p>This Criterion is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>
<p>Criterion 30: The Benefit Sharing Plan will elaborate on the benefit sharing arrangements for Monetary and Nonmonetary Benefits, building on the description in the ER Program Document, and taking into account the importance of managing expectations among potential Beneficiaries.</p>	<p>Indicator 30.1: The Benefit Sharing Plan is made publicly available prior to ERPA signature, at least as an advanced draft, and is disclosed in a form, manner and language understandable to the affected stakeholders for the ER Program (If a final Benefit-Sharing Plan is not provided at the time of ERPA signature, it becomes a condition precedent which must be fulfilled in order for the sale and purchase obligations under the ERPA to become effective.). The Benefit-Sharing Plan contains the following information:</p> <p>i. The categories of potential Beneficiaries, describing their eligibility to receive potential Monetary and Non-Monetary Benefits under the ER Program and the types and scale of such potential Monetary and Non-Monetary Benefits that may be received. Such Monetary and Non-Monetary Benefits should be culturally appropriate and gender and inter-generationally inclusive. The identification of such potential Beneficiaries takes into account emission reduction strategies to effectively address drivers of net emissions, anticipated implementers and geographical distribution of those strategies, land and resource tenure rights (including legal and customary rights of use, access, management, ownership, etc. identified in the assessments carried out under</p>	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>



Criterion	Indicator	How criteria and indicators have been met
	<p>Criterion 28), and Title to ERs, among other considerations.</p> <p>ii. Criteria, processes, and timelines for the distribution of Monetary and Non-Monetary Benefits.</p> <p>iii. Monitoring provisions for the implementation of the Benefit Sharing Plan, including, as appropriate, an opportunity for participation in the monitoring and/or validation process by the Beneficiaries themselves.</p>	

Criterion	Indicator	How criteria and indicators have been met
<p>Criterion 31: The benefit sharing arrangements are designed in a consultative, transparent, and participatory manner appropriate to the country context. This process is informed by and builds upon the national readiness process, including the SESA, and taking into account existing benefit sharing arrangements, where appropriate.</p>	<p>Indicator 31.1: The Benefit-Sharing Plan is prepared as part of the consultative, transparent and participatory process for the ER Program, and reflects inputs by relevant stakeholders, including broad community support by affected Indigenous Peoples. The Benefit-Sharing Plan is designed to facilitate the delivery and sharing of Monetary and Non-Monetary Benefits that promote successful ER Program implementation. The Benefit-Sharing Plan is disclosed in a form, manner and language understandable to the affected stakeholders of the ER Program.</p>	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>
<p>Criterion 32: The implementation of the Benefit-Sharing Plan is transparent.</p>	<p>Indicator 32.1: Information on the implementation of the Benefit-Sharing Plan is annexed to each ER Program monitoring report and interim progress report and is made publicly available.</p>	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>
<p>Criterion 33: The benefit-sharing arrangement for the ER Program reflects the legal context.</p>	<p>Indicator 33.1: The design and implementation of the Benefit Sharing Plan comply with relevant applicable laws, including national laws and any legally binding national obligations under relevant international laws.</p>	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>
<p>Criterion 34: Non-Carbon Benefits are integral to the ER Program.</p>	<p>Indicator 34.1: The ER Program outlines potential Non Carbon Benefits, identifies priority Non-Carbon Benefits, and describes how the ER Program will generate and/or enhance such priority Non-Carbon Benefits. Such priority Non-Carbon Benefits should be culturally appropriate, and gender and inter-generationally inclusive, as relevant.</p>	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>
	<p>Indicator 34.2: Stakeholder engagement processes carried out for the ER Program design and for the readiness phase inform the identification of such priority Non-Carbon Benefits.</p>	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>

Criterion	Indicator	How criteria and indicators have been met
<p>Criterion 35: The ER Program indicates how information on the generation and/or enhancement of priority Non-Carbon Benefits will be provided during ER Program implementation, as feasible.</p>	<p>Indicator 35.1: The ER Program proposes an approach utilizing methods available at the time to collect and provide information on priority Non-Carbon Benefits (Community participation in these methods is referred to in Criterion 16.), including, e.g., possibly using proxy indicators. If relevant, this approach also may use information drawn from or contributed as an input to the SIS.</p>	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>
	<p>Indicator 35.2: Information on generation and/or enhancement of priority Non-Carbon Benefits will be provided in a separate annex to each ER Program monitoring report and interim progress report, and will be made publicly available.</p>	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>
<p>Criterion 36: The ER Program Entity demonstrates its authority to enter into an ERPA and its ability to transfer Title to ERs to the Carbon Fund.</p>	<p>Indicator 36.1: The ER Program Entity demonstrates its authority to enter into an ERPA with the Carbon Fund prior to the start of ERPA negotiations, either through:</p> <ul style="list-style-type: none"> i. Reference to an existing legal and regulatory framework stipulating such authority; and/or ii. In the form of a letter from the relevant overarching governmental authority (e.g., the presidency, chancellery, etc.) or from the relevant governmental body authorized to confirm such authority. 	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>

Criterion	Indicator	How criteria and indicators have been met
	<p>Indicator 36.2: The ER Program Entity demonstrates its ability to transfer to the Carbon Fund Title to ERs, while respecting the land and resource tenure rights of the potential rights-holders, including Indigenous Peoples (i.e., those holding legal and customary rights, as identified by the assessment conducted under Criterion 28), in the Accounting Area. The ability to transfer Title to ERs may be demonstrated through various means, including reference to existing legal and regulatory frameworks, sub-arrangements with potential land and resource tenure rights-holders (including those holding legal and customary rights, as identified by the assessments conducted under Criterion 28), and benefit-sharing arrangements under the Benefit-Sharing Plan.</p>	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>
	<p>Indicator 36.3: The ER Program Entity demonstrates its ability to transfer Title to ERs prior to ERPA signature, or at the latest, at the time of transfer of ERs to the Carbon Fund. If this ability to transfer Title to ERs is still unclear or contested at the time of transfer of ERs, an amount of ERs proportional to the Accounting Area where title is unclear or contested shall not be sold or transferred to the Carbon Fund (If Title to ERs becomes contested after the transfer of ERs to the Carbon Fund has occurred, the ERPA should provide for appropriate remedies, including the potential use of a buffer reserve.).</p>	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>

Criterion	Indicator	How criteria and indicators have been met
<p>Criterion 37: Based on national needs and circumstances, the ER Program works with the host country to select an appropriate arrangement to avoid having multiple claims to an ER Title.</p>	<p>Indicator 37.1: Based on national needs and circumstances, the ER Program host country has made a decision whether to maintain its own comprehensive national REDD+ Program and Projects Data Management System, or instead to use a centralized REDD+ Programs and Projects Data Management System managed by a third party on its behalf. In either case of a country's use of a third party centralized REDD+ Programs and Projects Data Management System, or a country's own national REDD+ Programs and Projects Data Management System, the indicators below apply:</p>	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>
	<p>Indicator 37.2: A national REDD+ Programs and Projects Data Management System or a third party centralized REDD+ Programs and Projects Data Management System needs to provide the attributes of ER Programs, including:</p> <ul style="list-style-type: none"> i. The entity that has Title to ERs produced; ii. Geographical boundaries of the ER Program or project; iii. Scope of REDD+ activities and Carbon Pools; and iv. The Reference Level used. <p>An ER Program for the Carbon Fund should report its activities and estimated ERs in a manner that conforms to the relevant FCPF Methodological Framework C&Is.</p>	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>
	<p>Indicator 37.3: The information contained in a national or centralized REDD+ Programs and Projects Data Management System is available to the public via the internet in the national official language of the host country (other means may be considered as required).</p>	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>

Criterion	Indicator	How criteria and indicators have been met
	<p>Indicator 37.4: Administrative procedures are defined for the operations of a national or centralized REDD+ Programs and Projects Data Management System; and an audit of the operations is carried out by an independent third party periodically, as agreed with the Carbon Fund.</p>	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>
<p>Criterion 38: Based on national needs and circumstances, ER Program host country selects an appropriate arrangement to ensure that any ERs from REDD+ activities under the ER Program are not generated more than once; and that any ERs from REDD+ activities under the ER Program sold and transferred to the Carbon Fund are not used again by any entity for sale, public relations, compliance or any other purpose.</p>	<p>Indicator 38.1: Based on national needs and circumstances, the ER Program host country has made a decision whether to maintain its own national ER transaction registry, or instead to use a centralized ER transaction registry managed by a third party on its behalf.</p>	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>
	<p>Indicator 38.2: The national or centralized ER transaction registry reports ERs for the Carbon Fund using the accounting methods and definitions described above in the MF.</p>	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>
	<p>Indicator 38.3: An independent audit report certifying that the national or centralized ER transaction registry performs required functions is made public.</p>	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>
	<p>Indicator 38.4: Operational guidance exists, or is in advanced stage of preparation, that clarifies the roles and responsibilities of entities involved in the national or centralized ER transaction registry, as well as rules for operation of the registry.</p>	<p>This Indicator is unrelated to the construction of the Reference Level.</p>

Anexo 2:

Aplicación de las ecuaciones del IPCC en la construcción del nivel de referencia

Cómo se mencionó en la sección 3.6 de este informe, la ecuación genérica aplicada para calcular las emisiones por las fuentes y las absorciones por los sumideros relacionados a una actividad REDD+ fue la siguiente:

$$E_t = \sum_{i=1}^I (DA_{i,t} * FE_{i,t}) \quad (\text{Ec.1})$$

Donde:

E_t	Emisiones o absorciones relacionadas a una actividad REDD+ en el año histórico t ; tCO ₂ -e año ⁻¹
$DA_{i,t}$	Datos de actividad en el estrato i de la categoría LU en el año histórico t relacionados a una actividad REDD+; ha año ⁻¹
$FE_{i,t}$	Factor de emisión o absorción aplicable al estrato i de la categoría LU en el año t ; tCO ₂ -e ha ⁻¹
i	Estrato i en la categoría LU ; sin dimensión
I	Número total de estratos en todas las categorías LU relacionadas a una actividad REDD+; sin dimensión
t	Un año de la serie histórica analizada; sin dimensión
LU	Una de las seis categorías del IPCC: Tierras Forestales (FL , por sus siglas en inglés), Cultivos (CL , por sus siglas en inglés), Pastizales (GL , por sus siglas en inglés), Humedales (WL , por sus siglas en inglés), Asentamientos (SL , por sus siglas en inglés), Otras Tierras (OL , por sus siglas en inglés).

Nota:

- Los resultados de la aplicación del término $(DA_{i,t} * FE_{i,t})$ de la ecuación Ec.1 se reportan para cada transición (tierras que permanecieron en la misma categoría de uso del suelo y tierras que cambiaron de categoría de uso del suelo) en las celdas de las matrices "E AAAA"¹⁶⁷ de la herramienta "FREL TOOL CR v.1". Los valores sumados de las celdas correspondientes a un mismo tipo e bosque y actividad REDD+ (i.e. los valores calculados de E_t) se encuentran al final de las matrices "E AAAA" (celdas B240:S354) y también se reportan en la hoja "DECISIONES" (celdas B51:AZ 173)
- Los datos de actividad anuales $DA_{i,t}$ se reportan en las matrices de las hojas "DA AAAA" de la herramienta "FREL TOOL CR v.1".
- Los factores de emisión $FE_{i,t}$ se reportan en las celdas de las matrices de las hojas "FE AAAA" de la herramienta "FREL TOOL CR v.1".

Debe hacerse la observación que la ecuación Ec.1 no se encuentra en la literatura del IPCC en la forma en que se escribió arriba. Sin embargo, considerando que el Marco Metodológico del Fondo de Carbono del FCPF menciona 20 veces la palabra "factores de emisión" ("*Emission factors*") y 18 veces la palabra "datos de actividad" ("*Activity data*"), muchas veces implicando una relación estrecha entre estos conceptos y la

¹⁶⁷ "AAAA" se refiere a un año específico.

construcción de un nivel de referencia, se consideró útil ilustrar, a través de una ecuación, la importancia de estos conceptos y su relación en el cálculo de las emisiones y absorciones, además que esta ecuación fue realmente aplicada en las hojas de cálculo “E AAAA” de la herramienta “FREL TOOL CR v.1”.

La relación entre la ecuación Ec.1 con sus correspondientes ecuaciones en la literatura del IPCC se puede reconstruir. Esto se hace a continuación.

El término $DA_{i,t}$ en las ecuaciones del IPCC

Las ecuaciones del IPCC no usan siempre la misma notación para referirse a los datos de actividad. Por ejemplo, en la **ecuación 2.6 IPCC GL** (2006, Ch.2, sección 2.2.2, p.2.10) y en la **ecuación 2.8 IPCC GL** (2006, Ch. 2, Sección 2.3.1.1, p.2.12) el IPCC usa la letra A para referirse a la cantidad de tierra que se mantuvo en la misma categoría de uso del suelo, mientras que en la **ecuación 2.16 IPCC GL** (2006, Ch. 2, Sección 2.3.1.2, p.2,20) usa la notación $\Delta A_{TO_OTHERS_i}$ para referirse a la cantidad de tierra que cambió de categoría de uso del suelo, pero el concepto es fundamentalmente el mismo: se trata del área que se usa en una multiplicación para calcular los cambios de existencias de carbono en una categoría.

Las notaciones A , $\Delta A_{TO_OTHERS_i}$, y otras similares utilizadas en las ecuaciones del IPCC para referirse a áreas o cambios de áreas son entonces equivalentes a la notación $DA_{i,t}$ (por dato de actividad) utilizada en la ecuación Ec.1, así que no es necesario profundizar más sobre el término $DA_{i,t}$ de la ecuación Ec.1 en el contexto de las ecuaciones del IPCC.

El término $FE_{i,t}$ en las ecuaciones del IPCC

Por su lado, los factores de emisión ($FE_{i,t}$) en la ecuación Ec. 1 deben entenderse como la suma de:

- (1) las emisiones o absorciones de CO₂ asociadas a los cambios de existencia de carbono que ocurren en una hectárea que permanece en la misma categoría de uso del suelo (e.g. cuando un bosque crece, permaneciendo bosque) o que cambia de categoría de uso del suelo (e.g. cuando una tierra forestal se convierte a otra categoría de uso del suelo); y
- (2) las emisiones de gases no-CO₂ que ocurren en esta misma hectárea de tierra cuando ésta permanece en la misma categoría de uso del suelo o se convierte a otra categoría de uso del suelo.

Esto se muestra en la siguiente ecuación:

$$FE_{i,t} = \Delta C_{i,t} + ENCO2_{i,t} \quad (\text{Ec.2})$$

Donde:

$FE_{i,t}$ Factor de emisión o absorción aplicable al estrato i de la categoría LU en el año t ; tCO₂-e ha⁻¹

$\Delta C_{i,t}$ Cambio de existencia de carbono en el estrato i de la categoría LU en el año t ; tCO₂-e ha⁻¹

$ENCO2_{i,t}$ Emisión de gases no-CO₂ en el estrato i de la categoría LU en el año t ; tCO₂-e ha⁻¹

Los métodos y ecuaciones del IPCC empleados para estimar los términos $\Delta C_{i,t}$ y $ENCO2_{i,t}$ de la ecuación Ec.2 se exponen a continuación.

Estimación de $\Delta C_{i,t}$

En los inventarios nacionales de GEI las emisiones y absorciones de CO₂ para el sector AFOLU, calculadas a partir de los cambios de existencia de carbono, se estiman para cada categoría de uso del suelo (incluyendo tanto las tierras que permanecen en la misma categoría de uso de la tierra como las tierras convertidas a otro uso del suelo) utilizando la **ecuación 2.1 de IPCC GL** (2006, Ch. 2, Sección 2.2.1, p.2.6):

$$\Delta C_{AFOLU} = \Delta C_{FL} + \Delta C_{CL} + \Delta C_{GL} + \Delta C_{WL} + \Delta C_{SL} + \Delta C_{OL} \quad (\text{Ec.3})$$

Donde:

- ΔC_{AFOLU} Cambio de existencias de carbono en todo el sector AFOLU; tC¹⁶⁸
- ΔC_{FL} Cambios de existencias de carbono en las Tierras Forestales (FL); tC
- ΔC_{CL} Cambios de existencias de carbono en las Tierras de Cultivos (CL); tC
- ΔC_{GL} Cambios de existencias de carbono en las Tierras de Pastizales (GL); tC
- ΔC_{WL} Cambios de existencias de carbono en las en Humedales (WL); tC
- ΔC_{SL} Cambios de existencias de carbono en las Asentamientos (SL); tC
- ΔC_{OL} Cambios de existencias de carbono en Otras Tierras (OL); tC

Para cada categoría de uso del suelo (LU)¹⁶⁹, los cambios de existencias de carbono se estiman primero para todos los *estratos* i , i.e. las subdivisiones de las categorías de uso del suelo LU , y luego se suman, para cada categoría, utilizando la **ecuación 2.2 de IPCC GL** (2006, Ch. 2, Sección 2.2.1, p.2.7):

$$\Delta C_{LU} = \sum_i^I \Delta C_{LU_i} \quad (\text{Ec.4})$$

Donde:

- ΔC_{LU} Cambio de existencias de carbono para una categoría de uso del suelo (LU), según la definición de la ecuación 2.1 de IPCC GL (2006, Ch. 2, Sección 2.2.1, p.2.6) (= Ec.1); tC
- ΔC_{LU_i} Cambio de existencias de carbono para el estrato i de la categoría de uso del suelo (LU); tC
- i Un estrato o subdivisión específica dentro de la categoría de uso del suelo LU ; sin dimensiones.
- I Número total de estratos o subdivisiones dentro de la categoría de uso del suelo LU ; sin dimensiones

¹⁶⁸ De las ecuaciones 2.4 y 2.5 de IPCC GL (2006, Ch.2, Sección 2.2.1, p.2.9 y p.2.10) se deduce que las unidades en las ecuaciones 2.1, 2.2 y 2.3 del IPCC de IPCC GL (2006, Ch.2, Sección 2.2.1, p.2.6 y p.2.7) son en toneladas de carbono (tC). En el contexto de la construcción del nivel de referencia, la conversión de toneladas de carbono a toneladas de dióxido de carbono equivalente se hizo desde la estimación de las existencias de carbono promedio por hectárea en cada reservorio, así que en todas las tablas de la herramienta "FREL TOOL CR v.1" todos los valores están en tCO₂-e (excepto cuando en los encabezados de las columnas se indica otra cosa).

¹⁶⁹ LU , en este caso, indica una de las seis categorías del IPCC: FL , CL , GL , WL , SL , OL .

En el contexto de REDD+, en lugar de sumar todos los cambios de existencias de carbono, solamente se suman aquellos cambios de existencia de carbono que corresponden a las actividades REDD+ incluidas en el nivel de referencia. En principio, entonces, se utilizan las ecuaciones 2.1 y 2.2 del IPCC GL (2006), pero las sumas son parciales.

Para saber cuáles valores de ΔC_{LU_i} deben sumarse y cómo deben agruparse los diferentes valores de cambios de existencia de carbono sumados dentro de cada actividad REDD+, se decidió adoptar un enfoque basado en matrices de cambios de usos del suelo, asignando cada celda de las matrices a una y una sola actividad REDD+.

La ventaja de este enfoque es que permite cumplir con los criterios de transparencia en la selección de los cambios de existencia de carbono incluidos en cada actividad REDD+ y también con el criterio de consistencia, ya que para todos los años de la serie histórica, y también para todos los años futuros, siempre se sumarán los cambios de existencia de carbono de las mismas celdas de las matrices, lo cual asegura consistencia entre el nivel de referencia y los futuros reportes de resultados (MRV). Además, el enfoque basado en matrices de cambio de usos del suelo es relativamente fácil de aplicar en el contexto de hojas de cálculo, como se hizo en la herramienta “FREL TOOL CR v.1” desarrollada para Costa Rica.

La ubicación de los términos ΔC_{LU_i} en las matrices de cambio de uso del suelo y las agrupaciones hechas bajo cada actividad REDD+ incluida en el nivel de referencia se muestra, esquemáticamente, en la Figura 1. Por el gran tamaño de las matrices completas, la Figura 1 es un simple esquema para ilustrar los conceptos. La matriz completa, con la asignación de actividades REDD+ a cada celda, se encuentra en la hoja “ACTIVIDADES” de “FREL TOOL CR v.1”.

Las categorías consideradas en el INGEI y en el nivel de referencia, con sus correspondientes subdivisiones (o estratos) *i*, también se muestran en las matrices de cambio de uso del suelo que aparecen en la herramienta “FREL TOOL CR v.1” (Hojas “MC AAAA-AA”, “DA-AAAA”, “FE-AAAA”, “E AAAA”, y “ACTIVIDADES”)¹⁷⁰. Estas categorías y estratos son:

FL: Tierras Forestales:

- Bhp: Bosques muy húmedos pluviales:
- Bh: Bosques húmedos
- Bs: Bosques secos
- Ma: Manglares
- By: Bosques de palma (“Yolillales”)

CL: Cultivos:

- Cultivos anuales
- Cultivos permanentes:
 - En zonas lluviosas (> 2000 mm año⁻¹)
 - En zonas húmedas (1000-2000 mm año⁻¹)

GL: Pastizales

SL: Áreas urbanas

¹⁷⁰ Donde “AAAA-AA” indica un período en años, por ejemplo 1986-1991, y “AAAA” indica un año específico, por ejemplo 1986),

WL: Humedales:

naturales
artificiales

OL: Otras tierras:

Páramos
Suelos desnudos:
naturales
artificiales

La distinción entre “naturales” y “artificiales”, en el caso de los “Humedales” y “Otras tierras” se hizo con el propósito de poder discriminar entre “deforestación antrópica” y “deforestación no-antrópica”, siendo la “no-antrópica” toda la deforestación que corresponde a conversiones de áreas de bosque a “Humedales naturales” y “Suelos desnudos naturales”.

Todas las categorías de bosque fueron, además, subdivididas en las siguientes sub-categorías:

bp: Bosques primarios¹⁷¹

bn Bosques nuevos¹⁷²:

.....-85: Bosques nuevos que aparecieron antes del 1986¹⁷³, con 400 clases de edad
1986-91: Bosques nuevos que aparecieron entre 1986 y 1991¹⁷⁴, con 6 clases de edad.
1992-97: Bosques nuevos que aparecieron entre 1992 y 1997, con 6 clases de edad
1998-00: Bosques nuevos que aparecieron entre 1998 y 2000, con 3 clases de edad
2001-07: Bosques nuevos que aparecieron entre 2001 y 2007, con 8 clases de edad
2008-11: Bosques nuevos que aparecieron entre 2008 y 2011, con 4 clases de edad
2012-13: Bosques nuevos que aparecieron entre 2012 y 2013, con 2 clases de edad
2014-15: Bosques nuevos que aparecieron entre 2012 y 2015, con 2 clases de edad

¹⁷¹ En la herramienta “FREL TOOL CR v.1” los “Bosques primarios” se subdividen además en “sin manejo” (a su vez subdividido en “intacto”, “degradado” y “muy degradado”) y “con manejo” (a su vez con espacio para tres subdivisiones). Sin embargo, considerando que al final del estudio no se pudieron hacer estas subdivisiones por falta de datos, las mismas se ignoraron y todas las subdivisiones de “Bosques primarios” se trataron como una sola categoría.

¹⁷² En la herramienta “FREL TOOL CR v.1” los “Bosques nuevos” tienen la etiqueta “Bosques secundarios”. Eso debido a que en los Mapas de Cobertura del Suelo (MCS) no fue posible discriminar las “Plantaciones Forestales” con un nivel de exactitud aceptable, así que los datos de actividad para “Plantaciones Forestales” están incluidos en la categoría “Bosques nuevos” (= “Bosques secundarios”) en la herramienta “FREL TOOL CR v.1”. En dicha herramienta, los “Bosques secundarios”, igual a los “bosques primarios” se subdividen en “sin manejo” y “con manejo”, pero estas subdivisiones terminaron sin usarse, así que todos los “Bosques nuevos” (= “Bosques secundarios” y “Plantaciones forestales”) se encuentran bajo la etiqueta “Bosques secundarios”, sin otras subdivisiones que los cohortes y clases de edad.

¹⁷³ Referidos a los “Bosques nuevos”, los períodos históricos en los cuales aparecieron bosques nuevos (tierras convertidas a tierras forestales) en los MCS se identifican como “cohortes de edad”.

¹⁷⁴ Referidos a los “Bosques nuevos”, los períodos históricos en los cuales aparecieron bosques nuevos (tierras convertidas a tierras forestales) en los MCS se identifican como “cohortes de edad”.



- 2016-17: Bosques nuevos que aparecieron entre 2016 y 2017, con 2 clases de edad
- 2018-19: Bosques nuevos que aparecieron entre 2018 y 2019, con 2 clases de edad
- 2020-21: Bosques nuevos que aparecieron entre 2020 y 2021, con 2 clases de edad
- 2022-23: Bosques nuevos que aparecieron entre 2022 y 2023, con 2 clases de edad



Figura 1. Ubicación de los término ΔC_i de la ecuación 2.1 de IPCC GL (2006, Ch. 2, Sección 2.2.1, p.2.6) en las matrices de cambio de usos del suelo y relación de este término con las actividades REDD+ incluidas en el nivel de referencia de Costa Rica.

			FL												CL	GL	WL	SL	OL					
			Bmh				Bh				etc...													
			bp	bn			bp	bn			bp	bn												
				...	1986	...	2022		...	1986	...	2022		...	1986	...	2022							
			1985	1991	...	2023	1985	1991	...	2023	1985	1991	...	2023	1985	1991	...	2023						
FL	Bmh	bp	C_{FL}																ΔC_{CL}	ΔC_{GL}	ΔC_{WL}	ΔC_{SL}	ΔC_{OL}	
		bn	... -1985	ΔC_{FL}																ΔC_{CL}	ΔC_{GL}	ΔC_{WL}	ΔC_{SL}	ΔC_{OL}
			1986-91		ΔC_{FL}															ΔC_{CL}	ΔC_{GL}	ΔC_{WL}	ΔC_{SL}	ΔC_{OL}
			...			ΔC_{FL}														ΔC_{CL}	ΔC_{GL}	ΔC_{WL}	ΔC_{SL}	ΔC_{OL}
	2022-23				ΔC_{FL}														ΔC_{CL}	ΔC_{GL}	ΔC_{WL}	ΔC_{SL}	ΔC_{OL}	
	Bh	bp					C_{FL}													ΔC_{CL}	ΔC_{GL}	ΔC_{WL}	ΔC_{SL}	ΔC_{OL}
		bn	... -1985					ΔC_{FL}												ΔC_{CL}	ΔC_{GL}	ΔC_{WL}	ΔC_{SL}	ΔC_{OL}
			1986-91						ΔC_{FL}											ΔC_{CL}	ΔC_{GL}	ΔC_{WL}	ΔC_{SL}	ΔC_{OL}
			...							ΔC_{FL}										ΔC_{CL}	ΔC_{GL}	ΔC_{WL}	ΔC_{SL}	ΔC_{OL}
	2022-23								ΔC_{FL}										ΔC_{CL}	ΔC_{GL}	ΔC_{WL}	ΔC_{SL}	ΔC_{OL}	
	etc...	bp											C_{FL}							ΔC_{CL}	ΔC_{GL}	ΔC_{WL}	ΔC_{SL}	ΔC_{OL}
		bn	... -1985											ΔC_{FL}						ΔC_{CL}	ΔC_{GL}	ΔC_{WL}	ΔC_{SL}	ΔC_{OL}
1986-91														ΔC_{FL}					ΔC_{CL}	ΔC_{GL}	ΔC_{WL}	ΔC_{SL}	ΔC_{OL}	
...															ΔC_{FL}				ΔC_{CL}	ΔC_{GL}	ΔC_{WL}	ΔC_{SL}	ΔC_{OL}	
2022-23																ΔC_{FL}		ΔC_{CL}	ΔC_{GL}	ΔC_{WL}	ΔC_{SL}	ΔC_{OL}		
CL			ΔC_{FL}	ΔC_{FL}	ΔC_{FL}			ΔC_{FL}	ΔC_{FL}	ΔC_{FL}			ΔC_{FL}	ΔC_{FL}	ΔC_{FL}			ΔC_{CL}	ΔC_{GL}	ΔC_{WL}	ΔC_{SL}	ΔC_{OL}		
GL			ΔC_{FL}	ΔC_{FL}	ΔC_{FL}			ΔC_{FL}	ΔC_{FL}	ΔC_{FL}			ΔC_{FL}	ΔC_{FL}	ΔC_{FL}			ΔC_{CL}	ΔC_{GL}	ΔC_{WL}	ΔC_{SL}	ΔC_{OL}		
WL			ΔC_{FL}	ΔC_{FL}	ΔC_{FL}			ΔC_{FL}	ΔC_{FL}	ΔC_{FL}			ΔC_{FL}	ΔC_{FL}	ΔC_{FL}			ΔC_{CL}	ΔC_{GL}	ΔC_{WL}	ΔC_{SL}	ΔC_{OL}		
SL			ΔC_{FL}	ΔC_{FL}	ΔC_{FL}			ΔC_{FL}	ΔC_{FL}	ΔC_{FL}			ΔC_{FL}	ΔC_{FL}	ΔC_{FL}			ΔC_{CL}	ΔC_{GL}	ΔC_{WL}	ΔC_{SL}	ΔC_{OL}		
OL			ΔC_{FL}	ΔC_{FL}	ΔC_{FL}			ΔC_{FL}	ΔC_{FL}	ΔC_{FL}			ΔC_{FL}	ΔC_{FL}	ΔC_{FL}			ΔC_{CL}	ΔC_{GL}	ΔC_{WL}	ΔC_{SL}	ΔC_{OL}		

- ΔC = Cambios de existencias de carbono incluidos en la actividad "deforestación".
- C = Existencias de carbono incluidas en la actividad "conservación" ($\Delta C = 0$ en estas celdas, así que esta actividad se cuantifica como la existencia de carbono (C)).
- ΔC = Cambios de existencias de carbono incluidos en la actividad "aumento de existencias de carbono" en bosques nuevos existentes.
- ΔC = Cambios de existencias de carbono incluidos en la actividad "aumento de existencias de carbono" en tierras convertidas a tierras forestales.



Por su lado, los cambios de existencias anuales de carbono en cada estrato i se calculan sumando los cambios de existencias de carbono en todos los reservorios incluidos, utilizando la **ecuación 2.3 de IPCC GL** (2006, Ch. 2, Sección 2.2.1, p.2.7):

$$\Delta C_{LU_i} = \Delta C_{AB} + \Delta C_{BB} + \Delta C_{DW} + \Delta C_{LI} + \Delta C_{SO} + \Delta C_{HWP} \quad (\text{Ec.5})$$

Donde:

- ΔC_{LU_i} Cambio de existencias de carbono para del estrato i de la categoría de uso del suelo (LU); tC
- ΔC_{AB} Cambio de existencias de carbono en la biomasa aérea (AB); tC
- ΔC_{BB} Cambio de existencias de carbono en la biomasa subterránea (BB); tC
- ΔC_{DW} Cambio de existencias de carbono en la madera muerta (DW); tC
- ΔC_{LI} Cambio de existencias de carbono en la hojarasca (LI) tC
- ΔC_{SO} Cambio de existencias de carbono en el suelo (SO); tC
- ΔC_{HWP} Cambio de existencias de carbono los productos de madera cosechados (HWP); tC

Notas:

- (1) En la herramienta “FREL TOOL CR v.1” los reservorios de carbono se indican con acrónimos en español y en algunos casos se sub-dividen en sub-reservorios, como se indica a continuación:

BA: Biomasa aérea (AB , por sus siglas en inglés):

BARA: Biomasa arbórea aérea;

BNAA: Biomasa no-arbórea aérea.

BS: Biomasa subterránea (BB , por sus siglas en inglés):

BARS: Biomasa arbórea subterránea;

BNAS: Biomaas no-arbórea subterránea.

MM: Madera muerta (DW , por sus siglas en inglés):

MMA: Madera muerta aérea (en pie);

MMC: Madera muerta caída;

MMS: Madera muerta subterránea.

H: Hojarasca (LI , por sus siglas en inglés).

COS: Carbono orgánico del suelo (SO , por sus siglas en inglés).

PM: Productos de madera cosechada (HWP , por sus siglas en inglés):

PM.F1: Fracción 1 del IPCC: productos de papel;

PM.F2: Fracción 2 del IPCC: paneles no-estructurales;

PM.F3: Fracción 3 del IPCC: contrachapado, tableros y paneles estructurales;

PM.F4: Fracción 4 de IPCC: madera de aserrío.

- (2) Los valores de existencia de carbono promedio por hectáreas estimados para cada uno de los reservorio arriba citados se presentan en la hoja “CARBONO” de la herramienta “FREL TOOL CR

v.1". Esta hoja hace explícito (en las celdas B6055:Z6234) todos los parámetros, supuestos y ecuaciones utilizadas en el cálculo de las existencias de carbono promedio de cada reservorio, categoría y estrato, aportando además las fuentes de las mismas y las incertidumbres asociadas a cada parámetro y supuesto.

- (3) Aunque el contenido de carbono en el reservorio "carbono orgánico del suelo" se haya estimado para muchas categorías y estratos, este reservorio se excluyó del nivel de referencia.
- (4) El carbono en los productos de madera cosechada solamente se consideró en las conversiones de tierras forestales a otras tierras, en cuyos casos se asumió que la fracción PM.F4 (madera de aserrío) no se oxida (= término ΔC_L de la ecuación Ec.11, que es la ecuación 2.15 de IPCC GL (2006, Ch. 2, Sección 2.2.1.2, p.2.20).
- (5) En la hoja "CARBONO" de la herramienta "FREL TOOL CR v.1" las existencias de carbono promedio por reservorio de carbono y los totales por cada estrato se calcularon y se reportan de una vez en toneladas de dióxido de carbono por hectárea ($\text{tCO}_2\text{-e ha}^{-1}$), mientras que las ecuaciones arriba citadas del IPCC se refieren a valores de carbono (tC) para el área total de cada estrato. La conversión de toneladas de carbono a toneladas de dióxido de carbono equivalente se hizo multiplicando por el factor (-44/12), que es la relación estequiométrica entre el peso molecular del dióxido de carbono y el peso atómico del carbono.

Cambios de existencia de carbono en tierras que permanecen en la misma categoría

En el caso de las tierras que permanecieron en la misma categoría, los cambios de existencias de carbono de cada estrato se calcularon para cada año con el método del IPCC llamado "*stock difference method*" (método de diferencia de existencias), aplicando la **ecuación 2.5 de IPCC GL** (2006, Ch. 2, Sección 2.2.1, p.2.10):

$$\Delta C = \frac{(C_{t_2} - C_{t_1})}{(t_2 - t_1)} \quad (\text{Ec.6})$$

Donde:

ΔC	Cambio anual de existencias de carbono en el reservorio p ¹⁷⁵ del estrato i de la categoría de uso del suelo LU ; tC año ⁻¹
C_{t_1}	Existencia de carbono en el reservorio p al tiempo t_1 , tC
C_{t_2}	Existencia de carbono en el reservorio p al tiempo t_2 , tC
t_1	En el contexto del INGEI y del nivel de referencia, t_1 es el principio de un año específico (01 de enero); sin dimensión
t_2	En el contexto del INGEI y del nivel de referencia, t_2 es el final de un año específico (31 de diciembre); sin dimensión

¹⁷⁵ Donde p representa un reservorio o sub-reservorio de carbono específico, i.e. AB, BB, DW, LI, SO, HWP . El índice p no aparece en la ecuación del IPCC y se agregó para mayor claridad.

Nótese que la **ecuación 2.5 de IPCC GL** es esencialmente igual a la **ecuación 2.8 (a) de IPCC GL** (2006, Ch. 2, Sección 2.3.1.1, p.2.12). La única diferencia es que en la ecuación 2.8 el término ΔC se cambia por ΔC_B para referirse a la biomasa viva total (suma de biomasa aérea y subterránea), mientras que en la ecuación 2.5 el término ΔC se refiere a cualquier reservorio. Se puede entonces deducir que la ecuación 2.5 de IPCC GL 2006 puede aplicarse a un solo reservorio a la vez o a la suma de varios reservorios a la vez, siempre y cuando se mantenga consistencia en lo relativo a los reservorios incluidos en la suma y la suma no incluya el carbono orgánico del suelo, para el cuál aplican otras ecuaciones.

En la construcción del nivel de referencia, la Ec.6 no se aplicó a cada reservorio por separado, sino a la suma de todos los reservorios incluidos en el nivel de referencia (los cuales no incluyen el carbono orgánico del suelo), lo cual arroja el mismo resultado que calcular el ΔC para cada reservorio separadamente (como se muestra en la ecuación Ec.6) y luego sumarlos (como se muestra en la ecuación Ec.5).

Cabe señalar que para los reservorios de carbono de la biomasa muerta (madera muerta y hojarasca) IPCC GL 2006 presenta ecuaciones con apariencia distinta a la ecuación 2.5 (ver **ecuación 2.19 de IPCC GL** (2006, Ch 2., Sección 2.3.2.1, p. 2.23), sin que haya una diferencia sustantiva en el concepto, ya que las únicas diferencias entre las dos ecuaciones es en qué momento de los cálculos se multiplica por el dato de actividad (A) y la fracción de carbono (CF): en la ecuación 2.19 estas multiplicaciones se hacen al momento de calcular el ΔC mientras que en la ecuación 2.5 la multiplicación con los factores A y CF ocurre antes, cuando se calculan las existencias de carbono, como muestra la ecuación 2.8(b) (ver Ec. 7 abajo).

Además, en el contexto de la construcción del nivel de referencia, los cálculos de los cambios de existencias de carbono se hicieron considerando únicamente las existencias de carbono promedio por hectárea de cada categoría y estrato para así obtener factores constantes que pudiesen ser multiplicados por los datos de actividad anuales, que son datos que cambian anualmente.

Como se desprende de la **ecuación 2.8(b) de IPCC GL** (2006, Ch.2, Sección 2.3.1.1, p. 2.12), para tierras que permanecen en la misma categoría, los términos C_{t_1} y C_{t_2} de las ecuaciones 2.5 y 2.8(a) de IPCC GL (2006, Ch.2), incluyen el dato de actividad A :

$$C = \sum_{i,j} \left\{ A_{i,j} \cdot V_{i,j} \cdot BCEF_{S_{i,j}} \cdot (1 + R_{i,j}) \cdot CF_{i,j} \right\} \quad (\text{Ec.7})$$

Donde:

C	Carbono en la biomasa total para cada sub-categoría de tierra al tiempo t_1 hasta t_2 ; tC
A	Área de tierra que permanece en la misma categoría de uso de la tierra ¹⁷⁶ ; ha
V	Volumen comercial (" <i>merchantable growing stock volume</i> "); m ³ ha ⁻¹
i	Zona ecológica i ($i = 1$ hasta n)
j	Dominio climático j ($j = 1$ hasta m)
R	Relación entre biomasa subterránea y biomasa aérea; t m.s. BB (t m.s- BG) ⁻¹
CF	Fracción de carbono de materia seca (m.s.); t C (t m.s.) ⁻¹

¹⁷⁶ Como aclara IPCC GL (2006, Ch.2, Sección 2.3.1.1, p. 2.13) el área relevante es el área que permanece en la misma categoría al final del año para el cual se estima el inventario. Cualquier otra tierra se contabilizará en una categoría de conversión de acuerdo a los métodos explicados en la sección 2.3.1.2 de IPCC GL (2006, Ch.2).



$BCEF_S$ Factor de conversión y expansión para expandir el volumen comercial a volumen de biomasa aérea; t m.s. BB (m³)⁻¹

Al igualar el término A en la ecuación Ec.7 a 1.00 hectáreas se obtiene un estimado del carbono en la biomasa total por hectárea que puede posteriormente ser multiplicado por los datos de actividad anuales para obtener los estimados anuales de cambios de existencias de carbono.

Otro aspecto importante que debe ser mencionado es que la relación entre la biomasa subterránea y la biomasa aérea (R) no es una constante, ya que además de variar según la zona ecológica i y dominio climático j , también cambia según el valor de la biomasa aérea. Por eso, IPCC GL (2006), en su **Tabla 4.4** (Ch.4, Sección 4.5, p.4.49) ofrece valores por defecto del parámetro R . Estos valores por defecto provienen de ecuaciones publicadas por los autores que se citan en la misma Tabla 4.4. Sin embargo, para el caso de los bosques húmedos tropicales siempre verdes ("*Tropical rainforest*"), que constituyen la gran mayoría de los bosques de Costa Rica, la Tabla 4.4 de IPCC GL (2006) ofrece un solo valor de R ($R = 0.37$), citando la publicación de Fittkau y Klinge (1993) como referencia. Por esta razón, en lugar de aplicar el factor $(1+R)$ y usar un solo valor por defecto del IPCC para el parámetro R , en la ecuación Ec.7 se optó por aplicar la ecuación de Cairns *et al.* (1997¹⁷⁷), que corresponde a un estudio más reciente de la referencia que cita el IPCC para el valor por defecto de R aplicable a bosques húmedos tropicales siempre verdes. La ecuación de Cairns *et al.* (1997) utilizada para calcular la biomasa subterránea es la siguiente:

$$C_{BB} = e^{[-1.0850+0.9256 \ln(C_{AB})]} \quad (\text{Eq.8})$$

Donde:

C_{BB} Carbono en la biomasa subterránea; tC ha⁻¹

C_{AB} Carbono en la biomasa aérea; tC ha⁻¹

De esta manera, la ecuación Ec. 7 (o ecuación 2.8(b) de IPCC GL) se re-escribió de la siguiente manera (poniendo $A_{i,j} = 1.00$ ha y multiplicando por el factor $(-44/12)$ para obtener valores por hectárea en unidades de dióxido de carbono equivalente):

$$C = \sum_{i,j} \left\{ \left[V_{i,j} \cdot BCEF_{S_{i,j}} \cdot CF_{i,j} \right] + C_{BB} \right\} \cdot (-44/12) \quad (\text{Ec.9})$$

Donde:

C Carbono total en la biomasa para cada sub-categoría de tierra; tCO₂-e ha⁻¹

V Volumen comercial ("*merchantable growing stock volume*"); m³ ha⁻¹

i Zona ecológica i ($i = 1$ hasta n)

j Dominio climático j ($j = 1$ hasta m)

CF Fracción de carbono de materia seca (m.s.); t C (t m.s.)⁻¹

¹⁷⁷ Cairns, M.A., S. Brown, E.H. Helmer, and G.A. Baumgardner, 1997: Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*, 111, 1-11.



$BCEF_S$ Factor de conversión y expansión para expandir el volumen comercial a volumen de biomasa aérea; t m.s. BB (m³)⁻¹

C_{BB} Carbono en la biomasa subterránea; tC ha⁻¹

De esta manera, al introducir los valores de C calculados con la ecuación Ec.9 en la ecuación Ec.6, y sumando para todos los reservorios, se obtiene que, para las tierras que permanecieron en la misma categoría:

$$\Delta C_{i,t} \text{ (de la ecuación Ec.2)} = \Delta C \text{ (de la ecuación Ec.6)} \quad \text{(Ec.10)}$$

Donde:

$\Delta C_{i,t}$ Cambio de existencia de carbono en el estrato i de la categoría LU en el año t ; tCO₂-e ha⁻¹

ΔC Cambio anual de existencias de carbono en todos los reservorios del estrato i de la categoría de uso del suelo LU ; tCO₂-e ha⁻¹

Para el caso de los bosques que permanecieron en la misma categoría, IPCC presenta ecuaciones para calcular aumentos de existencias de carbono en la biomasa debido al crecimiento, e.g. **ecuación 2.9 de IPCC GL** (2006, Ch. 2, Sección 2.3.1.1 p. 2.15), y ecuaciones para calcular disminuciones en las existencias de carbono en la biomasa debido al aprovechamiento de madera y leña y al impacto de disturbios naturales, e.g. **ecuación 2.11 de IPCC GL** (2006, Ch. 2, Sección 2.3.1.1, p. 2.16).

Para el caso de los bosques primarios se asumió que los mismos no tienen ni pérdidas ni ganancias de carbono, es decir que su contenido de carbono se mantiene estable en el tiempo. Esto se justifica por el hecho que las existencias de carbono de estos bosques fueron estimadas en estudios que midieron las existencias de carbono en parcelas que estaban en diferentes etapas del ciclo de aprovechamiento y en parcelas que estaban sin aprovechamiento, así que los valores estimados representan el promedio del contenido de carbono de estos bosques en una secuencia temporal.

Para el caso de los bosques nuevos, los aumentos de existencias de carbono se estimaron con las curvas ajustadas de crecimiento y acumulación de biomasa de Cifuentes (2008), lo cual es consistente con el **árbol de decisión de IPCC GL** (2006, Box 2: Tier 2, en el árbol de decisión que se presenta en la Figura 2.2, Ch. 2, Vol 4. Sección 2.3.1.1, p. 2.14). Considerando que estas curvas fueron calibradas con datos de parcelas de diferente edad, medidas en el campo, y que los bosques secundarios no están sujetos a manejo forestal, aún, en Costa Rica, se puede - por un lado - asumir que no existen pérdidas de biomasa y carbono por aprovechamientos de madera y leña en estos bosques y -por el otro - que cualquier pérdida debida, por ejemplo, a disturbios naturales, está implícitamente reflejada en los datos de las parcelas que se midieron para construir las curvas.

En conclusión, para los bosques que permanecieron bosques, no se asumió que las pérdidas de carbono debidas a aprovechamientos de madera, leña y disturbios naturales son iguales a cero y que los incrementos de biomasa se dan solamente en los bosques nuevos de acuerdo a las curvas ajustadas de Cifuentes (2008).

Cambios de existencia de carbono en tierras que cambiaron de categoría

Los cambios de existencias de carbono en conversiones de tierras a otras categorías de uso del suelo también se calcularon aplicando el método del IPCC llamado "*stock difference method*" (método de



diferencia de existencias). Específicamente, se aplicó la **ecuación 2.15 de IPCC GL** (2006, Ch. 2, Sección 2.2.1.2, p.2.20):

$$\Delta C_B = \Delta C_G + \Delta C_{CONVERSION} - \Delta C_L \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde:

ΔC_B	Cambio inicial anual en la existencia de carbono en la biomasa en la tierra convertida a otra categoría de uso de la tierra; tC año ⁻¹
ΔC_G	Aumento anual en la existencia de carbono en la biomasa debida al crecimiento en la tierra convertida a otra categoría de uso de la tierra; tC año ⁻¹
$\Delta C_{CONVERSION}$	Cambio inicial de existencias de carbono en la biomasa en la tierra convertida a otra categoría de uso de la tierra; tC año ⁻¹
ΔC_L	Disminución anual en la existencia de carbono en la biomasa en la tierra convertida a otra categoría de uso de la tierra debido a pérdidas por cosechas, colección de leña y disturbios; tC año ⁻¹

Según la **ecuación 2.16 de IPCC GL** (2006, Ch. 2, Sección 2.2.1.2, p. 2.20), el término $\Delta C_{CONVERSION}$ se calcula de la siguiente manera:

$$\Delta C_{CONVERSION} = \sum_i \left\{ (B_{AFTER_i} - B_{BEFORE_i}) \cdot \Delta A_{TO-OTHERS_i} \right\} \cdot CF \quad (\text{Ec.12})$$

Donde:

$\Delta C_{CONVERSION}$	Cambio inicial de existencias de carbono en la biomasa en la tierra convertida a otra categoría de uso de la tierra; tC año ⁻¹
B_{BEFORE_i}	Existencia de carbono en la biomasa en la tierra tipo <i>i</i> antes de la conversión; t m.s. ha ⁻¹
B_{AFTER_i}	Existencia de carbono en la biomasa en la tierra tipo <i>i</i> inmediatamente después de la conversión; t d.m. ha ⁻¹
$\Delta A_{TO-OTHERS_i}$	Área del uso de la tierra <i>i</i> convertido a otra categoría de uso del suelo en el año <i>t</i> ; ha año ⁻¹
CF	Fracción de carbono para materia seca (m.s.); tC (t m.s.) ⁻¹
<i>i</i>	Tipo de uso del suelo convertido a otra categoría de uso del suelo.

En el año en que ocurrieron las diferentes conversiones, las ecuaciones Ec.11 y Ec.12 se aplicaron de la siguiente manera:

- (1) En conversiones de “Tierras Forestales” a otras categorías de uso de la tierra (i.e. deforestación):
 - El término ΔC_G se estimó como la biomasa acumulada al final del primer año de crecimiento en la vegetación de la categoría de uso del suelo que reemplazó al bosque.

- El término $\Delta C_{CONVERSION}$ se asumió como igual al 100% de la biomasa del bosque, es decir:

$$B_{BEFORE_i} = \text{biomasa en el bosque antes de la conversión};$$

$$B_{AFTER_i} = 0.$$
 - El término ΔC_L se estimó como el contenido de carbono trasladado a la fracción más durable de los productos de madera cosechada (PM.F4).
- (2) En conversiones de “Cultivos permanentes” y “Pastizales” a “Tierras Forestales” (i.e. aumento de existencias de carbono en tierras convertidas a “Tierras Forestales”):
- El término ΔC_G se estimó como la biomasa acumulada en los bosques nuevos a la edad a la cual dichos bosques se tornan visibles en las imágenes Landsat, es decir la biomasa acumulada después de 8 años de crecimiento en el caso de los “Bosques Secos” y la biomasa acumulada después de 4 años de crecimiento en el caso de los demás tipos de bosque.
 - El término $\Delta C_{CONVERSION}$ se asumió como igual a la diferencia entre la biomasa arbórea y la biomasa no-arbórea del “Cultivo permanente” o “Pastizal”, es decir:

$$B_{BEFORE_i} = \text{biomasa arbórea y no arbórea total en el “Cultivo permanente” o “Pastizal”};$$

$$B_{AFTER_i} = \text{biomasa arbórea original de “Cultivo permanente” o “Pastizal”}.$$
 - El término ΔC_L se asumió igual a 0.
- (3) En conversiones de “Cultivos anuales” y “Humedales”, “Asentamientos” y “Otras Tierras” a “Tierras Forestales” (i.e. aumento de existencias de carbono en tierras convertidas a “Tierras Forestales”):
- El término ΔC_G se estimó como la biomasa acumulada en los bosques nuevos a la edad a la cual dichos bosques se tornan visibles en las imágenes Landsat, es decir la biomasa acumulada después de 8 años de crecimiento en el caso de los “Bosques Secos” y la biomasa acumulada después de 4 años de crecimiento en el caso de los demás tipos de bosque.
 - El término $\Delta C_{CONVERSION}$ se asumió como igual a la biomasa total presente en las categorías de uso del suelo existentes antes de la conversión, es decir:

$$B_{BEFORE_i} = \text{biomasa total en la categoría inicial antes de la conversión};$$

$$B_{AFTER_i} = 0.$$
 - El término ΔC_L se asumió igual a 0.

Todas las demás tipos de conversión no se consideraron dentro de las actividades REDD+.

En cuanto a los cambios de existencias de carbono en la biomasa muerta (madera muerta y hojarasca) en tierras que cambiaron de categoría de uso el suelo, la **ecuación 2.23 de IPCC GL** (2006, Ch. 2., Sección 2.3.2.2, p.2.26) es esencialmente la misma que IPCC da para las tierras que permanecen en la misma categoría (i.e. ecuación 2.19 de IPCC GL, 2006, Ch. 2, Sección 2.3.2.1, p.2.23), solo que se usan notaciones distintas y en el caso de la ecuación 2.23 no se multiplica por la fracción de carbono CF .



Como en el caso de las categorías que permanecieron en la misma categoría de uso del suelo, la ecuación Ec.11 (i.e. la ecuación 2.15 de IPCC GL, 2006) se re-escribió para que sea aplicable a una hectárea, considerando la suma de todos los reservorios incluidos en el nivel de referencia, poniendo $\Delta A_{TO-OTHERS_i} = 1.00$ ha en la ecuación 2.16 de IPCC GL (2006) (Ec.12) y multiplicando de una vez por el factor $-44/12$ para obtener valores de cambios de existencia de carbono por hectárea en toneladas de dióxido de carbono equivalente ($tCO_2-e ha^{-1}$). De esta manera, se obtiene que para las tierras que cambiaron de categoría:

$$\Delta C_{i,t} \text{ (de la ecuación Ec.2)} = \Delta C_B \text{ (de la ecuación Ec.11)} \quad (\text{Ec.13})$$

Donde:

$\Delta C_{i,t}$ Cambio de existencia de carbono en el estrato i de la categoría LU en el año t ; $tCO_2-e ha^{-1}$

ΔC Cambio anual de existencias de carbono en todos los reservorios de los estratos i que cambiaron de categoría de uso del suelo; $tCO_2-e ha^{-1}$

Emisiones de gases no- CO_2 asociadas a la quema de biomasa

Tanto el INGEI como el nivel de referencia incluyen estimaciones de las emisiones de gases no- CO_2 asociados a la quema de la biomasa. Como muestra la **ecuación 2.6 de IPCC GL** (2006, Ch.2, Sección 2.2.2, p.2.10), también las emisiones de gases no- CO_2 se estiman con una ecuación similar a la Ec.1:

$$Emission = A * EF \quad (\text{Ec.14})$$

Donde:

$Emission$ emisiones de gases no- CO_2 ; t del gas no- CO_2

A Dato de actividad relacionado a la fuente de emisión

EF Factor de emisión para un gas y categoría de fuente específica, toneladas por unidad de A

En el caso específico de las emisiones de gases no- CO_2 por quema de biomasa, se aplicó la **ecuación 2.27 del IPCC GL** (2006, Ch. 2, Sección 2.4, p.2.42):

$$L_{fire} = A \bullet M_B \bullet C_f \bullet G_{ef} \bullet 10^{-3} \quad (\text{Ec.15})$$

Donde:

L_{fire} Cantidad de emisiones de GEI en toneladas para cada GEI, e.g. CH_4 , N_2O , etc.;

A Área quemada; ha

M_B Masa de combustible disponible para la combustión, incluyendo la biomasa aérea, la madera muerta y la hojarasca, pro excluyendo los productos de madera cosechados; $t ha^{-1}$

C_f Factor de combustión; sin dimensiones (valores por defecto de la Tabla 2.6 de IPCC GL 2006, Ch. 2, Sección 2.4, p.2.48)

G_{ef} Factor de emisión; $g kg^{-1}$ materia seca quemada (valores por defecto de la Tabla 2.5 de IPCC GL 2005, Ch. 2, Sección 2.4, p.2.47)

Como en los casos de las ecuaciones para cambios de existencias de carbono, al asumir un valor de $A = 1.00$ ha, y multiplicar por $-44/12$, la ecuación Ec.15 (**ecuación 2.27 del IPCC GL**) se convierte en un factor de emisión por hectárea expresado en toneladas de dióxido de carbono equivalente.

Las emisiones de gases no- CO_2 se incluyeron en el nivel de referencia solamente para el caso de las conversiones de bosque a categorías de no bosque, ya que la práctica de tumba, roza y quema era común en Costa Rica como en muchos otros países. Sin embargo, después de la adopción de la Ley Forestal 7575 en 1997 esta práctica ha venido disminuyendo considerablemente. Por esta razón, se consultó a los expertos del IMN para estimar, para cada período histórico analizado, un porcentaje $P\%$ conservador de las áreas de bosques convertidas a categorías de no-bosque en las cuales se considera que la conversión involucró la quema de biomasa. Los porcentajes aplicados fueron los siguientes (ver también la hoja “DECISIONES” de “FREL TOOL CR v.1”):

- Período 1986-1991: $P\% = 100\%$
- Período 1992-1997: $P\% = 100\%$
- Período 1998-2000: $P\% = 50\%$
- Período 2001-2007: $P\% = 25\%$
- Período 2008-2011: $P\% = 25\%$
- Período 2012-2013: $P\% = 25\%$

Después de multiplicar los valores en toneladas de dióxido de carbono por hectárea obtenidos de la ecuación Ec.15 (al poner $A = 1.00$ ha y multiplicando por $-44/12$) con los porcentajes $P\%$ =correspondientes a cada período se obtiene el valor de $ENCO2_{i,t}$ de la ecuación **Ec.2**:

$$ENCO2_{i,t} = L_{fire} \cdot P\% \cdot (-44/12) \quad (\text{Ec.16})$$

Discusión

El IPCC GL 2006, en su capítulo 2.2.1. *Perspectiva general de la estimación de cambios en las existencias de carbono* aporta de manera general ecuaciones que se podrían aplicar para estimar los cambios existencias anuales de carbono para todo el sector AFOLU. De acuerdo al mismo capítulo, en su página 2.9, para estimar los cambios de existencias de carbono en cualquier reservorio “hay dos métodos muy diferentes e igualmente válidos para estimar los cambios de las existencias: 1) el método basado en los procesos, por el que se estiman el balance neto de los agregados a las existencias de carbono y las absorciones de éste; y 2) el método basado en las existencias, por el que se estima la diferencia en existencias de carbono entre dos momentos diferentes”. El segundo método, llamado también “método de diferencia de existencias” (“*stock change method*”) se aplicaría por medio de la siguiente ecuación:

ECUACIÓN 2.5 CAMBIOS EN LAS EXISTENCIAS DE CARBONO EN UN DEPÓSITO DADO SEGÚN LA DIFERENCIA ANUAL PROMEDIO ENTRE ESTIMACIONES EN DOS MOMENTOS DIFERENTES (MÉTODO DE DIFERENCIA DE EXISTENCIAS)

$$\Delta C = \frac{(C_{t_2} - C_{t_1})}{(t_2 - t_1)}$$

Donde:

ΔC = cambio en las existencias anuales de carbono del depósito, ton C año⁻¹

C_{t_1} = existencias de carbono del depósito en el momento t_1 , ton de C

C_{t_2} = existencias de carbono del depósito en el momento t_2 , ton de C

Dicha ecuación 2.5 presenta los cambios de existencias en la forma de cambios de stocks de carbono totales (en toneladas de C) entre dos fechas distintas. No obstante, en la página 2.10, tras dicha ecuación el IPCC GL 2006 indica que “Si se estiman los cambios en las existencias de carbono **en base a hectáreas, entonces el valor se multiplica por el total de la superficie dentro de cada estrato para obtener la estimación del cambio en las existencias del depósito**”, y prosigue indicando que “Cuando se emplea el Método de diferencia de existencias para una categoría específica de uso de la tierra, es importante asegurarse de que **la superficie de tierra de esa categoría sea idéntica en los momentos t_1 y t_2** , a fin de evitar la confusión entre estimaciones de cambios de existencias con los de cambios de superficie”. Esto quiere decir que, si los cambios de existencias se estiman en base a las hectáreas, la misma ecuación se podría expresar de la siguiente manera:

$$\Delta C = \frac{(C_{t_2} - C_{t_1})}{(t_2 - t_1)} = A \times \frac{(DC_{t_2} - DC_{t_1})}{(t_2 - t_1)}$$

Donde:

- A : Área de la categoría de cambio correspondiente;
- DC_{t_i} es la densidad de carbono en el tiempo t_i expresada en tC ha⁻¹.

El término de la derecha de la ecuación anterior es equivalente al cambio de existencias para un reservorio determinado y para una categoría de cambio determinado, lo que es igual a decir factor de emisión. Por tanto, la ecuación anterior se podría expresar como:

$$\Delta C = A \times \frac{(DC_{t_2} - DC_{t_1})}{(t_2 - t_1)} = A \times FE$$

Pese a que el Capítulo 2 muestra estas ecuaciones que podrían ser aplicables a todos los reservorios, también presenta ecuaciones específicas por reservorio y para tierras que permanecen en la misma categoría de uso, o conversión de tierras a una nueva categoría de uso. Si se analizan dichas ecuaciones en detalle y se desarrollan de la misma manera, se puede comprobar que en el fondo los cambios de existencias son el resultado de la multiplicación de datos de actividad por factores de emisión. Por lo que se están utilizando los mismos métodos indicados por el IPCC, pero con una notación diversa.

ECUACIÓN 2.8
CAMBIO ANUAL DE LAS EXISTENCIAS DE CARBONO DE LA BIOMASA
EN TIERRAS QUE PERMANECEN EN LA MISMA CATEGORÍA DE USO DE LA TIERRA (MÉTODO DE
DIFERENCIA DE EXISTENCIAS)

$$\Delta C_B = \frac{(C_{t_2} - C_{t_1})}{(t_2 - t_1)} \quad (a)$$

donde:

$$C = \sum_{i,j} \{A_{i,j} \cdot V_{i,j} \cdot BCEF_{S_{i,j}} \cdot (1 + R_{i,j}) \cdot CF_{i,j}\} \quad (b)$$

Donde:

ΔC_B = cambio anual en las existencias de carbono de la biomasa (la suma de los términos de biomasa aérea y subterránea de la Ecuación 2.3) en tierras que permanecen en la misma categoría (p. ej. *Tierras forestales que permanecen como tales*), ton C año⁻¹

C_{t_2} = total de carbono en biomasa para cada subcategoría de tierra en el momento t_2 , ton de C

C_{t_1} = total de carbono en biomasa para cada subcategoría de tierra en el momento t_1 , ton de C

C = total de carbono en biomasa para el período t_1 a t_2

A = superficie de tierra que permanece en la misma categoría de uso de la tierra, ha (véase la nota a continuación)

V = volumen de las existencias venales en crecimiento, m³ ha⁻¹

i = zona ecológica i ($i = 1$ a n)

j = dominio climático j ($j = 1$ a m)

R = relación entre biomasa aérea y biomasa subterránea, toneladas d.m. de biomasa subterránea (ton d.m. de biomasa aérea)⁻¹

CF = fracción de carbono de materia seca, ton C (ton d.m.)⁻¹

Teniendo en cuenta la ecuación anterior, si consideramos que $A_{i,j}$ es el área que permanece en la misma categoría y que por tanto es igual en el periodo t_2 y t_1 , combinando la ecuación (a) y (b), y considerando que el carbono no se calcula aplicando un BCEF sino directamente, llegaríamos a la siguiente ecuación, que en esencia es equivalente a multiplicar datos de actividad por factores de emisión:

$$\Delta C_{i,j} = A_{i,j} \times \frac{(DC_{i,j,t_2} - DC_{i,j,t_1})}{(t_2 - t_1)} = A_{i,j} \times EF_{i,j}$$

Otro ejemplo sería el caso de la biomasa en tierras convertidas:

ECUACIÓN 2.15
CAMBIO ANUAL EN LAS EXISTENCIAS DE CARBONO EN BIOMASAS EN TIERRAS CONVERTIDAS A OTRA CATEGORÍA DE USO DE LA TIERRA (NIVEL 2)

$$\Delta C_B = \Delta C_G + \Delta C_{CONVERSION} - \Delta C_L$$

Donde:

ΔC_B = cambio anual en las existencias de carbono de la biomasa en tierras convertidas a otra categoría de uso de la tierra, en ton C año⁻¹

ΔC_G = incremento anual en las existencias de carbono de la biomasa debido a crecimiento en tierras convertidas a otra categoría de uso de la tierra, en ton C año⁻¹

$\Delta C_{CONVERSION}$ = cambio inicial en las existencias de carbono de la biomasa en tierras convertidas a otra categoría de uso de la tierra, en ton C año⁻¹

ΔC_L = reducción anual en las existencias de carbono de la biomasa debida a pérdidas producidas por cosechas, recogida de madera combustible y perturbaciones en tierras convertidas a otra categoría de uso de la tierra, en ton C año⁻¹

La conversión a otra categoría de tierra puede estar relacionada con un cambio en las existencias de biomasa; p. ej. parte de la biomasa puede ser retirada mediante desbroce de tierras, repoblación u otras actividades inducidas por el hombre. Estos cambios iniciales de las existencias de carbono en la biomasa ($\Delta C_{CONVERSION}$) se calculan empleando la Ecuación 2.16, de la siguiente manera:

ECUACIÓN 2.16
CAMBIO INICIAL EN LAS EXISTENCIAS DE CARBONO EN LA BIOMASA DE TIERRAS CONVERTIDAS A OTRA CATEGORÍA DE TIERRA

$$\Delta C_{CONVERSION} = \sum_i \{(B_{DESPUES_i} - B_{ANTES_i}) \cdot \Delta A_{A_OTRAS_i}\} \cdot CF$$

Donde:

$\Delta C_{CONVERSION}$ = cambio inicial en las existencias de carbono de la biomasa en tierras convertidas a otra categoría de tierra, ton C año⁻¹

$B_{DESPUES_i}$ = existencias de biomasa en el tipo de tierra i inmediatamente después de la conversión, ton d.m. ha⁻¹

B_{ANTES_i} = existencias de biomasa en el tipo de tierra i antes de la conversión, ton d.m. ha⁻¹

$\Delta A_{A_OTRAS_i}$ = superficie de uso de la tierra i convertida a otra categoría de uso de la tierra en un año dado, ha año⁻¹

CF = fracción de carbono de materia seca, ton C (ton d.m.)⁻¹

i = tipo de uso de la tierra convertido a otra categoría de uso de la tierra.

En este caso, si se asume no se consideran los cambios de la categoría post-deforestación, la ecuación 2.15 se podría expresar como:

$$\Delta C_B = \Delta C_{CONVERSION} = \sum_i \{(B_{DESPUES,i} - B_{ANTES,i}) \times \Delta A_{A_OTRAS,i}\} \times CF$$

Y esta ecuación, para un tipo de tierra determinado se puede expresar como datos de actividad por factores de emisión.

$$\Delta C_{B,i} = (B_{DESPUES,i} \times CF - B_{ANTES,i} \times CF) \times \Delta A_{A_OTRAS,i} = \Delta A_{A_OTRAS,i} \times (DC_{DESPUES,i} - DC_{ANTES,i})$$

$$= \Delta A_{A_OTRAS,i} \times EF_i$$

Otro ejemplo lo encontramos en la materia muerta:

ECUACIÓN 2.23
CAMBIO ANUAL EN LAS EXISTENCIAS DE CARBONO EN MADERA MUERTA Y HOJARASCA DEBIDO A LA CONVERSIÓN EN EL USO DE LA TIERRA

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

Donde:

ΔC_{DOM} = cambio en las existencias anuales de carbono en madera muerta u hojarasca, ton C año⁻¹

C_o = existencias de madera muerta/hojarasca, bajo la categoría anterior de uso de la tierra, ton C ha⁻¹

C_n = existencias de madera muerta/hojarasca, bajo la nueva categoría de uso de la tierra, ton C ha⁻¹

A_{on} = superficie sometida a la conversión de la vieja a la nueva categoría de uso de la tierra, ha

T_{on} = lapso en el que se produce la transición de la vieja a la nueva categoría de uso de la tierra, año. El valor por defecto del Nivel 1 es de 20 años para los incrementos de existencias de carbono y de 1 año para las pérdidas de carbono.

En este caso, se puede ver claramente que se trata de datos de actividad multiplicado por un factor de emisión:

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

En el caso del carbono orgánico del suelo sería la misma cosa. Como se puede comprobar en la siguiente ecuación, esta se puede presentar en forma de datos de actividad por factores de emisión:

ECUACIÓN 2.25

CAMBIO ANUAL EN LAS EXISTENCIAS DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS MINERALES

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

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

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

Donde:

- $\Delta C_{\text{Minerales}}$ = cambio anual en las existencias de carbono de los suelos minerales, ton C año⁻¹
- SOC_0 = existencias de carbono orgánico en el suelo en el último año de un período de inventario, ton C
- $SOC_{(0-T)}$ = existencias de carbono orgánico en el suelo al comienzo de un período de inventario, ton C
- SOC_0 y $SOC_{(0-T)}$ se calculan utilizando la ecuación del SOC del recuadro donde se asignan los factores de referencia para existencias y cambios de existencias de carbono según las actividades de uso y gestión de la tierra y las superficies respectivas en cada uno de los momentos (momento = 0 y momento = 0-T)
- T = cantidad de años de un período de inventario dado, año
- D = Dependencia temporal de los factores de cambio de existencias, que es el lapso por defecto para la transición entre los valores de equilibrio del SOC, año. Habitualmente 20 años, pero depende de las hipótesis que se apliquen en el cálculo de los factores F_{LU} , F_{MG} y F_I . Si T es mayor que D, úsese el valor de T para obtener la tasa anual de cambio durante el tiempo de inventario (0 – T años).
- c = representa las zonas climáticas, s los tipos de suelo, e i el conjunto de sistemas de gestión que se dan en un país dado.
- SOC_{REF} = las existencias de carbono de referencia, ton C ha⁻¹ (Cuadro 2.3)
- F_{LU} = factor de cambio de existencias para sistemas de uso de la tierra o subsistemas de un uso de la tierra en particular, sin dimensión
- [Nota: F_{ND} se sustituye por F_{LU} en el cálculo del C en suelos forestales para estimar la influencia de los regímenes de perturbaciones naturales.
- F_{MG} = factor de cambio de existencias para el régimen de gestión, sin dimensión
- F_I = factor de cambio de existencias para el aporte de materia orgánica, sin dimensión

De hecho se presenta claramente en el recuadro 2.1:

Fórmula B (Métodos 2 y 3 para recolección de datos de la actividad)

$$\Delta C_{\text{Minerales}} = \frac{\sum_{c,s,p} \left[\left\{ \left(SOC_{REF_{c,s,p}} \cdot F_{LU_{c,s,p}} \cdot F_{MG_{c,s,p}} \cdot F_{I_{c,s,p}} \right)_0 - \left(SOC_{REF_{c,s,p}} \cdot F_{LU_{c,s,p}} \cdot F_{MG_{c,s,p}} \cdot F_{I_{c,s,p}} \right)_{(0-T)} \right\} \cdot A_{c,s,p} \right]}{D}$$

Anexo 3:

Discusión sobre la definición de las actividades REDD+ y formas de contabilizarlas

Como se mencionó en la sección 3.8, aún no existen definiciones universalmente aceptadas de las cinco actividades REDD+ y los diferentes marcos metodológicos no proveen elementos suficientes para que sea posible definirlos y delimitarlos, inequívocamente, espacialmente, temporalmente y a nivel de la contabilidad de carbono. Por eso, existe el riesgo de que ciertos flujos sean contabilizados dos o más veces en diferentes actividades. Una discusión sobre este riesgo se reporta en el Anexo 3.

- La “deforestación” puede contabilizarse de manera “bruta” o de manera “neta” e incluso de maneras que no pueden clasificarse ni de “bruta” ni de “neta” (lo cual ocurre a veces en algunos reportes publicados, pero no sería correcto).

En el contexto de estimar datos de actividad:

- La deforestación “bruta” reporta solamente las pérdidas de áreas de bosque que ocurrieron a partir de una fecha determinada. Para esta fecha debe entonces construirse un mapa base de las áreas de bosques (un “*Forest Cover Benchmark Map*”, FCBM), para que sea posible, de allí en adelante, determinar y contabilizar solamente las pérdidas de áreas de bosque.
- La deforestación “neta” reporta el resultado de sumar pérdidas y ganancias de áreas de bosque, lo cual puede resultar que el balance sea una “pérdida neta” o una “ganancia neta” en términos de área y hasta de carbono. La deforestación “neta” incluye las áreas de bosques nuevos que aparecieron en fechas posteriores a la fecha para la cual se creó el FCBM y que aparecieron en áreas que en el FCBM se clasificaron como “no bosque”. Estas áreas de bosques nuevos podrían también contabilizarse bajo la actividad “aumento de existencias de carbono forestal”, lo cual generaría una doble contabilidad.
- Otra forma de reportar la deforestación y sus emisiones asociadas sería contabilizar todas las pérdidas de áreas de bosque, ya sean de bosques antiguos incluidos en el FCBM o de bosques nuevos que aparecieron después, pero sin sumar las ganancias de áreas de bosque, ya que éstas se contabilizarían en la actividad “aumento de existencias de carbono”.

En el contexto de estimar factores de emisión:

- Las emisiones por deforestación “bruta” consideran sólo el carbono del bosque convertido a otra categoría de uso del suelo (Angelsen *et al.*, 2009)¹⁷⁸.
- Las emisiones por deforestación “neta” consideran tanto los niveles de carbono de los bosques que han sido convertido como los niveles de carbono del uso de la tierra que ha reemplazado al bosque (Angelsen *et al.*, 2009).

Sobre los métodos para estimar factores de emisión y los requerimientos de los marcos metodológicos se profundiza en la sección 5 del informe.

¹⁷⁸ Angelsen, A., S. Brown, C. Loisel, L. Peskett, C. Streck, D. Zarin, 2009: Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD); An Options Assessment Report, Meridian Institute Report, Prepared for the Government of Norway; p.21

- Las áreas de bosque nuevo, es decir las tierras convertidas a tierras forestales después de la fecha en que se creó el FCBM, pueden considerarse dentro de la actividad “aumento de existencias de carbono”. Sin embargo, una parte de los bosques nuevos vuelve a “deforestarse” en períodos futuros, dejando la duda si esta “deforestación” debe contabilizarse como “deforestación” o mantenerse dentro de la contabilidad de las áreas incluidas en la actividad “aumento de existencias de carbono”. El problema de incluir la deforestación de bosques nuevos en la actividad “aumento de existencias de carbono” es que si la deforestación de estos bosques supera ciertos límites, la actividad “aumento de existencias de carbono” podría convertirse en una fuente de emisiones netas, lo cual parecería extraño e inconsistente con el término “aumento de existencias de carbono”. Esto sería similar al caso de reportar emisiones por “deforestación neta”, que en algunos casos podrían en realidad ser remociones netas.

Bajo las reglas LULUCF que aplican para las Partes del Protocolo de Kyoto, la deforestación de tierras A/R se reporta bajo la actividad de deforestación y las absorciones, cuando estas tierras se regeneran, se siguen reportando bajo deforestación.

- Por otro lado, en el contexto de estimar factores de emisión, también surge la duda si éstos deben estimarse de forma “bruta”, es decir contabilizando solamente el carbono almacenado en los bosques, o en forma “neta”, es decir contabilizando también el carbono del uso de la tierra que fue remplazado por el bosque. Las guías del IPCC resuelven este tema en el marco de la discusión del “nivel” de exactitud (en inglés “Tier level”) usado en el método de estimación: los niveles más altos incluyen los cambios en las existencias de carbono en los usos anteriores y posteriores al cambio de uso, mientras que en el nivel 1 se asume que estos son cero.
- Los cambios de existencias de carbono en bosques que permanecen bosque podrían contabilizarse como “degradación” si, en su conjunto, en el período de análisis, representan una emisión neta, o como “aumento de existencia de carbono” si, en su conjunto, en el período de análisis, representan una remoción neta. El resultado podría variar simplemente dependiendo del número de años del período de análisis, es decir que un mismo polígono de bosque (o todos los bosques de un país) podrían haberse “degradado” o haber “aumentado sus existencias de carbono” simplemente por un cambio en el período de análisis. Esto implica que la definición de “degradación” y “aumento de existencias de carbono” en bosques que permanecieron bosques debería incluir una noción del tiempo considerado en el análisis¹⁷⁹, pero ningún marco metodológico provee una definición de tal noción de tiempo.

Otra opción es contabilizar las áreas que presentaron una pérdida de carbono en el período de análisis como “degradación” y las áreas que presentaron un aumento de existencias de carbono como “aumento de existencias de carbono”, así que dentro de un mismo período se tendrían áreas clasificadas bajo las dos “actividades”, independientemente si el resultado agregado podría clasificarse como “degradación” o “aumento”. Este enfoque implicaría que las áreas de bosque con manejo forestal, contabilizadas bajo la actividad “manejo forestal”, se podrían contabilizar también a veces como “degradación” y a veces como “aumento de existencias de carbono”,

¹⁷⁹ Esta noción de tiempo sería necesaria, además, también para definir propiamente el concepto de “deforestación”. Eso es porque un bosque manejado bajo un esquema monocíclico, como lo es el caso de las plantaciones forestales tropicales y de muchos bosques naturales manejados en las zonas templadas y boreales del mundo, podría encontrarse temporalmente sin árboles (“temporarily unstocked”), sin que eso implique que el área sin árboles deba clasificarse como “no-bosque” y, por lo tanto, como “deforestada”. De manera similar, una tierra de cultivo o de pastizales en descanso, para recuperar su fertilidad, podría verse temporalmente cubierta de árboles (“temporarily stocked”) sin que eso implique que la tierra se haya realmente convertido a “bosque”.

dependiendo del momento en que se mide el carbono en los ciclos de cosecha y descanso que caracterizan las áreas con manejo forestal. Además, si los períodos de análisis tienen duraciones distintas, como en el caso de Costa Rica, los calificativos “degradación” y “aumento de existencias de carbono” no se podrían aplicar de manera consistente, pues se aplicarían a períodos distintos.

Pareciera entonces más práctico reportar los cambios de existencias de carbono de los bosques que permanecen bosque en cada período, sin tener que calificarlos como “degradación”, “aumento de existencia de carbono” o “manejo forestal”. Sin embargo, en el contexto de un nivel de referencia REDD+, los cambios de existencias de carbono en bosques que permanecen bosques deben, de alguna manera, catalogarse bajo una “actividad” para que puedan ser incluidos, al menos que se aplique un enfoque contable de paisaje (“*land-based accounting*”). Así no queda otra opción que calificarlos como “manejo forestal” cuando ocurren en un área bajo manejo forestal, y “degradación” o “aumento de existencias de carbono” cuando representan una emisión o una remoción, respectivamente, fuera de las áreas bajo manejo forestal, independientemente de la duración del período considerado.

En la práctica, la estimación de cambios de existencias de carbono en bosques que permanecen bosque presenta grandes desafíos técnicos y vacíos de información, tanto para estimar los datos de actividad como para estimar los factores de emisión. Eso es porque es muy difícil estimar datos de actividad para las áreas de bosque que cambiaron su contenido de carbono, permaneciendo como bosque, analizando imágenes satelitales, y porque, en el caso de Costa Rica, no existen otras fuentes de datos completas y consistentes para estimar estos datos de actividad en forma confiable y completa¹⁸⁰.

En cuanto a los factores de emisión, en Costa Rica no se dispone de una secuencia temporal o de una crono-secuencia de datos de parcelas de campo que permita estimarlos y tampoco existen otras fuentes de información que permitiría estimarlos en forma confiable.

- Como se mencionó anteriormente, las áreas bajo manejo forestal son áreas que, dependiendo de la duración del período de análisis (que puede fácilmente ser un período más corto del ciclo completo de manejo, o turno¹⁸¹), pueden ser interpretadas como áreas que han perdido o ganado carbono, así que la actividad “manejo forestal” podría traslaparse con las actividades “degradación” y “aumento de existencias de carbono”. Sin embargo, si el manejo es sostenible, también en términos de carbono, las áreas bajo manejo forestal deberían mantener un contenido de carbono promedio estable en el largo plazo, aun comparando los valores promedios entre turnos. En este caso, en el largo plazo, las áreas bajo manejo forestal sostenible no generarían flujos de carbono (excepto aquellos relacionados a los productos de madera cosechada), así que tendría sentido separar las áreas bajo manejo forestal sostenible a nivel de datos de actividad y asignarle un factor de emisión específico, que representa el promedio de largo plazo de todo el ciclo de manejo.

Al contabilizar los productos de madera, y si el manejo forestal es realmente sostenible (es decir que el contenido de carbono promedio se mantiene estable en el largo plazo), las áreas con manejo forestal podrían incluso generar un sumidero neto por la acumulación de carbono en los productos de madera cosechada de vida útil larga (madera de aserrío).

¹⁸⁰ Para evaluar la significancia de las emisiones por degradación, los datos para estimar estas emisiones deben ser completos para todas las fuentes de degradación.

¹⁸¹ El “turno” es el período de tiempo de un ciclo completo de manejo forestal, desde el momento de la cosecha hasta el siguiente. En bosques primarios un turno sostenible puede fácilmente implicar períodos de 30-40 años.

Sin embargo, cuando un área de bosque primario es sometida a manejo forestal por primera vez se hace necesaria la abertura de caminos forestales y la construcción de patios de acopio de madera y de otra infraestructura necesaria para las actividades de aprovechamiento. Eso hace que el contenido de carbono promedio de un bosque manejado se mantendrá inferior al contenido de carbono promedio de un bosque intacto aun cuando el manejo forestal es sostenible. Dependiendo de la vida útil de los productos de madera extraídos y de su destino final - si terminan en rellenos sanitarios generarán emisiones de metano, un gas que tiene un potencial de calentamiento global (GWP por sus siglas en inglés) 21 veces superior al dióxido de carbono – el contenido de carbono de los bosques manejado podría incluso quedar por siempre, o por un período muy largo de tiempo, por debajo del contenido de carbono promedio de un bosque primario intacto (ver Pearson *et al.*, 2014)¹⁸².

- La “conservación de existencias de carbono forestal” es una actividad que, como sugiere su nombre, no genera ningún flujo de carbono, ya que el mismo estaría contabilizado en cualquiera de las otras actividades REDD+, al menos que el término se interprete como si fueran las otras actividades de REDD+ implementadas en áreas legalmente protegidas o “conservadas”, como para diferenciarlas de las áreas con “manejo forestal”.

¹⁸² Pearson, T. R. H., S. Brown, F. M. Casarim, 2014. Carbon emissions from tropical forest degradation caused by logging. *Environmental Research Letters*, 9 (2014), 034017, 11 p.

Anexo 4: Datos del Inventario Forestal Nacional

Para finales del 2015, el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) tiene previsto publicar los resultados del Inventario Forestal Nacional (IFN) de Costa Rica. El trabajo de campo del IFN se realizó en 2013 y, como muestra la Figura 1, tenía prevista la colección de datos de 531 parcelas distribuidas en 6 estratos diferentes para la estimación de los reservorios de carbono de biomasa aérea, biomasa de raíces, biomasa de madera muerta, biomasa de hojarasca y carbono orgánico del suelo¹⁸³.

Figura 1. Datos básicos del diseño de muestreo del IFN de Costa Rica.

Estrato	No. puntos	km ²	%	n*	d
Bosque maduro	2652	12725,81	24,88	24	23
Bosque secundario	2120	10172,97	19,91	46	15
Pasto con árboles	1487	7135,48	13,96	246	5
Bosque de palmas	123	590,22	1,16	5*	11
Plantación forestal	81	388,68	0,76	126	2
Manglar	71	340,7	0,67	84	2

* valor estimado *a priori* para el cálculo de la distancia

n: tamaño de la muestra

d: equidistancia (km) entre puntos de muestreo

Fuente: Fallas (2013)

A continuación se presentan los métodos de procesamiento de los datos del IFN con el fin de estimar valores para cada clase del uso del suelo presentada en los datos de actividad.

En primer lugar se identificaron las parcelas cuya información se iba a utilizar en el análisis. Para ello se comparó la ubicación de las parcelas del IFN (SHP “*ubicación_parcelas_INF_final*”) con las localizaciones por parcela de la hoja: “Modified (27022015)” del archivo CDI_CostaRicaREL_Consolidado_Parcels_27Feb2015_Rev.01”. Para comparar la información visualmente se importaron las coordenadas de localización a un SIG, donde se observó que el segundo archivo contenía menos parcelas (287 parcelas frente a 313) y que en la gran mayoría de los casos coincidían con las del otro archivo. Por tanto se consideró aceptable la utilización de la ubicación de las parcelas del segundo archivo para la estimación de los estadísticos.

Para obtener la información de usos del suelo se utilizó la información disponible en SIG (archivo ráster *IMC13*) para extraer los valores correspondientes de cada parcela, obteniendo la información de los siguientes campos: “*Estratos_H*”, “*Bosques_H*”, “*Manejo_H_1*” y “*Deg_Edad_H*”.

Debido a las discrepancias existentes entre esta información y la proporcionada por el IFN se realizó una reclasificación del campo “*Estratos_H*” bajo los siguientes criterios:

¹⁸³ Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) – Programa REDD-CCAD-GIZ, 2014. Manual de campo para el inventario forestal nacional de Costa Rica: Diseño de parcela y medición de variables de sitio y dasométricas. Preparado por Jorge Fallas – consultor para el Programa Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal en Centroamérica y la República Dominicana (REDD/CCAD/GIZ). San José, Costa Rica. 74 p.

IFN	Mapa de usos y contenido en carbono	Reclasificación del campo "Estratos_H"
Manglares	No bosque y bajo contenido en carbono	No bosque
Manglares	(resto de casos)	Manglares
Yolillal	No bosque y bajo contenido en carbono	No bosque
Yolillal	(resto de casos)	Yolillal
Bosque maduro	(en todos los casos)	Bosque primario
Bosque secundario	Bosque primario	Bosque primario
Bosque secundario	(resto de casos)	Bosque nuevo sin manejo
Plantación forestal	(en todos los casos)	Bosque nuevo con manejo

Una vez preparada la información de las parcelas se obtuvieron los estadísticos (*media, desviación estándar y tamaño de la muestra*) de la densidad de carbono en cada reservorio (BARA, MM, H y COS) para los distintos tipos de bosque (*Bosques muy húmedos y pluviales, Bosques húmedos, Bosques secos, Bosques de palma, Manglares y Pastizales*), con los que se estimó el intervalo de confianza de la media poblacional para una probabilidad del 95%.

$$\bar{X} - t_{n-1} \frac{S}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{X} + t_{n-1} \frac{S}{\sqrt{n}}$$