

Niveles de Referencia de Emisiones GEI Forestales de Guatemala

La construcción de la Estrategia Nacional REDD+ es coordinada por el Grupo de Coordinación Interinstitucional (GCI), el cual es liderado por el MARN y está conformado por: i) Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), ii) Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), iii) Instituto Nacional de Bosques (INAB) y iv) Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP).

Este documento ha sido elaborado bajo el Marco del proceso de preparación de la Estrategia Nacional REDD+, específicamente para el Componente:

Componente 3: Niveles de Referencia de Emisiones Forestales / Niveles de Referencia Forestal (NREF/NRF)

Con el apoyo técnico y financiero de:



CLIMA, NATURALEZA
y COMUNIDADES
en Guatemala



Al servicio
de las personas
y las naciones

Citar este documento como:

GIMBUT, 2018. Niveles de Referencia de Emisiones GEI Forestales de Guatemala. Documento en revisión. Actualizado al 24 de enero de 2018. Estrategia Nacional de Reducción de la Deforestación y Degradación de Bosques en Guatemala (ENDDBG) bajo el mecanismo REDD+. Guatemala

Elaborado por:

Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Usos de la Tierra (GIMBUT)

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN)
Instituto Nacional de Bosques (INAB)
Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP)
Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA)
Universidad Rafael Landívar (URL)
Universidad del Valle de Guatemala (UVG)

Autoridades de Gobierno

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales

Ministro: Ing. Sydney Alexander Samuels Milson

Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación

Ministro: Lic. Mario Méndez Montenegro

Consejo Nacional de Áreas Protegidas

Secretario Ejecutivo: Ing. Elder Figueroa

Instituto Nacional de Bosques

Gerente: Ing. Rony Granados

Coordinación Técnica

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales

Ing. Kenset Rosales

Lic. Juan Francisco López

Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación

Ing. Rudy Vásquez

Ing. Rovoham Monzón

Instituto Nacional de Bosques

Ing. Henry Hernández

Arq. Elida Paredes

Consejo Nacional de Áreas Protegidas

Luis Lima

Marlín George

Víctor Hugo Ramos

Universidad del Valle de Guatemala

Edwin Castellanos

Diego Incer

Universidad Rafael Landívar

Gerónimo Pérez

Equipo de especialistas en los niveles de referencia del país:

Unidad Ejecutora REDD+/MARN/FCPC/BID	Ing. José Manuel Moro
Especialistas SIG de la unidad ejecutora REDD+/MARN/FCPF/BID	Ing. Jorge Mario Gómez Ing. Danger Gómez Ing. Edson Hernández Ing. Ricardo Rivas Ing. Rolando Samudio Ing. Mauro Tezén
Universidad del Valle de Guatemala	Dr. Diego Pons

Equipo de Expertos del programa USAID/ CNCG que proporcionaron asesoría técnica para el desarrollo de este documento

Winrock International	Felipe Casarim, Gabriel Sidman Anna McMurray
Universidad del Valle de Guatemala	Dr. Edwin Castellanos Ing. Diego Incer Dr. Diego Pons Dra. Danai Fernández Oscar González

Documento elaborado por:

Jorge Mario Gómez	Coordinador Técnico SIG REDD+
Dánger Gómez	Técnico SIG, proyecto MARN-FCPF-BID
Edson Hernández	Técnico SIG, proyecto MARN-FCPF-BID
Mauro Tezén	Técnico SIG, proyecto MARN-FCPF-BID
Ricardo Rivas	Técnico SIG, proyecto MARN-FCPF-BID
Rolando Samudio	Técnico SIG, proyecto MARN-FCPF-BID
Diego Pons	USAID/CNCG/Universidad del Valle de Guatemala
Anna McMurray	USAID/CNCG/Winrock International
Felipe Casarim	USAID/CNCG/Winrock International
Gabriel Sidman	USAID/CNCG/Winrock International

Personas que han apoyado en la elaboración del presente documento.

Ing. Adalberto López
Licda. Michellel Catalan

Se sugiere citar este documento como: GIMBUT. (2017). *Niveles de Referencia de Emisiones GEI Forestales de Guatemala*. Guatemala. 74 páginas.

Siglas y Acrónimos

AFOLU	Agricultura, Bosques y Otros Usos del Suelo
AGEXPORT	Asociación Guatemalteca de Exportadores
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
C	Carbono
CEAB-UVG	Centro de Estudios Ambientales y Biológicos , Universidad del Valle de Guatemala
CH ₄	Metano
CI	Counterpart International
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CNCG	Clima Naturaleza y comunidades en Guatemala
CO ₂	Dióxido de carbono
CONAP	Consejo Nacional de Áreas Protegidas
CP	Conferencia de las Partes
ENREDD	Estrategia Nacional REDD
FCPF	Forest Carbon Partnership Facility
FDN	Fundación Defensores de la Naturaleza
GEI	Gases Efecto Invernadero
GIMBUT	Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Usos de la Tierra
IMA	Incremento Medio Anual
INAB	Instituto Nacional de Bosques
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
N ₂ O	Óxido Nitroso
NREF	Nivel de Referencia de Emisiones Forestales
NRF	Nivel de Referencia
PINFOR	Programa de Incentivos Forestales
PINPEP	programa de Incentivos forestales para Pequeños Poseedores
RA	Rainforest Alliance
REDD+	Reducción de Emisiones por Deforestación, Degradación
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SIGMA	Sistema de Información Geoespacial para Manejo de Incendios
TNC	The Nature Conservancy
URL	Universidad Rafael Landivar
USAC	Universidad de San Carlos de Guatemala
UVG	Universidad del Valle de Guatemala
	World Wildlife Fund
WWF	

Índice

Índice.....	15
Índice de Figuras.....	18
Índice de Tablas.....	19
1. Introducción.....	20
2. Circunstancias Nacionales.....	21
2.1 Institucionalidad.....	21
2.2 Características de la dinámica forestal en Guatemala.....	22
3. Definiciones.....	24
3.1 Árbol.....	24
3.2 Bosque.....	24
3.3 Deforestación.....	24
3.4 Degradación.....	24
3.5 Aumentos de Existencia de Carbono Forestal.....	24
3.6 Periodo de Referencia.....	25
3.7 Enfoque Contable.....	25
3.8 Datos de Actividad.....	25
3.9 Factor de Emisión.....	25
3.10 Incertidumbre.....	25
4. Consideraciones en la construcción del NREF/NRF.....	26
4.1 Escala.....	26
4.2 Periodo o años de Referencia.....	27
4.3 Actividad de Deforestación.....	27
4.3.1 Enfoque General.....	27
4.3.2 Datos de actividad.....	31
4.3.3 Factores de emisión.....	33
4.4 Actividad de Degradación.....	35
4.4.1 Enfoque general.....	36
4.4.2 Datos de actividad.....	39
4.4.3 Factores de emisión.....	44
4.5 Actividad de Aumentos de Existencias.....	47
4.5.1 Aumentos de Existencias.....	47
4.5.2 Datos de actividad.....	51

4.5.3	Factores de captura.....	52
5.	Niveles de Referencia Para Guatemala NREF/NRF	55
5.1	Deforestación.....	55
5.2	Degradación	57
5.3	Aumentos de existencias.....	59
5.4	NREF/NRF regionales.....	60
5.5	NREF/NRF nacional.....	64
6.	Análisis de Incertidumbre	66
6.1	Enfoque general	66
6.2	Deforestación	66
6.2.1	Datos de actividad.....	67
6.2.2	Factores de emisión	67
6.2.3	Emisiones de CO2 por deforestación	68
6.3	Degradación	69
6.3.1	Datos de actividad.....	69
6.3.2	Factores de emisión y combustión.....	69
6.3.3	Emisiones de incendios	70
6.3.4	Incertidumbre total de deforestación.....	71
6.4	Aumentos de contenidos de carbono forestal.....	71
6.4.1	Datos de actividad.....	71
6.4.2	Factores de Captura	72
6.4.3	Capturas de aumentos	73
6.4.4	Incertidumbre total.....	73
7.	Bibliografía	74
8.	Anexos.....	77
8.1.1	Anexo 1.....	77
	Convenio de cooperación técnica para la conformación del grupo interinstitucional de	77
	Monitoreo de bosques.....	77
	https://www.dropbox.com/home?preview=Anexo+1.+Convenio_GIMBUT_firmado_16oct15.pdf .	77
8.1.2	Anexo 2.....	77
	Memoria de Taller de Definiciones operativas en el contexto de REDD+	77
8.1.3	Anexo 3.....	77

Protocolo Metodológico para la Generación del Mapa de Cobertura Forestal y Uso de la Tierra. 77

Disponible en:

<https://www.dropbox.com/home/documentos%20NRF/Protocolos/deforestacion?preview=01.+Protocolo+Merodol%C3%B3gico+para+la+Generaci%C3%B3n+del+Mapa+de+Cobertura+Forestal+y+Uso+de+la+Tierra.docx>..... 77

8.1.4 Anexo 4..... 77

Protocolo metodológico para la estimación de los estratos de carbono. 77

Disponible en:

https://www.dropbox.com/home/documentos%20NRF/Protocolos/Estratos%20de%20carbono?preview=Inf_MetodologicoMapaEstratosCarbono_DG.docx..... 77

8.1.5 Anexo 5..... 77

Protocolo Metodológico_LB Degradación por incendios RRivas 77

Disponible en:

https://www.dropbox.com/home/documentos%20NRF/Protocolos/degradacion?preview=Protocolo+Metodologico_LB+Degradacion+por+incendios+RRivas.docx 77

8.1.6 Anexo 6..... 78

Protocolo Metodologico para la Linea Base de Aumentos de Stock de Carbono..... 78

Disponible en:

<https://www.dropbox.com/home/documentos%20NRF/Protocolos/aumentos?preview=Protocolo+Metodologico+para+la+Linea+Base+de+Aumentos+de+Stock+de+Carbono.docx> 78

8.1.7 Anexo 7..... 78

Calculo de los datos de actividad, Niveles de referencia SUBnacional y nacional, y cálculo de la incertidumbres. 78

Disponible en :

<https://www.dropbox.com/home/documentos%20NRF/calculo%20incertidumbres> 78

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa de ubicación geográfica de las subregiones redd+.....	26
Figura 2. Mapa de dinámica de bosque 2001-2006 y 2006-2010.	32
Figura 3. Mapa de estratificación carbono en bosques de guatemala, basada en horizontes de índices ombrotérmicos.	33
Figura 4. Mapa de ocurrencia y recurrencia de incendios forestales en guatemala 2001-2010.....	41
Figura 5. Mapa de áreas de fotografías y de imágenes de alta resolución, como insumos para la validación.43	
Figura 6. Árbol de decisiones para superficies degradadas y deforestadas por incendios en el nref.	46
Figura 7. Suma de áreas sembradas por los programas pinfor y pinpep por región redd+ durante el periodo de referencia.....	52
Figura 8. Emisiones por deforestación y regiones redd+ en (tco _{2e}).....	56
Figura 9. Emisiones de (t co _{2e}) por degradación por incendios por región.....	57
Figura 10. Emisiones de incendios forestales por año durante el periodo de referencia. Solamente existen datos para 2001, 2003, 2005, 2007, 2009 y 2010.....	58
Figura 11. Aumentos de existencias por región en (tco _{2e}).....	59
Figura 12. Emisiones por año en la región costa sur durante el periodo de referencia y el nivel de referencia promedio resultante.....	61
Figura 13. Emisiones por año en la región occidente durante el periodo de referencia y el nivel de referencia promedio resultante.....	62
Figura 14. Emisiones por año en la región oriente durante el periodo de referencia y el nivel de referencia promedio resultante.....	62
Figura 15. Emisiones por año en la región sarstún-motagua durante el periodo de referencia y el nivel de referencia promedio resultante.	63
Figura 16. Emisiones por año en la región tierras bajas del norte durante el periodo de referencia y el nivel de referencia promedio resultante.....	63
Figura 17. Emisiones por año en el país entero durante el periodo de referencia y el nivel de referencia promedio resultante.....	64

Índice de Tablas

Tabla 1. Existencia de biomasa antes de la conversión (<i>BANTESi</i>) (gómez, 2017)	34
Tabla 2. Existencias de biomasa después de la conversión (<i>GTOTALi</i>) (castillo, 2016)	35
Tabla 3. Factor de combustión para incendios en tierras forestales que causan deforestación y degradación (<i>Cf</i>)	44
Tabla 4. Factores de emisión de cada gei (<i>Gef</i>)	44
Tabla 5. Factores de conversión de gases de efecto invernadero a CO_2e	45
Tabla 6. Medianas de los factores de capturas	53
Tabla 7. Factor de expansión de biomasa <i>befi</i>	53
Tabla 8. Densidad básica de la madera <i>d</i>	54
Tabla 9. Relación entre la biomasa subterránea y la aérea <i>r</i>	54
Tabla 10. <i>NREFDef</i> por región (conversión de tierras + incendios forestales)	55
Tabla 11. <i>NREFDef</i> por conversión de tierras forestales (2001-2010)*	56
Tabla 12. Emisiones por incendios forestales por región durante el período de referencia	57
Tabla 13. Emisiones de incendios por gas de efecto invernadero para el período de referencia	58
Tabla 14. Capturas de carbono por aumentos por región para el período de referencia	59
Tabla 15. Área sembrada y aumentos por programa de incentivo forestal	60
Tabla 16. Flujo anual de todas las actividades en cada región	60
Tabla 17. Flujo de gei por actividad redd+ en el país entero	64
Tabla 18. Emisiones y aumentos anuales por región durante el periodo de referencia	65
Tabla 19. Errores estándares e incertidumbres de las áreas estimadas de deforestación en cada periodo de cambio en cada región	67
Tabla 20. Existencias de carbono y su incertidumbre	68
Tabla 21. Existencias de carbono en usos de suelo no forestales y sus incertidumbres	68
Tabla 22. Incertidumbre de las emisiones de CO_2e por deforestación	68
Tabla 23. Errores estándares e incertidumbre del área estimada de incendios en cada periodo de cambio en cada región	69
Tabla 24. Existencias de carbono y su incertidumbre	69
Tabla 25. Incertidumbre factores de combustión (<i>Cf</i>) y de emisión (<i>Gef</i>)	70
Tabla 26. Incertidumbre de las emisiones de no- CO_2 de incendios causando por deforestación	70
Tabla 27. Incertidumbre de las emisiones de incendios causando por degradación	70
Tabla 28. Incertidumbre de las emisiones totales por deforestación	71
Tabla 29. Desviaciones estándares estandarizadas para las diferentes modalidades y tipo de bosque	72
Tabla 30. Medianas de los factores de capturas y porcentaje de incertidumbre	72
Tabla 31. Aumentos en diferentes años desde que se establece el sistema forestal y sus incertidumbres según la ecuación de winrock internacional (2014)	73
Tabla 32. Incertidumbre de las capturas de aumentos en plantaciones por región	73
Tabla 33. Incertidumbre de emisiones y capturas por actividad redd+ en el país entero	73

1. Introducción

El presente informe hace una descripción del nivel referencia de emisiones y absorciones forestales ante el Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques a fin de que el mismo siga el proceso de evaluación técnica en el contexto de pagos basados en resultados de la iniciativa de Reducción de Emisiones por Deforestación, Degradación, Conservación, Manejo Sustentable y Aumento de las Existencias Carbono en los Bosques.

El NREF/NRF presentado en este informe ha sido elaborado por el equipo de consultores SIG del proyecto REDD+ MARN BID FCPF a través del trabajo en acompañamiento por las Unidades y/o Departamentos SIG (Sistemas de Información Geográfica) del Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Usos de la Tierra (GIMBUT). Adicionalmente el equipo técnico contó con la asesoría del consorcio de instituciones ambientales, académicas y empresariales apoyada por USAID a través del programa Clima Naturaleza y comunidades en Guatemala (CNCG) en dicho consorcio participa Rainforest Alliance (RA), Fundación Defensores de la Naturaleza (FDN), World Wildlife Fund (WWF), The Nature Conservancy (TNC), Asociación Sotz'íl, Asociación Guatemalteca de Exportadores (AGEXPORT), Counterpart International (CI) y el CEAB-UVG, contando además con el apoyo de la institución Winrock International (WI).

La ENREDD+ propuesta para Guatemala es de alcance nacional en el cual se contabiliza y se reportan 3 de las 5 actividades REDD+, siendo esta la deforestación, degradación, y stock de carbono. Adicionalmente el país se ha dividido en 5 Regiones Sub nacionales las cuales se han delimitado según características ambientales, sociales, topográficas, entre otras; las Regiones Subnacionales REDD+ se denominaron: Costa Sur, Occidente, Centro-Oriente, Sartún-Motagua y Tierras Bajas del Norte. Cada Región Subnacional REDD+ cuenta con su propio NREF/NRF que incluye las tres actividades reportadas: a) emisiones por deforestación, b) emisiones por degradación (Incendios) y c) absorciones o aumentos de existencias de carbono en los bosques.

Los resultados obtenidos indican que a nivel nacional la actividad de deforestación para el periodo de referencia (años 2001-2010) ha contribuido en 44,983,335 (tCO₂e año⁻¹) por año lo que corresponde al 91.06 % de las emisiones en el flujo de Gases de Efecto Invernadero GEI por actividad REDD+, la degradación de los bosque producida por incendios representa 4,455,106.6 (tCO₂e año⁻¹) por año lo que representa un 9.02 % de las emisiones en el flujo de GEI, los resultados en captura de carbono representa -39,893.5 (tCO₂e año⁻¹) de captura por año correspondiente a un -0.08% en el flujo de GEI. En suma, el NREF/NRF de Guatemala resulta en un flujo neto de emisiones equivalente a 49.3 millones de toneladas de CO₂e por año. A nivel de regiones, Tierras Bajas del Norte tiene mayor aporte en el nivel de referencia nacional con el 54.4% de emisiones (deforestación más degradación) y el 41% de aumentos. La región Occidente también tiene bastante impacto con el 17% de emisiones y el 27% de aumentos.

Capítulo I

2. Circunstancias Nacionales

2.1 Institucionalidad

Los niveles de referencia de emisiones y absorciones forestales (NREF/NRF) para Guatemala, han sido elaborados tomando en consideración el marco legal y las competencias institucionales en la administración de los bosques y el mapeo de los usos del suelo.

El artículo 20 de la Ley Marco del Cambio Climático mandata a que cuatro instituciones pongan en práctica las políticas, estrategias, programas, planes y proyectos para la reducción de emisiones del sector agricultura y para el sector Silvicultura y cambio de usos de la tierra, AFOUL. Estas cuatro instituciones son: el Instituto Nacional de Bosques (INAB), el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA).

Estas cuatro instituciones han articulado y unido esfuerzos desde el 2001 y junto con entidades académicas han generado una sinergia de trabajo que ha permitido obtener las series de mapa de Dinámica y cobertura forestal oficiales para el país.

Estas cuatro instituciones firmaron un “acuerdo Interinstitucional de cooperación Técnica para la Conservación y Gestión Sostenible de los Recursos Naturales”, donde uno de sus objetivos es coordinar la implementación de las políticas relativas a la gestión y administración de los recursos naturales, en particular para el uso, manejo y conservación de los recursos naturales renovables, el cual fue firmado por el Grupo Interinstitucional de Coordinación (GCI) (Anexo 1).

El GCI cuenta con una Secretaria Técnica a cargo de la coordinación operativa donde una de sus responsabilidades esta la gestión de los procesos técnicos necesarios para el desarrollo de acciones claves para REDD+ en el país, esto incluye el estableció y la necesidad de generar los niveles de referencia de emisiones y absorciones forestales (NREF/NRF) para Guatemala como parte del procesos en la preparación de la Estrategia Nacional para la Reducción de Emisiones por Deforestación, Degradación, Conservación, Manejo Sustentable y Aumento de las Existencias Carbono en los Bosques (REDD+).

Tomando en cuenta la experiencia de estas cuatro instituciones y del sector académico en el mapeo forestal se ha conformado el Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra GIMBUT, quien tiene por objetivo establecer un marco de coordinación interinstitucional y técnico para la generación de información a nivel nacional sobre la cobertura forestal del país y temas afines mediante la articulación de la instituciones.

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales MARN, es la entidad del sector público especializada en materia ambiental y de bienes y servicios naturales del Sector Público, y es el punto focal nacional REDD+ y es la institución encargada de coordinar con el resto de instituciones del GCI, la cual alberga a la Unidad Ejecutora REDD+.

EL Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación MAGA, a través de la Dirección de Información Geográfica, Estratégica y Gestión de Riesgos en base a sus competencia, ha generado procesado y difundido información Geográfica, generando los mapas de cobertura vegetal y usos de la tierra que han servido de base para la estimación de la emisiones de Gases de Efecto invernadero reportado en cada una de las comunicaciones nacionales presentan ante la CMNUCC.

EL Consejo Nacional de Áreas Protegidas CONAP por su parte es el ente Rector del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas y tiene bajo su competencia la administración los bosques ubicados dentro de área protegida.

El Instituto Nacional de Bosques INAB, es la institución rectora en materia forestal, tiene como objetivo promover y fomentar el desarrollo forestal del país mediante el manejo sostenible de los bosques, reducir la deforestación de tierras de vocación forestal, promover la reforestación de áreas forestales actualmente sin bosque, teniendo a su responsabilidad la administración de los programas de Incentivos Forestales PINFOR y el Programa de Incentivos para poseedores de pequeñas extensiones.

La academia por su parte apoyado las iniciativa de mapeo siendo un sector que apoya y brinda soporte técnico en la elaboración de los mapas de dinámica forestal y usos de la tierra y en la construcción de los NREF/NRF.

2.2 Características de la dinámica forestal en Guatemala.

Los datos en cobertura forestal del país en distintos periodos se hacen disponibles desde los años de 1991/93 en donde se reporta una cobertura forestal de 5,121,629 ha de bosque. Para 1996 la cobertura forestal se redujo a 4,699,691 ha. Estos dos datos fueron realizados con metodología de mapeo diferentes a la de años posteriores. Para el 2001 la cobertura forestal paso a ser de 4,152,051 ha. A partir de dicho estudio a la fecha se ha estandarizado la metodología de mapeo, con el fin de tener resultados que sean comparativos dentro de los distintos años de estudio.

Los estudios de dinámica forestal realizados para el territorio nacional reportan que para el período 2006 se contaba con 3,868,708 ha de bosque. Los análisis para el año 2010 reportan una cobertura forestal de 3,722,595 ha equivalente al 35.5 % del territorio nacional, estimando que para el período 2006-2010 hubo una pérdida de 500,219 ha de bosque. En cuanto a las ganancias en cobertura en ese mismo período los análisis indican que se recuperaron 354,107 ha; teniendo una pérdida neta de 146,112 ha de bosque. Las hectáreas de pérdida neta para el territorio nacional, representan una disminución del 3.78% de los bosque que existían para el año 2006. La tasa de deforestación estimada para el territorio de Guatemala en el periodo 2006-2010 fue de 38,597 ha/año, equivalente al 1.00% anual, en función del bosque existente reportado para el año 2006.

Al comparar la dinámica forestal del periodo 2006-2010, con la de los estudios los períodos 1991-2001 y 2001-2006, se nota que durante el primer período (1991-2001) ha ocurrido la mayor pérdida de bosque, la cual fue de 73,148 ha/año. El segundo período (2001-2006) se reportó una

pérdida neta de 48,084 ha/año y en el periodo para los años (2006- 2010) se reportan 38,597 ha/año de pérdida neta.

La discusión sobre las causas de la deforestación gira en torno al avance de la frontera agrícola y ganadera, urbanizaciones, incendios forestales, invasiones en Áreas Protegidas, plagas y desastres naturales. Por su parte las ganancias en cobertura se infiere que se debe a plantaciones de hule y forestales, en donde los Programas de Incentivos Forestales han incidido en el incremento de área forestal en donde desde 1998 al 2011 se reportó 105,059 ha de plantaciones establecidas.

3. Definiciones

Las siguientes definiciones fueron construidas en dos talleres en los que participaron expertos nacionales e internacionales en la materia. Las mismas fueron definidas con el fin brindar operatividad técnica en la obtención de los datos de actividad y el cálculo de las emisiones para los NREF/NRF¹ (ver Anexo 2).

3.1 Árbol

Planta leñosa con fuste y copa definida con crecimiento secundario que en su estado de madurez alcanza una altura mínima de 5 metros y un diámetro mínimo 10 cm.

Consideraciones:

- Se excluyen del concepto de árbol especies palmas y bambú, que son especies que no tienen crecimiento secundario y no tienen parte leñosa;
- Especies que son ramificadas desde su base no son consideradas como árboles, lo cual debe de tener un fuste definido, categoría como arbusto;
- Considerar que los umbrales pueden ser revisados. Considerar por aspectos ecológicos especialmente de humedad puede ser menores;
- Diámetro medido a 1.3 metros sobre el nivel del suelo.

3.2 Bosque

Superficie continua con cubierta dominante de árboles con una cobertura de copa mínima del 30%, formando una masa de un mínimo de 0.5 hectáreas y ancho mínimo de 60 metros.

3.3 Deforestación

Es la superficie clasificada como Bosque al inicio del periodo y que fue convertida a otra categoría no considerada como bosque al final del periodo, por causas antropogénicas.

3.4 Degradación

Es la disminución de las existencias de carbono en los bosques provocada por actividades antropogénicas no sostenibles (incendios, extracción de leña y madera).

3.5 Aumentos de Existencia de Carbono Forestal

Incremento de las reservas de carbono en áreas sujetas a un cambio de cobertura de no bosque a bosque, o a plantaciones forestales, o a SAF de interés²; e incremento de las reservas de carbono en bosques que permanecen como bosques.0

¹ Definiciones obtenidas en el Segundo Taller sobre definiciones operativas realizado el 12 y 13 de junio del 2017

² Los Sistemas Agroforestales SAF están el Café manejado bajo sombra, con cobertura de bosque de un 30%

3.6 Periodo de Referencia

El periodo de referencia se refiere al periodo histórico durante el cual se miden las emisiones y remociones para el establecimiento de los NREF/NRF. Es decir, los NREF/NRF se basan en las estimaciones de emisiones y remociones que ocurrieron durante este periodo histórico.

3.7 Enfoque Contable

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): a) Enfoque basado en actividades (“activity based accounting”); y b) Enfoque de paisaje (“land-based accounting”). En el primero, los datos de actividad y los flujos de GEI se estiman por cada “actividad” de manera separada y el segundo contabiliza los flujos de GEI 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.

3.8 Datos de Actividad

Los datos de actividad describen la magnitud de la actividad humana que resulta en emisiones o absorciones de gases de efecto invernadero, que tiene lugar durante un periodo dado de tiempo y en una zona determinada.

3.9 Factor de Emisión

Los factores de emisión son coeficientes que cuantifican las emisiones o absorciones de un gas por los datos de la unidad de actividad. Los factores de emisión están basados en muestras de mediciones, promediados en varios niveles de detalle dependiendo de la metodología de Nivel (Tier) utilizada, con el objeto de desarrollar una tasa representativa de emisión para un nivel dado de actividad, bajo un conjunto de condiciones operativas dadas.

3.10 Incertidumbre

La incertidumbre es un parámetro asociado al resultado de la medición que caracteriza la dispersión de los valores que podrían razonablemente atribuirse a la cantidad medida. Las incertidumbres en las estimaciones de GEI consideran las incertidumbres en los factores de emisión, reserva de carbono y datos de actividad. Estas pueden estar relacionadas, entre otras cosas, con la variabilidad, fracciones de subdivisión, falta de cobertura espacial o temporal, y agregación espacial.

Las fuentes de incertidumbre en general, pueden ser debidas a:

- Definición incompleta del mensurando;
- muestra no significativa;
- Medida imperfecta de las condiciones ambientales que afectan al proceso;
- sesgo personal en la medida de los instrumentos analógicos;
- Resolución limitada en la instrumentación o umbrales de discriminación;
- valores inexactos de los estándares de medida o de los materiales de referencia;
- Aproximaciones o suposiciones erróneas incorporadas en el proceso de medida;
- Variaciones en las observaciones

Capítulo 2

4. Consideraciones en la construcción del NREF/NRF

4.1 Escala

La escala se ha establecido de conformidad con la decisión 1/CP16 párrafo 71 de la CMNUCC en el que se insta a los países a establecer NREF/NRF nacionales o subnacionales según las circunstancias y capacidades nacionales. En virtud de lo anterior la propuesta ENREDD+ para Guatemala para la estimación de los NREF/NRF una escala a nivel nacional (108,889 km²), en la cual se contabiliza y se reportan 3 de las 5 actividades REDD+. Adicionalmente el país se ha dividido en 5 regiones subnacionales que responden a características topográficas, ambientales, sociales, entre otras; que conforman las Regiones Subnacionales REDD+: Costa Sur, Occidente, Centro-Oriente, Sartún-Motagua y Tierras Bajas del Norte (Figura 1). Cada Región Subnacional REDD+ cuenta con su propio NREF/NRF que incluye las tres actividades: a) Reducción de las emisiones debidas a la deforestación, b) Reducción de las emisiones debidas a la degradación forestal (Incendios) y c) absorciones o Incremento de las reservas forestales de carbono.

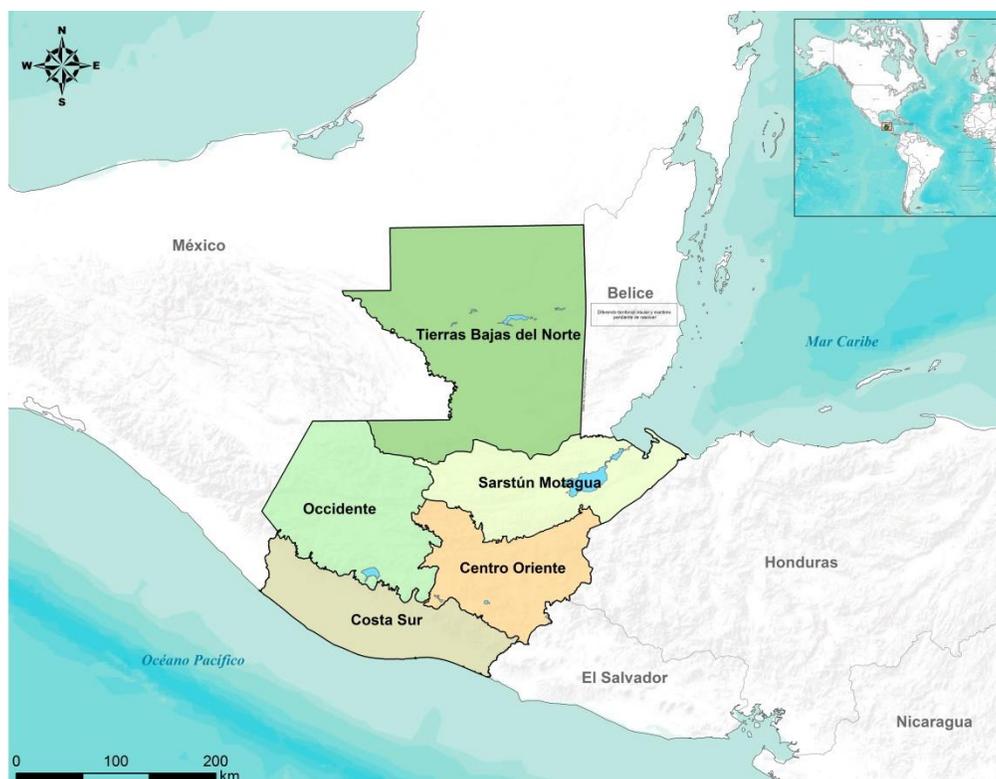


Figura 1. Mapa de ubicación geográfica de las subregiones REDD+.

4.2 Periodo o años de Referencia

La estimación de emisiones y remociones en el presente NREF/NRF se definió para el periodo comprendido entre los años 2001-2010. La selección de esta serie temporal corresponde al periodo de los mapas nacionales de Dinámica forestal (2001-2006 y 2006-2010) y Mapas de Cobertura Forestal y Usos de la tierra (2001, 2006 y 2010) que son la base para la obtención de los datos de actividad de los cambios de cobertura, incendios forestales e incrementos de sumideros de carbono. Adicionalmente se calculó la temporalidad ponderada a partir de las fechas de las imágenes para cada proyecto de mapeo es decir la temporalidad de las imágenes de satélite obtenidas para el periodo 2001-2006.

4.3 Actividad de Deforestación

4.3.1 Enfoque General

El enfoque utilizado para el cálculo de las emisiones históricas de deforestación es el enfoque por actividades el cual consiste en obtener los datos de actividad mediante el análisis de imágenes de satélite de resolución media (Landsat) y la estimación de los factores de emisión se realiza calculando la diferencia entre la media de reservas de carbono en la biomasa forestal y las reservas de carbono en la biomasa del nuevo uso de la tierra ecuación 1. El reporte de emisiones se expresa en toneladas de dióxido de carbono equivalente al año según la decisión 12/CP17 párrafo 7.

$$NREF_{Def} = DA_{Def} * FE \quad \text{Ec. 1.}$$

Donde:

- $NREF_{Def}$ = Estimación de emisiones por deforestación
- DA_{Def} = Datos de actividad por conversión de tierras forestales a otros usos de la tierra
- FE = Factor de emisión



El promedio anual de emisiones de dióxido de carbono equivalente debidas a la conversión de tierras forestales a otros usos de la tierra durante el periodo de referencia para la actividad **Reducción de las emisiones debidas a la deforestación** fue calculado utilizando la ecuación 1.1. Dichas actividades incluyen las siguientes conversiones posibles: a) Tierras Forestales a Tierras Agrícolas; b) Tierras Forestales a Café; c) Tierras Forestales a Hule d) Tierras Forestales a Palma Africana, e) Tierras Forestales a Asentamientos y f) Tierras Forestales a Otras Tierras. Las emisiones de CO₂ reportadas en esta actividad, incluye los cambios anuales en las existencias de carbono en la biomasa aérea y subterránea y el método utilizado es el método 2 de las directrices IPCC 2016, **Cambio Anual en las Existencias de Carbono en Biomosas en Tierras Convertidas a Otra Categoría de Uso de la Tierra.**

$$NREF_{Def} = \sum_i \Delta C_{Def_i} * 44/12 \quad \text{Ec. 1.1}$$

Donde:

- $NREF_{Def}$ = promedio anual de emisiones de dióxido de carbono equivalente debidas a la conversión de tierras forestales a otros usos de la tierra durante el periodo de referencia, en t CO₂e año⁻¹;
- ΔC_{Def_i} = promedio anual del cambio en las existencias de carbono de la biomasa debidas a la conversión de tierras forestales tipo i a otros usos de la tierra tipo i , durante el periodo de referencia, en t C año⁻¹;
- $44/12$ = factor para convertir carbono a dióxido de carbono equivalente, t CO₂e ton C-1.

Se utilizó la ecuación 1.2 para el cálculo del promedio anual del cambio en las existencias de carbono de la biomasa debido a la conversión de tierras forestales tipo i a otros usos de la tierra tipo i (ΔC_{Def_i}), durante el periodo de referencia, en t C año⁻¹ para su inclusión en la ecuación 1.1:

$$\Delta C_{Def_i} = \frac{\sum_t \Delta C_{B_{i,t}}}{p} \quad \text{Ec. 1.2}$$

Donde:

- ΔC_{Def_i} = promedio anual del cambio en las existencias de carbono de la biomasa debidas a la conversión de tierras forestales tipo i a otros usos de la tierra tipo i , durante el periodo de referencia, en t C año⁻¹;
- $\Delta C_{B_{i,t}}$ = cambio anual en las existencias de carbono de la biomasa debidas a la conversión de tierras forestales tipo i a otros usos de la tierra tipo i , en el año t , en t C año⁻¹;
- p = número de años analizados durante el periodo de referencia.

Se utilizó la ecuación 1.3, para el cálculo del cambio anual en las existencias de carbono de la biomasa debidas a la conversión de tierras forestales tipo i a otros usos de la tierra tipo i (ΔC_{B_i}), en el año t , en t C año⁻¹, la cual se deriva de la ecuación 2.15 del IPCC (2016) y es utilizada para la inclusión en la ecuación 1.2.

$$\Delta C_{B_{Def_{i,t}}} = \Delta C_{G_{i,t}} + \Delta C_{CONVERSIÓN_{i,t}} - \Delta C_L \quad \text{Ec 1.3}$$

Donde:

- $\Delta C_{B_{i,t}}$ = cambio anual en las existencias de carbono de la biomasa debidas a la conversión de tierras forestales tipo i a otros usos de la tierra tipo i , en el periodo de referencia, en t C;
- $\Delta C_{G_{i,t}}$ = incremento anual en las existencias de carbono de la biomasa debidas a la biomasa contenida en otros usos de la tierra i después de la conversión, durante el periodo de referencia, en t C;
- $\Delta C_{CONVERSIÓN_{i,t}}$ = cambio inicial en las existencias de carbono de la biomasa debidas a la conversión de tierras forestales tipo i a otros usos de la tierra tipo i , durante el periodo de referencia, en t C;
- $\Delta C_{L_{i,t}}$ = reducción anual en las existencias de carbono de la biomasa debido la remoción de biomasa, madera-combustible y otras perturbaciones que ocurren antes de un evento de deforestación, durante el periodo de referencia, en t C.

La ecuación 1.4 corresponde a “**Incremento Anual de las Existencias de Carbono en Biomasa debido al Crecimiento de la Biomasa en Tierras que Permanecen en la Misma Categoría de Uso de la Tierra por Tipo de Vegetación y Zona Climática**” y se deriva de la ecuación 2.9 de IPCC (2006).

No obstante, el $NREF_{Def}$ de Guatemala no considera la acumulación progresiva de la biomasa en “Otros Usos de la Tierra” después de la conversión, debido a que no se cuentan con datos de incrementos anuales para estas categorías. Por lo tanto, es necesario modificar la conceptualización de las variables de la ecuación 2.9 IPCC (2006) y tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- El **Incremento Anual de las Existencias de Carbono en Biomasa Debido al Crecimiento de la Biomasa en Tierras que Permanecen en la Misma Categoría de Uso de la Tierra por Tipo de Vegetación y Zona Climática** ($\Delta C_{G_{i,t}}$), que se contabiliza en el $NREF_{Def}$ de Guatemala corresponde a la biomasa total que puede acumular “Otros Usos de la Tierra” tipo i después de la conversión.
- La **Superficie de Tierra que Permanece en la Misma Categoría de Uso de la Tierra** ($\Delta A_{i,t}$), que se contabiliza en el $NREF_{Def}$ de Guatemala, corresponde a superficie de otros usos de la tierra tipo i después de la conversión, siendo esta igual a la superficie de tierras forestales tipo i convertida a otros usos de la tierra tipo i ($\Delta A_{A_OTRAS_{i,t}}$), de la ecuación 2.5.
- El **Crecimiento Medio Anual de la Biomasa** (G_{TOTAL_i}), que se contabiliza en el $NREF_{Def}$ de Guatemala, corresponde a existencia de biomasa en otros usos de la tierra tipo i después de la conversión.

$$\Delta C_{G_{i,t}} = (\Delta A_{i,t} * G_{TOTAL_i}) * CF \quad \text{Ec. 1.4}$$

Donde:

- $\Delta C_{G_{i,t}}$ = incremento anual en las existencias de carbono de la biomasa debidas a la biomasa contenida en otros usos de la tierra i después de la conversión, en el año t , en t C año⁻¹;
- G_{TOTAL_i} = existencia de biomasa en otros usos de la tierra tipo i después de la conversión, en ton d.m. ha⁻¹;

- $\Delta A_{i,t}$ = superficie de otros usos de la tierra tipo i después de la conversión, en el año t , en ha año⁻¹;
- CF = fracción de carbono en biomasa seca, en toneladas de carbono por toneladas de biomasa seca.
- t = año analizado año⁻¹

La ecuación 1.5, calcula el cambio inicial en las existencias de carbono de la biomasa debidas a la conversión de tierras forestales tipo i a otros usos de la tierra tipo i ($\Delta C_{CONVERSIÓN_{i,t}}$), en el año t , en t C año⁻¹ dicha ecuación se deriva de la 2.16 de IPCC (2006), y es utilizada en la inserción de la ecuación 1.3 mencionada anteriormente.

$$\Delta C_{CONVERSIÓN_{i,t}} = \{(B_{DESPUÉS_i} - B_{ANTES_i}) * \Delta A_{A_OTRAS_{i,t}}\} * CF \quad \text{Ec. 1.5}$$

Donde:

- $\Delta C_{CONVERSIÓN_{i,t}}$ = cambio inicial en las existencias de carbono de la biomasa debidas a la conversión de tierras forestales tipo i a otros usos de la tierra tipo i , en el año t , en t C año⁻¹;
- $B_{DESPUÉS_i}$ = existencia de biomasa en otros usos de la tierra tipo i inmediatamente después de la conversión, en t d.m. ha⁻¹;
- B_{ANTES_i} = existencia de biomasa en tierras forestales tipo i antes de la conversión, en t d.m. ha⁻¹;
- $\Delta A_{A_OTRAS_{i,t}}$ = superficie de tierras forestales tipo i convertida a otros usos de la tierra tipo i , en el año t , en ha año⁻¹
- CF = fracción de carbono en biomasa seca, en toneladas de carbono por toneladas de biomasa seca.
- i = tipo de uso de la tierra convertido a otra categoría de uso de la tierra;
- t = año analizado año⁻¹

Para el $NREF_{Def}$ de Guatemala, el parámetro $\Delta C_{CONVERSIÓN_i}$ resulta en un valor negativo, debido a que la pérdida de existencias de la biomasa en tierras forestales (B_{ANTES_i}) es mayor que la ganancia de biomasa en otros usos de la tierra ($B_{DESPUÉS_i}$) inmediatamente después de la conversión siendo este valor cero, considerando que la deforestación provoca la pérdida total de biomasa. Adicionalmente se considera el año t , la deforestación anual durante dos sub periodos (2001-2006 y 2006-2010) que conforman el periodo de referencia (2001-2010).

La **Reducción Anual de las Existencias de Carbono en Biomasa en Tierras que Permanecen en la Misma Categoría de Uso de la Tierra**, se obtiene utilizando la ecuación 1.6 la cual se deriva de la ecuación 2.11 del IPCC (2006). No obstante el $NREF_{Def}$ de Guatemala no considera la pérdida anual de biomasa por remoción de bosques (cosecha), la recogida de madera combustible (sin contar la recolección de detritos) y otras pérdidas producidas por perturbaciones, tormentas e insectos y pestes. Por lo tanto, es necesario agregar algunas consideraciones sobre la variable ΔC_{L_t} , siendo las siguientes:

- Se considera ΔC_{L_t} como cero, dado que no hay suficientes datos para contabilizar las pérdidas en las existencias de carbono de la biomasa debido a la remoción de biomasa, madera-combustible y otras perturbaciones que ocurren antes de un evento de deforestación.
- Se consideran pérdidas anuales de biomasa producidas por incendios en el Nivel de Referencia de Emisiones Forestales de la actividad **Reducción de las emisiones debidas a la degradación forestal** ($NREF_{Deg}$).

$$\Delta C_L = L_{remoción-bosque_t} + L_{madera-combustible_t} + L_{perturbación_t} \quad \text{Ec. 1.6}$$

Donde:

- ΔC_L = reducción anual en las existencias de carbono de la biomasa debido la remoción de biomasa, madera-combustible y otras perturbaciones que ocurren antes de un evento de deforestación, en el año t , en t C año⁻¹;
- $L_{remoción-bosque_t}$ = pérdida anual de carbono en la biomasa debida a remoción de bosques (cosechas), que ocurre antes de un evento de deforestación, en el año t , en t C año⁻¹;
- $L_{madera-combustible_t}$ = pérdida anual de carbono en la biomasa debida a remoción de madera-combustible (sin contar la recolección de detritos), que ocurre antes de un evento de deforestación en el año t , en t C año⁻¹;
- $L_{perturbaciones_t}$ = otras pérdidas anuales de carbono en la biomasa debida a otras perturbaciones (sin contar incendios), que ocurren antes de un evento de deforestación en el año t , en t C año⁻¹;
- t = año de análisis.

4.3.2 Datos de actividad

Los datos de actividad del $NREF_{Def}$ de Guatemala, tierras forestales convertidas a otros usos de la tierra (ΔA_{A_OTRAS}) fue calculada a partir de las matrices de las dinámicas forestales (2001-2006 y 2006-2010) las cuales se obtienen de la combinación de los mapas de cobertura forestal y usos de la tierra (2001, 2006 y 2010). Estos mapas surgen del esfuerzo conjunto entre las instituciones de GIMBUT que en un inicio elaboraban mapas de dinámica forestal a partir de clasificación de imágenes Landsat (INAB 2010, UVG 2012), los cuales contenían 6 categorías: Bosque (Bosque que permanece como Bosque), No Bosque (No Bosque que permanece como No Bosque), Perdida (Bosque a No Bosque), Ganancia (No Bosque a Bosque), Agua y Sin Información. Posteriormente se realizó la separación del área clasificada como No Bosque a otras categorías de usos de la tierra: Tierras Agrícolas (TA), Hule (HU), Café (CA), Palma Africana (PA, Otras Tierras (OT), Asentamientos (AA) y Humedales (Categoría no considerada en datos de actividad). La categoría Bosque de la dinámica forestal se considera Tierras Forestales (TF) para la estimación de los datos de actividad (ver anexo 03). Espacialmente se presenta la deforestación en el siguiente mapa (Figura 2)

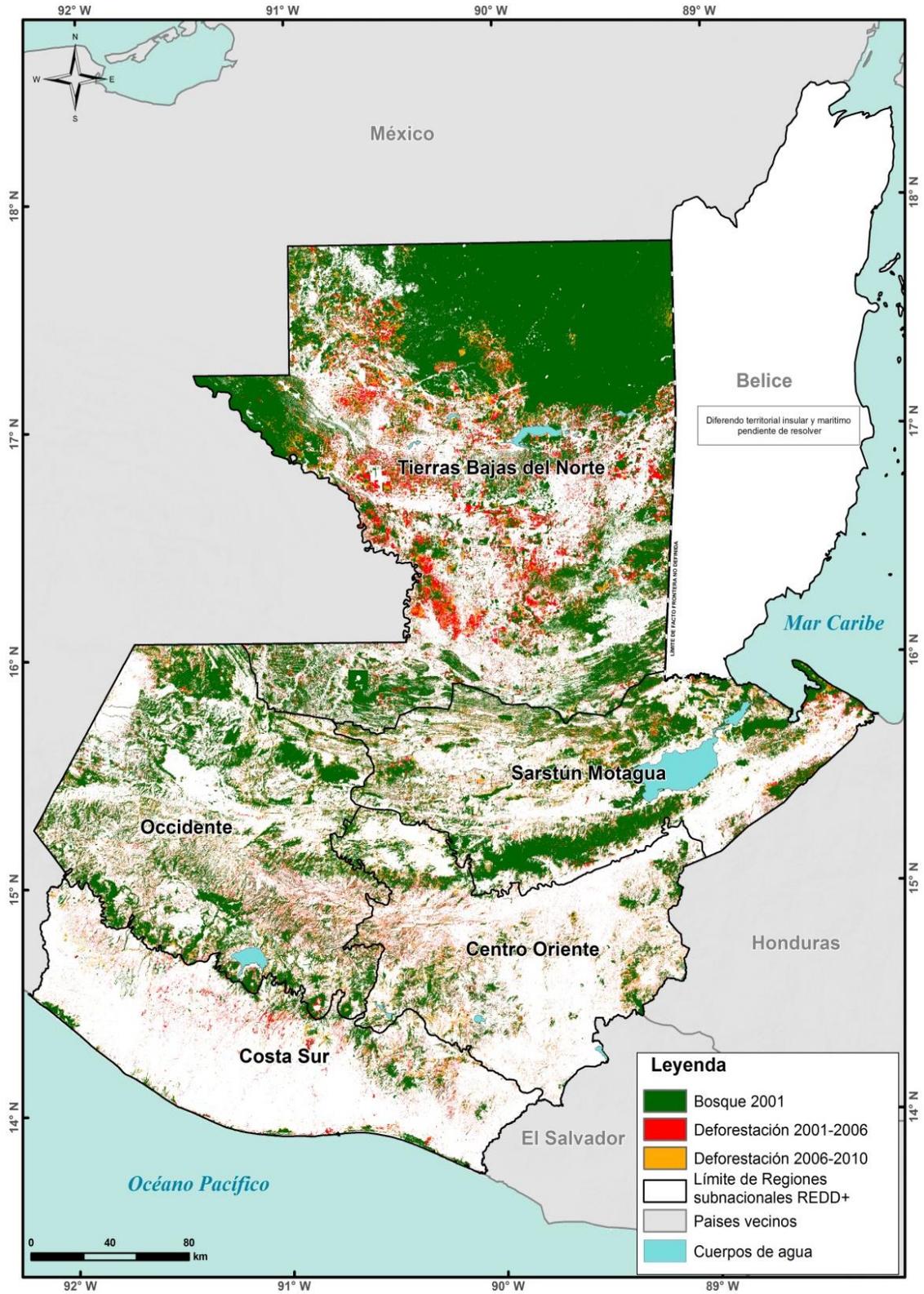


Figura 2. Mapa de dinámica de bosque 2001-2006 y 2006-2010.

4.3.3 Factores de emisión

a. Existencias de biomasa antes de la conversión

La variable B_{ANTES_i} (existencia de biomasa en tierras forestales tipo i antes de la conversión), se obtuvo del mapa de estratos de carbono (figura 3).

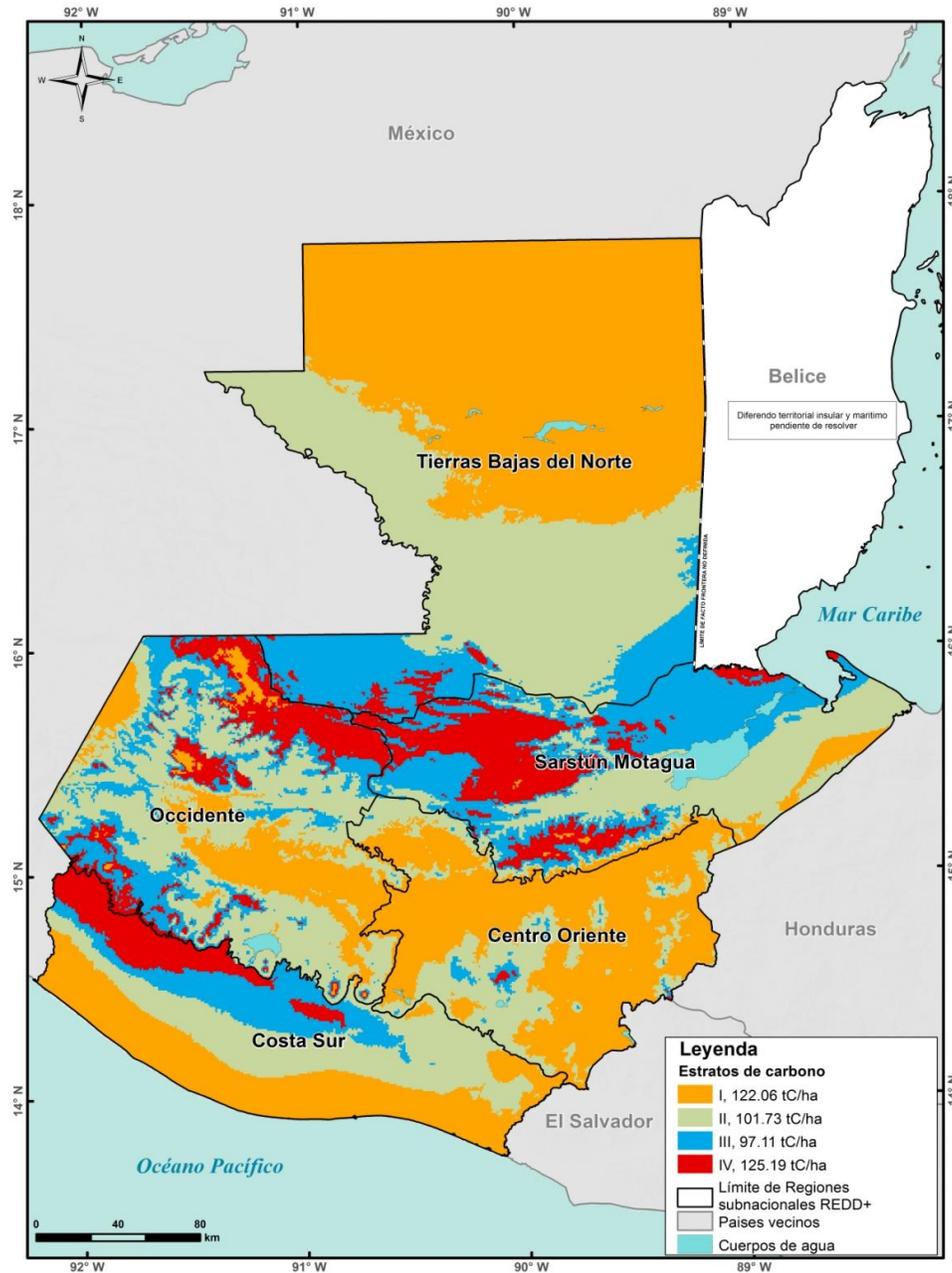


Figura 3. Mapa de Estratificación de carbono en bosques de Guatemala, basada en horizontes de índices ombrotérmicos.

Dicho mapa es el resultado de la compilación de información proveniente de inventarios forestales realizados en bosques naturales. En un inicio se obtuvieron datos de parcelas provenientes de

plantaciones, las cuales fueron excluidas de este estudio. En este análisis se tomaron estadísticos para el cálculo de $t\ C\ ha^{-1}$, con biomasa aérea y subterránea, utilizando la capa de índices ombrotérmicos que incorpora las variables de precipitación y temperatura. En el análisis se utilizaron las ecuaciones alométricas de acuerdo a las Regiones REDD+, para la estratificación de carbono (ver Anexo 4), las cuales fueron generadas a nivel de país, con el apoyo de la Universidad del Valle de Guatemala y estudios realizados en la Reserva de Biosfera Maya. En total se utilizaron 2,306 parcelas debidamente depuradas, que varían en tamaño y van de 0.02 hasta 1 hectárea.

Los análisis estadísticos fueron realizados para generar los estratos estadísticamente significantes, utilizando la estimación de toneladas de carbono por hectáreas, aplicando pruebas estadísticas no paramétricas, ya que los datos no presentan una distribución normal y las parcelas provienen de diferentes fuentes de información. Así mismo se calcularon las medianas por cada uno de los estratos, realizando modelaciones con el método de Monte Carlo de cada una de las parcelas de acuerdo al tamaño y ubicación dentro de la estratificación de carbono. Para obtener los intervalos de confianza al 95% de confiabilidad, se realizó un re muestreo (bootstrapping) posterior a la simulación de datos. El parámetro de tendencia central fue la mediana. Tabla 1.

Tabla 1. Existencia de biomasa antes de la conversión (B_{ANTES_i}) (Gómez, 2017)

Estrato	Horizontes de índices ombrotérmicos	Existencia de carbono forestal (ton C/ha)	Existencia de biomasa (ton biomasa/ha)
I	Semiárido superior	122.10	259.70
	Seco inferior		
	Seco superior		
	Subhúmedo inferior		
	Subhúmedo superior		
	Hiperhúmedo superior		
II	Húmedo inferior	101.70	216.40
III	Húmedo superior	97.10	206.60
IV	Hiperhúmedo inferior	125.20	266.40

b. Existencias de biomasa después de la conversión

El parámetro G_{TOTAL_i} (existencia de biomasa en otros usos de la tierra tipo i inmediatamente después de la conversión), se obtuvo de la compilación de diversos estudios a nivel nacional y regional (Centroamérica y Sudamérica) sobre contenidos de carbono en categorías Otros Usos de la Tierra (Tierras Agrícolas, Café, Hule, Palma Africana, Asentamientos y Otras Tierras) que fueron utilizados en el $NREF_{Def}$ de Guatemala (Castillo 2016). Actualmente el país carece de estudios a detalle de contenidos de carbono en estas categorías. Los datos compilados fueron analizados según la disponibilidad de sus datos crudos, cálculos de incertidumbre o error se decidió que únicamente era factible utilizar datos nacionales para la categoría café. Para los Otros Usos de la Tierra (Tabla 2) se optó por utilizar los datos de contenido de carbono por defecto que se derivan de los cuadros 5.1 y 5.9 del capítulo 5, de las Directrices del IPCC 2006, tal y como se indica en la tabla 2.

Tabla 2. Existencias de biomasa después de la conversión (G_{TOTAL_i}) (Castillo, 2016)

Otros Usos de la Tierra	Contenidos de carbono (ton C/ha)	Existencia de biomasa (ton Biomasa/ha)	Fuente
Tierras Agrícolas (TA)	5.00	10.64	Directrices del IPCC, 2006
Café* (CA)	28.40	60.36	ANACAFE, 1998
Palma Africana (PA)	50.00	106.38	Directrices del IPCC, 2006
Hule (HU)	50.00	106.38	Directrices del IPCC 2006
Asentamientos (AA)	0.00	0.00	Directrices del IPCC 2006
Otras Tierras (OT)	0.00	0.00	Directrices del IPCC 2006

*El contenido de carbono de café se calculó a través de simulaciones de Monte Carlo sobre la base de los datos de biomasa aérea y biomasa subterránea proporcionados en el estudio ANACAFE (1998). Este valor representa la mediana de la distribución final.

c. Reducción en las existencias de biomasa por remoción de bosques, madera-combustible y otras perturbaciones

El $NREF_{Def}$ de Guatemala considera con valor cero la variable ΔC_{L_t} (reducción en las existencias biomasa por remoción de bosques, la recogida de madera-combustible y otras pérdidas producidas por perturbaciones) debido a que no hay suficientes datos para contabilizar las pérdidas en las existencias de carbono de la biomasa debido a la remoción de biomasa, madera-combustible y otras perturbaciones que ocurren antes de un evento de deforestación. Adicionalmente las pérdidas anuales de biomasa producidas por incendios son consideradas en el Nivel de Referencia de Emisiones Forestales de la actividad **Reducción de las emisiones debidas a la degradación forestal** ($NREF_{Deg}$).

4.4 Actividad de Degradación

4.4.1 Enfoque general

El NREF de Guatemala para la actividad **Reducción de las emisiones debidas a la degradación forestal** ($NREF_{Deg}$) propone estimar emisiones históricas de la degradación forestal a partir de la aplicación de la metodología SIGMA I (CONAP, et al. 2010), que determina cicatrices de incendios (datos de actividad) mediante el análisis de imágenes de satélite de resolución media (Landsat) en tierras forestales que permanece como tal y en tierras forestales convertidas a otros usos de la tierra, sin embargo este último se reporta en $NREF_{Def}$.

El Cálculo del promedio anual de tres gases efecto invernadero (CO_2 , CH_4 y N_2O) en toneladas de emisiones de dióxido de carbono equivalente debidas a la degradación forestal por incendios en tierras forestales, durante el periodo de referencia para la actividad **Reducción de las emisiones debidas a la degradación forestal** se obtuvo utilizando la ecuación 2.1.

$$NREF_{Deg} = \sum_i GEI_{Deg_i} \quad \text{Ec. 2.1}$$

Donde:

- $\Delta NREF_{Deg}$ = promedio anual de emisiones de CO_2e , debidas a la degradación por incendios en tierras forestal durante el periodo de referencia, en t CO_2e año⁻¹;
- GEI_{Deg_i} = promedio anual emisiones de CO_2e , debidas a la degradación forestal por incendios en tierras forestales tipo i que permanecen como tal, durante el periodo de referencia, en t C año⁻¹;

El $NREF_{Deg}$ cuantifica las emisiones de gases efecto invernadero no CO_2 y CO_2 debidas a incendios forestales no controlados (naturales), en tierras forestales que permanece como tal incluyendo los cambios anuales en las existencias de carbono en la biomasa aérea y subterránea a través del método de cuantificación de emisiones genérica de las Directrices IPCC 2006, **Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero individuales para cualquiera de los tipos de fuego.**

La ecuación 2.2 fue utilizada para calcular el promedio anual emisiones de CO_2e , debidas a la degradación forestal por incendios en tierras forestales tipo i que permanecen como tal, durante el periodo de referencia (GEI_{Deg_i}), en t C año⁻¹ para su inclusión en la ecuación 2.1:

$$GEI_{Deg_i} = \frac{\sum_t GEI_{Fuego_{i,t}}}{p} \quad \text{Ec. 2.2}$$

Donde:

- GEI_{Deg_i} = promedio anual emisiones de CO_2e , debidas a la degradación forestal por incendios en tierras forestales tipo i que permanecen como tal, durante el periodo de referencia, en t C año⁻¹;
- $GEI_{Fuego_{i,t}}$ = emisiones anuales de CO_2e , debidas a la degradación forestal por incendios en tierras forestales tipo i que permanecen como tal, en el año t , en t CO_2e año⁻¹

- p = número de años analizados durante el periodo de referencia.

El cálculo de las emisiones de CO₂e, debidas a la degradación forestal por incendios en tierras forestales tipo i que permanecen como tal, en el año t ($GEI_{Fuego_{i,t}}$), en t CO₂e año⁻¹, fue realizada utilizando la ecuación 2.3; he incluida en la ecuación 2.2:

$$GEI_{Fuego_{i,t}} = GEI_{Fuego_{CO_2.CO_2_{i,t}}} + GEI_{Fuego_{CH_4.CO_2_{i,t}}} + GEI_{Fuego_{N_2O.CO_2_{i,t}}} \quad \text{Ec. 2.3}$$

Donde:

- $GEI_{Fuego_{i,t}}$ = emisiones anuales de CO₂e, debidas a la degradación forestal por incendios en tierras forestales tipo i que permanecen como tal, en el año t , en t CO₂e año⁻¹
- $GEI_{Fuego_{CO_2.CO_2_{i,t}}}$ = emisiones anuales de CO₂ convertidas a CO₂e, debidas a la degradación forestal por incendios en tierras forestales tipo i que permanecen como tal, en el año t , en t CO₂e año⁻¹;
- $GEI_{Fuego_{CH_4.CO_2_{i,t}}}$ = emisiones anuales de CH₄ convertidas a CO₂e, debidas a la degradación forestal por incendios en tierras forestales tipo i que permanecen como tal, en el año t , en t CO₂e año⁻¹;
- $GEI_{Fuego_{N_2O.CO_2_{i,t}}}$ = emisiones anuales de N₂O convertidas a CO₂e, debidas a la degradación forestal por incendios en tierras forestales tipo i que permanecen como tal, en el año t , en t CO₂e año⁻¹.

Las ecuaciones 2.4, 2.5 y 2.6 calculan la conversión de emisiones de GEI a CO₂e, utilizando los factores de conversión por defecto de IPCC (2014), que de conformidad con la decisión 17/CP.8, establece que las Partes No-Anexo I deben utilizar el PCG (Potencial de Calentamiento Global) del AR2 del IPCC y para fines de inventario, los Países No-Anexo I también pueden optar por utilizar los valores de PCG del AR5, como la ciencia más actualizada (tabla 5).

Se utilizó la ecuación 2.4 para calcular las emisiones anuales de CO₂ convertidas a CO₂e, debidas a la degradación forestal por incendios en tierras forestales tipo i que permanecen como tal, en el año t ($GEI_{Fuego_{CO_2.CO_2e_{i,t}}}$), en ton CO₂e año⁻¹, para su inclusión en la ecuación 2.3:

$$GEI_{Fuego_{CO_2.CO_2e_{i,t}}} = L_{Fuego_{CO_2_{i,t}}} * FC_{CO_2.CO_2e} \quad \text{Ec. 2.4}$$

Donde:

- $GEI_{Fuego_{CO_2.CO_2e_{i,t}}}$ = emisiones anuales de CO₂ convertidas a CO₂e, debidas a la degradación forestal por incendios en tierras forestales tipo i que permanecen como tal, en el año t , en t CO₂e año⁻¹;
- $L_{Fuego_{CO_2_{i,t}}}$ = emisiones anuales de CO₂ debidas a la degradación forestal por incendios en tierras forestales tipo i que permanecen como tal, en el año t , en t CO₂ año⁻¹;
- $FC_{CO_2.CO_2e}$ = factor de conversión de CO₂ a CO₂e, t CO₂ t CO₂e⁻¹.

La ecuación 2.5 calcula las emisiones anuales de CH₄ convertidas a CO₂e, debidas a la degradación forestal por incendios en tierras forestales tipo i que permanecen como tal, en el año t ($GEI_{Fuego_{CH_4.CO_2e_{i,t}}}$), en t CO₂e año⁻¹, para su inclusión en la ecuación 2.3:

$$GEI_{Fuego_{CH_4.CO_2e_{i,t}}} = L_{Fuego_{CH_4_{i,t}}} * FC_{CH_4.CO_2e} \quad \text{Ec. 2.5}$$

Donde:

- $GEI_{FuegoCH_4.CO_2e_{i,t}}$ = emisiones anuales de CH₄ convertidas a CO₂e, debidas a la degradación forestal por incendios en tierras forestales tipo *i* que permanecen como tal, en el año *t*, en t CO₂e año⁻¹;
- $L_{FuegoCH_4_{i,t}}$ = emisiones anuales de CH₄ debidas a la degradación forestal por incendios en tierras forestales tipo *i* que permanecen como tal, en el año *t*, en t CH₄ año⁻¹;
- $FC_{CH_4.CO_2e}$ = factor de conversión de CH₄ a CO₂e, ton CH₄ t CO₂e⁻¹.

La ecuación 2.6 calcula las emisiones anuales de N₂O convertidas a CO₂e, debidas a la degradación forestal por incendios en tierras forestales tipo *i* que permanecen como tal, en el año *t* ($GEI_{FuegoN_2O.CO_2e_{i,t}}$), en t CO₂e año⁻¹, para su inclusión en la ecuación 2.3:

$$GEI_{FuegoN_2O.CO_2e_{i,t}} = L_{FuegoN_2O_{i,t}} * FC_{N_2O.CO_2e} \quad \text{Ec. 2.6}$$

Donde:

- $GEI_{FuegoN_2O.CO_2e_{i,t}}$ = emisiones anuales de N₂O convertidas a CO₂e, debidas a la degradación forestal por incendios en tierras forestales tipo *i* que permanecen como tal, en el año *t*, en t CO₂e año⁻¹;
- $L_{FuegoN_2O_{i,t}}$ = emisiones anuales de N₂O (óxido nitroso) debidas a la degradación forestal por incendios en tierras forestales tipo *i* que permanecen como tal, en el año *t*, en t CO₂ año⁻¹;
- $FC_{N_2O.CO_2e}$ = factor de conversión de N₂O a CO₂e, ton N₂O t CO₂e⁻¹.

El $NREF_{Def}$ de Guatemala, cuantifica 3 Gases Efecto Invernadero (GEI), a partir de la ecuación 2.27 de IPCC (2006) “**Estimación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero a Causa del Fuego**”, dando como resultado las ecuación 2.6, 2.7 y 2.8 . El parámetro M_{B_i} , Biomasa disponible en tierras forestales tipo *i* para la combustión resulta del mapa estratos de carbono para Guatemala (Gómez, 2017) siendo su equivalente B_{ANTES_i} (existencia de biomasa en tierras forestales tipo *i* antes de la conversión), en la ecuación 2.5 del $NREF_{Def}$.

La ecuación 2.7 se deriva de la ecuación 2.27 de IPCC (2006), mediante la cual se calcula las emisiones anuales de CO₂ (dióxido de carbono) debidas a la degradación forestal por incendios en tierras forestales tipo *i* que permanecen como tal, en el año *t* ($L_{FuegoCO_2_{i,t}}$), en t CO₂ año⁻¹, para su inclusión en la ecuación 2.4.

$$L_{FuegoCO_2_{i,t}} = A_{i,t} * M_{B_i} * C_f * G_{efCO_2} * 10^{-3} \quad \text{Ec. 2.7}$$

Donde:

- $L_{FuegoCO_2_{i,t}}$ = emisiones anuales de CO₂ debidas a la degradación forestal por incendios en tierras forestales tipo *i* que permanecen como tal, en el año *t*, en t CO₂ año⁻¹;
- $A_{i,t}$ = superficie degradada por incendios en tierras forestal tipo *i* en el año *t*, en ha año⁻¹;
- M_{B_i} = Biomasa disponible en tierras forestales tipo *i* para la combustión, t ha⁻¹;
- C_f = factor de combustión, sin dimensión;
- G_{efCO_2} = factor de emisión de CO₂, g kg⁻¹ de materia seca quemada.
- *i* = tipo de tierras forestales que permanece como tal;
- *t* = año analizado año⁻¹

La ecuación 2.8 se deriva de la ecuación 2.27 de IPCC (2006), se utilizó para realizar el cálculo de las emisiones anuales de CH₄ (metano) debidas a la degradación forestal por incendios en tierras forestales tipo *i* que permanecen como tal, en el año *t* ($L_{FuegoCH_4_{i,t}}$), en t CH₄ año⁻¹, para su inclusión en la ecuación 2.5.

$$L_{FuegoCH4_{i,t}} = A_{i,t} * M_{B_i} * C_f * G_{efCH4} * 10^{-3} \quad \text{Ec. 2.8}$$

Donde:

- $L_{FuegoCH4_{i,t}}$ = emisiones anuales de CH₄ debidas a la degradación forestal por incendios en tierras forestales tipo i que permanecen como tal, en el año t , en ton CH₄ año⁻¹;
- $A_{i,t}$ = superficie degradada por incendios en tierras forestal tipo i en el año t , en ha año⁻¹;
- M_{B_i} = Biomasa disponible en tierras forestales tipo i para la combustión, ton ha⁻¹;
- C_f = factor de combustión, sin dimensión;
- G_{efCH4} = factor de emisión de CH₄, g kg⁻¹ de materia seca quemada.
- i = tipo de tierras forestales que permanece como tal;
- t = año analizado año⁻¹

La ecuación 2.9 se deriva de la ecuación 2.27 de IPCC (2006), y calcula las emisiones anuales de N₂O (óxido nitroso) debidas a la degradación forestal por incendios en tierras forestales tipo i que permanecen como tal, en el año t ($L_{FuegoN2O_{i,t}}$), en t N₂O año⁻¹, para su inclusión en la ecuación 2.6.

$$L_{FuegoN2O_{i,t}} = A_{i,t} * M_{B_i} * C_f * G_{efN2O} * 10^{-3} \quad \text{Ec. 2.9}$$

Donde:

- $L_{FuegoN2O_{i,t}}$ = emisiones anuales de N₂O debidas a la degradación forestal por incendios en tierras forestales tipo i que permanecen como tal, en el año t , en t N₂O año⁻¹;
- $A_{i,t}$ = superficie degradada por incendios en tierras forestal tipo i en el año t , en ha año⁻¹;
- M_{B_i} = Biomasa disponible en tierras forestales tipo i para la combustión, t ha⁻¹;
- C_f = factor de combustión, sin dimensión;
- G_{efN2O} = factor de emisión de N₂O, g kg⁻¹ de materia seca quemada.
- i = tipo de tierras forestales que permanece como tal;
- t = año analizado año⁻¹.

4.4.2 Datos de actividad

Los Datos de Actividad ($A_{i,t}$) para la estimación de emisiones debidas a la degradación forestal por incendios en tierras forestales que permanecen como tal, se obtuvieron aplicando la metodología del proyecto SIGMA I (CONAP, et al. 2010), a continuación se describen los principales pasos:

a. Obtención de cicatrices de fuego

La metodología SIGMA I (CONAP, et al. 2010) consiste en clasificar las imágenes Landsat de cada uno de los años reportados en el $NREF_{Deg}$ de Guatemala. Seguidamente se editan los polígonos obtenidos de la clasificación y este proceso da como resultado las clases puras de incendios. Posterior a la edición manual de cada una de las imágenes se procede a la conformación de las capas vectoriales de cicatrices de fuego, las cuales son sometidas a un proceso de validación. Debido a la falta de disponibilidad de imágenes satelitales de alta resolución, solo se produjeron mapas nacionales para los años 2001, 2003, 2005, 2007, 2009 y 2010, (ver Anexo 5).

Para el Programa Reducción de Emisiones (ER-PIN), es importante estimar dos tipos de incendios forestales: 1) incendios que causan degradación e 2) incendios que causan deforestación. Para ambos, se superpusieron espacialmente las cicatrices de incendios con las dinámicas forestales, y se contabilizaron únicamente las cicatrices que corresponden a tierras forestales que permanecen como tal y los incendios en tierras forestales convertidas a otros usos de la tierra (Figura 4).

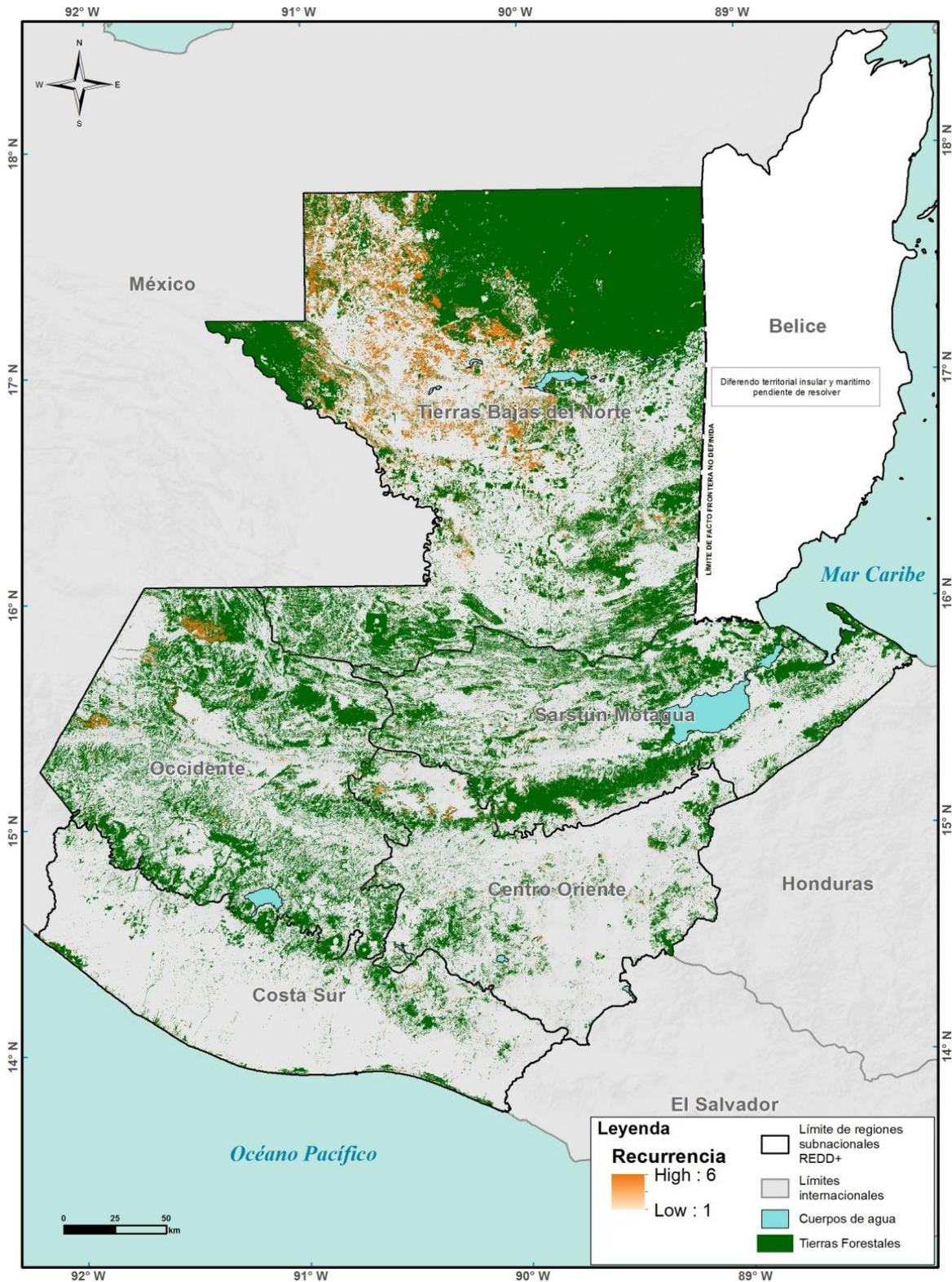


Figura 4. Mapa de ocurrencia y recurrencia de incendios forestales en Guatemala 2001-2010

En los dos tipos de incendios, solo se contabilizaron incendios en áreas que se quemaron una o dos veces durante el periodo de referencia. Se consideraron aquellas áreas que se quemaron más de dos veces como un área de agricultura itinerante u otro tipo de uso de suelo que se quema repetidamente.

a. Validación de cicatrices

La validación de cicatrices de incendios se realizó únicamente para los años 2003 y 2010 con imágenes de alta resolución, insumos que se obtuvieron del software Google Earth®, en el cual se distribuyeron puntos aleatorios para la colecta de los datos de referencia. Los resultados de la clasificación y los datos de referencia fueron ordenados en una matriz de contingencia para su análisis. En la figura 5 se observan las áreas de las imágenes de alta resolución con las cuales se validaron las cicatrices. Utilizando la metodología de Oloffson(2014), obteniendo como resultado final la incertidumbre de los mapas.

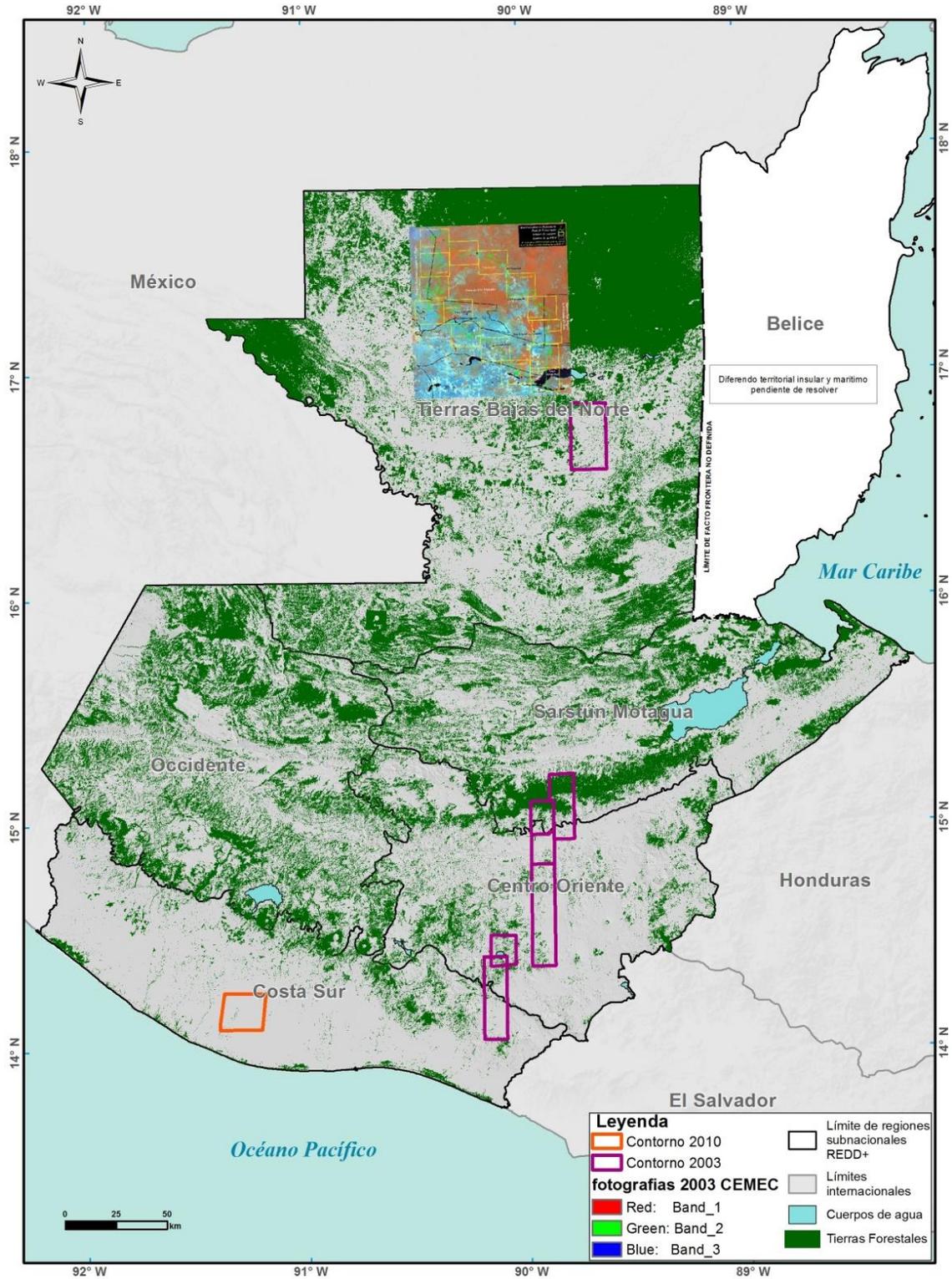


Figura 5. Mapa de áreas de fotografías y de imágenes de alta resolución, como insumos para la validación.

4.4.3 Factores de emisión

Los factores de emisiones para la estimación de emisiones en tierras forestales degradadas por incendios se describen a continuación:

La variable C_f que corresponde el factor de combustión para incendios en tierras forestales que causan deforestación se obtuvo del cuadro 2.6 de las Directrices del IPCC (2006) **“Valores de los Factores de Combustión (Proporción de la Biomasa Combustible Previa al Incendio Consumida) para Incendios en Diferentes Tipos de Vegetación”**, el valor utilizado corresponde al tipo de vegetación “Todos los Bosques Tropicales”, y para incendios en tierras forestales que causan degradación la variable C_f se obtuvo del estudio nacional de Pinelo (2001) que cuantificó la pérdida de biomasa en parcelas forestales sujetas a un incendio, como se resume en la tabla 3, que indica los factores de combustión para incendios que causan degradación y para incendios que causan deforestación.

Tabla 3. Factor de combustión para incendios en tierras forestales que causan deforestación y degradación (C_f)

Categoría	%	Fuente
*Degradación	0.14	Pinelo, 2001
Deforestación	0.36	IPCC, 2006-Cuadro 2.6-Capitulo 2

* El factor de combustión para degradación se calculó como la media del porcentaje de la biomasa quemada en las cuatro parcelas.

La Biomasa disponible en tierras forestales para la combustión (M_{B_i}) se obtuvo del estudio realizado por Gómez (2017), que cuantificó el carbono de la biomasa disponible en tierras forestales (tabla contenidos de carbono),

Los factores de emisión de cada GEI (G_{ef}) se derivan de la tabla 2.5 IPCC (2006) **“Factores De Emisión (g kg-1 de materia seca quemada) para Distintos Tipos de Quemado”**, los valores se basan en las medias y desviación estándar (\pm SD), según Andreae y Merlet (2001). Se eligieron los valores correspondientes a la categoría “Bosque Tropical” que se adapta mejor a las condiciones biofísicas del país como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Factores de emisión de cada GEI (G_{ef})

Factor de emisión	g kg ⁻¹ de materia quemada	Fuente
CO ₂	1580	IPCC, 2006-Cuadro 2.5-Capitulo 2
CH ₄	6.8	
N ₂ O	0.2	

El reporte final cuantifica las emisiones en CO₂e por lo que es necesario convertir las emisiones de GEI a CO₂e. De conformidad con la decisión 17/CP.8, en la cual se establece que las Partes No-Anexo I deben utilizar el PCG (Potencial de calentamiento Global) del AR2 del IPCC y para fines de inventario, los países No Anexo I también pueden optar por valores más recientes, como la ciencia más actualizada.

En virtud de lo anterior los factores de conversión se obtuvieron del informe de IPCC (2014) “Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático IPCC”, que corresponde al AR5 (Recuadro 3.2, cuadro 1 Ejemplos de valores de métricas de las emisiones del Grupo de trabajo I, Potencial de calentamiento global), los cuales se describe en la tabla 5.

Tabla 5. Factores de conversión de gases de efecto invernadero a CO₂e

Gas	Factor	
CO ₂	1	IPCC AR5, 2014-Recuadro 3.2-cuadro 1
CH ₄	28	
N ₂ O	265	

Se contabilizaron los GEI dependieron del tipo de incendio: para incendios en tierras forestales que permanecen como tal (incendios que causan degradación), se reportan los tres GEI (CO₂, CH₄ y N₂O), y los incendios en Tierras Forestales convertidas a otros usos de la tierra (incendios que causan deforestación) solamente se reportan dos GEI (CH₄ y N₂O) , esto con el objetivo de evitar la doble contabilización en áreas donde los incendios causan deforestación ya que emisiones de CO₂ son contabilizadas bajo la metodología descrita en $NREF_{Def}$, como se indica en la figura 6.

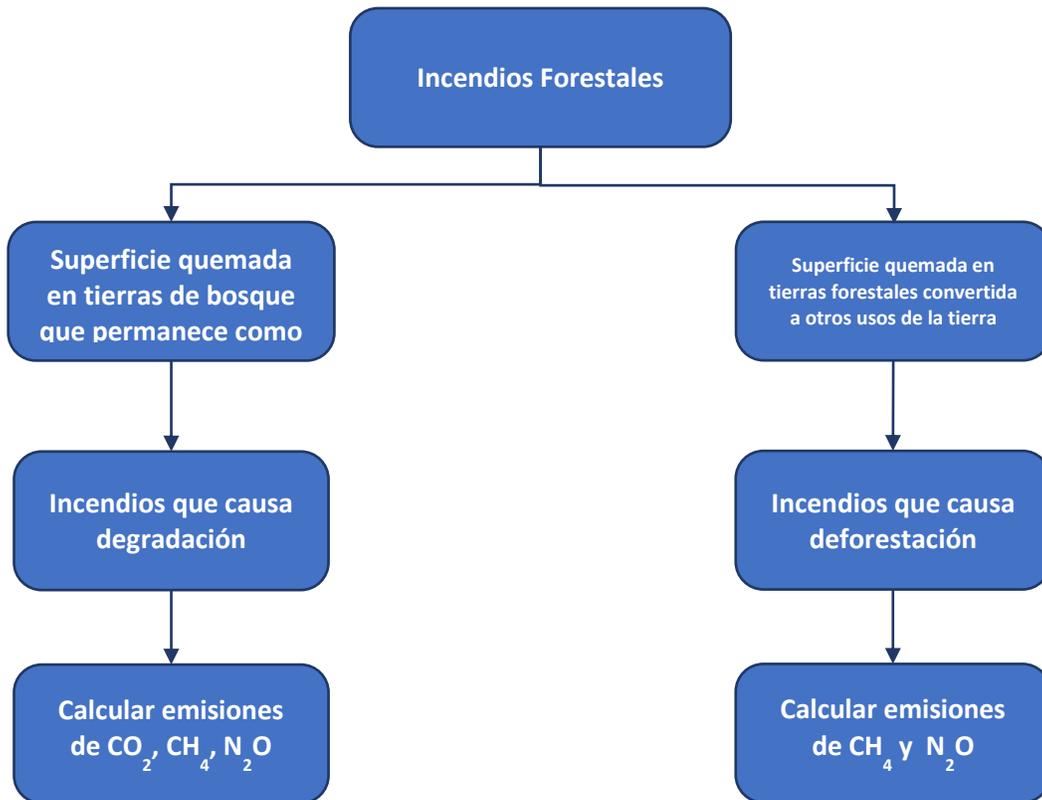


Figura 6. Árbol de decisiones para superficies degradadas y deforestadas por incendios en el NREF.

4.5 Actividad de Aumentos de Existencias

4.5.1 Aumentos en el contenido de carbono

El NRF de Guatemala para la actividad **Incremento de las reservas forestales de carbono** (NRF_{Aum}) estima las absorciones de CO₂ históricas en plantaciones que estén incentivadas por el programa de incentivos forestales (PINFOR) y el programa de Incentivos forestales para Poseedores de péculas Poseedores (PINPEP) los cuales son registrados y monitoreados por el Instituto Nacional de Bosques (INAB), utilizando los registros de datos tabulares contemplados en las modalidades de Reforestación y Sistemas Agroforestales, considerando que estas modalidades tienen mayor probabilidad de permanencia en los próximos años, (ver Anexo 6). La ecuación 4.1 calcula el promedio anual de estas absorciones, utilizando métodos diferentes para cada modalidad de plantaciones. Por lo tanto, es necesario tomar en cuenta las siguientes consideraciones sobre la terminología, variables y métodos utilizados.

- En el NRF_{Aum} , la terminología **áreas convertidas de otros usos de la tierra a tierras forestales** hace referencia a la conversión de áreas de otro uso de la tierra no bosque convertidas a plantaciones forestales (regeneración y sistemas agroforestales); y **áreas de tierras forestales que permanece como tal** hace referencia a las áreas de plantaciones forestales, que permanecen como tal uno y/o más años después de la conversión (reforestación y sistemas agroforestales).
- El método utilizado para el cálculo del incremento de carbono en biomasa debido a las absorciones de CO₂ en áreas convertidas de otros usos de la tierra a tierras forestales y áreas de tierras forestales que permanecen como tal, en la modalidad **reforestación**, es el **Método de Pérdidas y ganancias** de las Directrices IPCC (2006), que combina la superficie estimada (áreas de conversión y las que permanecen después de la conversión), con los incrementos medios anuales de biomasa por tipo de plantación (coníferas y latifoliadas), para calcular el incremento anual de carbono en biomasa.
- El método utilizado para el cálculo del incremento de carbono en biomasa debidas a las absorciones de CO₂ en áreas convertidas de otros usos de la tierra a tierras forestales y áreas de tierras forestales que permanecen como tal, en la modalidad **Sistemas Agroforestales** es el método basado en el ecuación global de Winrock International (2014) **The Agroforestry Tool: Underlying Data and Methods**, este método, calcula las absorciones de CO₂ combinando la edad de la plantación (Sistema Agroforestal) con la superficie de la plantación.
- La superficie estimada de plantaciones para NRF_{Aum} es contabilizada anualmente y categorizadas según su dinámica (áreas de conversión y las que permanecen después de la conversión), que metodológicamente se contabilizan en dos procesos diferentes. El primero, aumento de las existencias en **áreas convertidas de otros usos de la tierra a tierras forestales** (Plantaciones forestales nuevas, modalidad reforestación) se contabiliza según la ecuación 2.15 de las Directrices de IPCC (2006) **Cambio Anual en las Existencias de Carbono en Biomosas en Tierras Convertidas a Otra Categoría de Uso de la Tierra**.
- El segundo, aumento de las existencias en **áreas de tierras forestales que permanecen como tal** (plantaciones que permanecen como tal uno y/o más años después de la conversión, modalidad reforestación) se contabiliza según la ecuación 2.9 de las

Directrices IPCC (2006) **Incremento Anual de las Existencias de Carbono en Biomasa en Tierras que Permanecen en la Misma Categoría de Uso de la Tierra.**

La ecuación 3.1 calcula el promedio anual de absorciones de dióxido de carbono en áreas convertidas de otros usos de la tierra a tierras forestales y áreas de tierras forestales que permanecen como tal, durante el periodo de referencia, en t CO₂e año⁻¹ (ΔNRF_{Aum}).

$$NRF_{Aum} = \Delta C_{Aum} * 44/12 \quad \text{Ec. 3.1}$$

Donde:

- ΔNRF_{Aum} = promedio anual de absorciones de dióxido de carbono equivalente carbono en áreas convertidas de otros usos de la tierra a tierras forestales y áreas de tierras forestales que permanecen como tal, durante el periodo de referencia, en t CO₂e año⁻¹;
- ΔC_{Aum} = promedio anual de aumentos de existencias de carbono debidas a la conversión de otros usos de la tierra a tierras forestales y las absorciones de dióxido de carbono equivalente en tierras forestales que permanece como tal durante el periodo de referencia, en t C año⁻¹;
- $44/12$ = factor para convertir carbono a carbono dióxido equivalente, t CO₂e ton C⁻¹.

La ecuación 3.2 expresa el promedio anual de aumentos de existencias de carbono debidas a la conversión de otros usos de la tierra a tierras forestales y las absorciones de dióxido de carbono equivalente en tierras forestales que permanece como tal, durante el periodo de referencia (ΔC_{Aum}), en t C año⁻¹, para su inclusión en el ecuación 3.1.

$$\Delta C_{Aum} = \frac{\sum_t \Delta C_{Bt,A}}{p} \quad \text{Ec. 3.2}$$

Donde:

- ΔC_{Aum} = promedio anual de aumentos de existencias de carbono debidas a la conversión de otros usos de la tierra a tierras forestales y las absorciones de dióxido de carbono equivalente en tierras forestales que permanece como tal, durante el periodo de referencia, en t C año⁻¹;
- $\Delta C_{Bt,A}$ = cambio en las existencias de carbono de la biomasa debidas a la conversión de otros usos de la tierra a tierras forestales y las absorciones de dióxido de carbono equivalente en tierras forestales que permanece como tal, en año t , en t C;
- p = años del periodo de referencia

La ecuación 3.3 se deriva de la ecuación 2.15 de IPCC (2006). Calcula el cambio en existencias de carbono de la biomasa debidas a las absorciones de CO₂ en áreas convertidas de otros usos de la tierra a tierras forestales y áreas de tierras forestales que permanecen como tal, en las modalidades de plantaciones forestales (coníferas y latifoliadas) y sistemas agroforestales. La ecuación 3.3 agrega una variable adicional a la ecuación original para contabilizar los sistemas agroforestales ΔC_{SAF_t} .

$$\Delta C_{BAum_t} = \Delta C_{G_t} + \Delta C_{CONVERSION_t} + \Delta C_{SAF_t} - \Delta C_{L_t} \quad \text{Ec. 3.3}$$

Donde:

- ΔC_{BAum_t} = cambio anual en existencias de carbono de la biomasa debidas a las absorciones de CO₂ en áreas convertidas de otros usos de la tierra a tierras forestales y áreas de tierras forestales que permanece como tal, en la modalidad reforestación y sistemas agroforestales, en el año t , en t C;

- $\Delta C_{G_{i,t}}$ = incremento anual en las existencias de carbono de la biomasa debidas a las absorciones de CO₂ en áreas de tierras forestales tipo i que permanecen como tal, en el año t , en t C año⁻¹;
- $\Delta C_{CONVERSION_{i,t}}$ = cambio inicial en las existencias de carbono de la biomasa debidas a la conversión de otros usos de la tierra no bosque a tierras forestales tipo i , en el año t , t C año⁻¹;
- $\Delta C_{SAF_{i,t}}$ = incremento anual en las existencias de carbono de la biomasa debidas a las absorciones de CO₂ en áreas convertidas de otros usos de la tierra a tierras forestales tipo i y áreas de tierras forestales tipo i que permanecen como tal, en el año t , en t C año⁻¹;
- ΔC_{L_t} = reducción anual en las existencias de carbono de la biomasa debido a la remoción de biomasa, madera-combustible y otras perturbaciones que ocurren antes de un evento de aprovechamiento, en el año t , en t C año⁻¹.

La ecuación 3.4 se deriva de la ecuación 2.16 de las Directrices IPCC (2006). Calcula el cambio inicial en las existencias de carbono de la biomasa debidas a la conversión de otros usos de la tierra no bosque a tierras forestales tipo i , en el año t , t C año⁻¹ ($\Delta C_{CONVERSION_{i,t}}$), para su inclusión en la ecuación 3.3. Para el NRF_{Aum} de Guatemala, el parámetro $\Delta C_{CONVERSION_{i,t}}$ resulta en un valor positivo, debido a que la pérdida de existencias de la biomasa en otros usos de la tierra no bosque (B_{ANTES_i}) es valor cero, bajo el supuesto que antes del establecimiento de la plantación la tierra queda descubierta de cualquier tipo de cobertura y la ganancia de biomasa en tierras forestales ($B_{DESPUES_i}$) inmediatamente después de la conversión es igual crecimiento promedio anual de la biomasa aérea y subterránea debido a las absorciones de CO₂ en áreas de tierras forestales (I_{V_i}).

$$\Delta C_{CONVERSION_{i,t}} = \left\{ (B_{AFTER_i} - B_{BEFORE_i}) * \Delta A_{TOOTHERS_{i,t}} \right\} * CF \quad \text{Ec. 3.4}$$

Donde:

- $\Delta C_{CONVERSION_{i,t}}$ = cambio inicial en las existencias de carbono de la biomasa debidas a la conversión de otros usos de la tierra no bosque a tierras forestales tipo i , en el año t , ton C año⁻¹;
- $B_{Después_i}$ = existencias de biomasa en tierras forestales tipo i inmediatamente después de la conversión, en ton d.m. ha⁻¹;
- B_{antes_i} = existencias de biomasa en otros usos de la tierra no bosque tipo i antes de la conversión, en t d.m. ha⁻¹;
- $\Delta A_{A_OTRAS_{i,t}}$ = superficie de otros usos de la tierra no bosque convertida a tierras forestales tipo i , en el año t , en ha año⁻¹;
- CF = fracción de carbono de biomasa seca, en toneladas de carbono por toneladas de biomasa seca.
- i = tipo de uso de la tierra convertido a otra categoría de uso de la tierra;
- 3t = año analizado año⁻¹

La ecuación 3.5 se deriva de la ecuación 2.9 de las Directrices de IPCC (2006). Calcula el incremento anual en las existencias de carbono de la biomasa debidas a las absorciones de CO₂ en áreas de tierras forestales tipo i que permanecen como tal, en año t , en t C, para su inclusión en la ecuación 3.3.

$$\Delta C_{G_{i,t}} = (\Delta A_{i,t} * G_{TOTAL_i}) * CF \quad \text{Ec. 3.5}$$

Donde:

³ En el año t se cuantifican dos tipos de superficie según su dinámica (áreas de conversión y las que permaneces después de la conversión). La superficie de otros usos de la tierra no bosque convertida a tierras forestales ($\Delta A_{A_OTRAS_{i,t}}$) se cuantifican en la ecuación 3.4, que corresponde al análisis de la superficie convertida de otros usos de la tierra no bosque a tierras forestales y se reporta en el año t .

- $\Delta C_{G_{i,t}}$ = incremento anual en las existencias de carbono de la biomasa debidas a las absorciones de CO₂ en áreas de tierras forestales tipo i que permanecen como tal, en el año t , en t C año⁻¹;
- G_{TOTAL_i} = crecimiento promedio anual de la biomasa aérea y subterránea debidas a las absorciones de CO₂ en áreas de tierras forestales tipo i que permanecen como tal, durante el periodo de referencia, en t d. m. ha⁻¹ año⁻¹;
- $\Delta A_{i,t}$ = superficie de tierras forestales tipo i que permanecen como tal uno y/o más años después de la conversión, en el año t , en ha año⁻¹;
- CF = fracción de carbono en biomasa seca, en toneladas de carbono por toneladas de biomasa seca.
- ⁴ t = año analizado año⁻¹.

La Ecuación 3.6, calcula el incremento anual en las existencias de carbono de la biomasa debidas a las absorciones de CO₂ en áreas convertidas de otros usos de la tierra a tierras forestales y áreas de tierras forestales que permanece como tal, en la modalidad Sistemas Agroforestales, la cual se basa en la ecuación global de Winrock International (2014) **The Agroforestry Tool: Underlying Data and Methods**. Este método, calcula la variable ΔC_{SAF_t} combinando la edad de la plantación (Sistema Agroforestal) con la superficie de la plantación. Actualmente para Guatemala no hay datos de IMA en Sistemas Agroforestales por lo que no fue posible utilizar la ecuación 2.9 de las Directrices de IPCC (2006).

$$\Delta C_{SAF_t} = A_{i,x} * \{65 * (1 - EXP(-0.114 * Edad)^{(1/1-0.1)})\} \quad \text{Ec. 3.6}$$

Donde:

- ΔC_{SAF_t} = incremento anual en las existencias de carbono de la biomasa debidas a las absorciones de CO₂ en áreas convertidas de otros usos de la tierra a tierras forestales tipo i y áreas de tierras forestales tipo i que permanecen como tal, en el año t , en t C año⁻¹;
- $A_{i,t}$ = Área convertida a tierras forestales tipo i y área de tierras forestales tipo i que permanece como tal uno o más años después de la conversión, en el año t , ha año⁻¹;
- $Edad$ = tiempo transcurrido desde la siembra de la plantación, en años.
- ⁵ t = año analizado año⁻¹.

La ecuación 3.7 se deriva de la ecuación 2.11 de IPCC (2006) “**Reducción Anual de las Existencias de Carbono en Biomasa en Tierras que Permanecen en la Misma Categoría de Uso de la Tierra**”. No obstante el NRF_{Aum} de Guatemala no considera la pérdida anual de biomasa por remoción de bosques (cosecha), la recogida de madera combustible (sin contar la recolección de detritos) y otras pérdidas producidas por perturbaciones, tormentas e insectos y pestes. Por lo tanto, es necesario agregar algunas consideraciones sobre la variable ΔC_{L_t} , siendo las siguientes:

- Se considera ΔC_{L_t} como cero, dado que no hay suficientes datos para contabilizar las perdidas en las existencias de carbono de la biomasa debido a la remoción de biomasa, madera-combustible y otras perturbaciones que ocurren antes de un evento de aprovechamiento. Por otro lado el periodo de referencia se extiende por diez años y los raleos o cosecha de plantaciones comúnmente ocurren después de esta edad de las plantaciones.

⁴ En el año t se cuantifican dos tipos de superficie según su dinámica (áreas de conversión y las que permaneces después de la conversión). La superficie de tierras forestales que permaneces como tal ($\Delta A_{i,t}$) se cuantifican en la ecuación 3.5, que corresponde al análisis de la superficie de tierras forestales que permanece como tal uno o más años después de la conversión, es decir el proceso acumulativo de la superficie de conversión ($\Delta A_{A,OTRAS}$), dada en el año $t-1$ (año anterior) se reporta en el año t .

⁵ En el año t se cuantifican dos tipos de superficie según su dinámica (áreas de conversión y las que permaneces después de la conversión). La superficie de tierras forestales que permaneces como tal ($\Delta A_{i,t}$) se cuantifican en la ecuación 3.5, que corresponde al análisis de la superficie de tierras forestales que permanece como tal uno o más años después de la conversión, es decir el proceso acumulativo de la superficie de conversión ($\Delta A_{A,OTRAS}$), dada en el año $t-1$ (año anterior) se reporta en el año t .

- Se consideran pérdidas anuales de biomasa producidas por incendios en el Nivel de Referencia de Emisiones Forestales de la actividad **Reducción de las emisiones debidas a la degradación forestal** ($NREF_{Deg}$).

$$\Delta C_L = L_{remoción-bosque_t} + L_{madera-combustible_t} + L_{perturbación_t} \quad \text{Ec. 3.7}$$

Donde:

- ΔC_L = reducción anual en las existencias de carbono de la biomasa debido la remoción de biomasa, madera-combustible y otras perturbaciones que ocurren antes de un evento de aprovechamiento, en el año t , en t C año⁻¹;
- $L_{remoción-bosque_t}$ = pérdida anual de carbono en la biomasa debida a remoción de bosques (cosechas), que ocurre antes de un evento de aprovechamiento, en el año t , en t C año⁻¹;
- $L_{madera-combustible_t}$ = pérdida anual de carbono en la biomasa debida a remoción de madera-combustible (sin contar la recolección de detritos), que ocurre antes de un evento de aprovechamiento, en el año t , en t C año⁻¹;
- $L_{perturbaciones_t}$ = otras pérdidas anuales de carbono en la biomasa debida a otras perturbaciones (sin contar incendios), que ocurren antes de un evento de aprovechamiento, en el año t , en t C año⁻¹;
- t = año de análisis.

4.5.2 Datos de actividad

El NRF_{Aum} considera tres tipos de datos de actividad que están representados en las siguientes variables: $\Delta A_{A_OTRAS_{i,t}}$ Ecuación 3.4, $\Delta A_{i,t}$ ecuación 3.5 y $A_{i,t}$ ecuación 3.7. Los datos de actividad provienen de la base de datos oficial de PINPEP y PINFOR, que registran el año de inicio de la plantación, área incentivada, modalidad de la plantación y coordenadas geográficas, aunque solo un porcentaje de la totalidad de los registros cuenta con el área exactamente mapeada; el resto solo cuentan con un punto de referencia. Para el NRF_{Aum} los registros fueron analizados, depurados y categorizados según la modalidad de la plantación (Reforestación y Sistemas Agroforestales) (Samudio, 2016), en la figura 7 se muestra el mapa del aumento en áreas por cada uno de los programas de incentivos para el periodo de referencia.

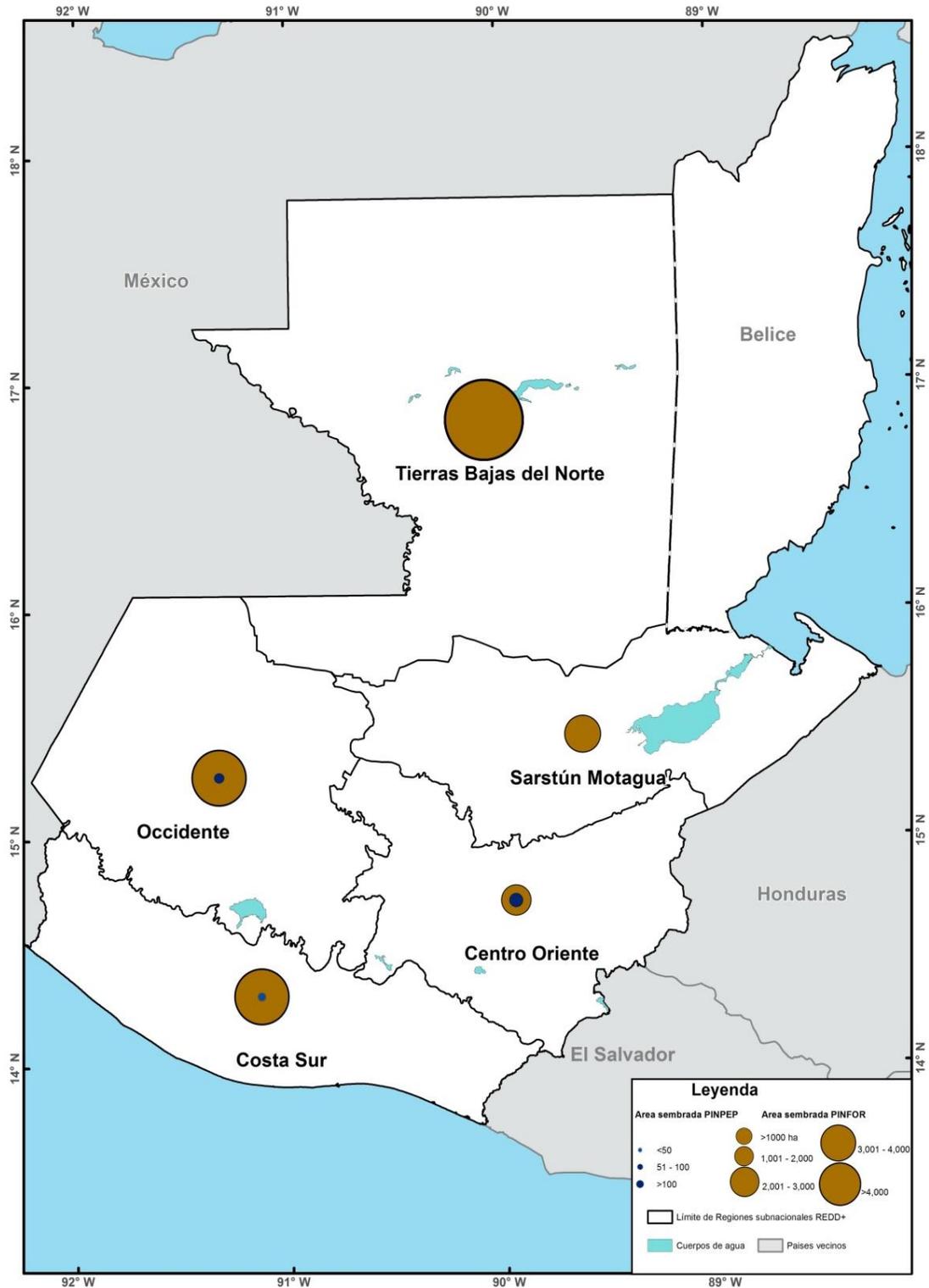


Figura 7. Mapa de hectáreas sembradas por los programas PINFOR y PINPEP por región REDD+ durante el periodo de referencia.

4.5.3 Factores de captura

Para plantaciones latifoliadas y coníferas, los valores de incremento anual neto promedio, I , fueron generados durante un estudio realizado por el Instituto Nacional de Bosques (INAB), en el cual se calcularon incrementos medios anuales (IMA) por especie usando la red de parcelas permanentes de INAB (Samudio, 2016). Para generar estimaciones robustas de los IMAs de bosques latifoliados y bosques de coníferas, se realizaron pruebas de bondad de ajuste de distribución, los mejores ajustes se obtuvieron con funciones son log-normales para bosques latifoliados y gamma para bosques de coníferas. Se hicieron simulaciones con el método de Monte Carlo para calcular las medianas de distribución finales con sus respectivas incertidumbres ya que sus distribuciones no eran normales como se indican en la tabla 6.

Tabla 6. Medianas de los factores de capturas

Factor de captura	Mediana ($m^3 ha^{-1} año^{-1}$)	Fuente
IMA en bosque latifoliado	3.43	INAB-REDD+ Samudio, 2016
IMA en bosque de conífera	7.88	

La ecuación 3.9 calcula el parámetro $BCEF_i$, combinan conversión y expansión, tienen como dimensional (t/m^3) y transforman mediante una única multiplicación el incremento anual neto directamente en crecimiento de la biomasa aérea.

$$BCEF_i = BEF_i \cdot D \quad \text{Ec. 3.9}$$

Donde:

- $BCEF_i$ = factor de conversión y expansión de biomasa para la conversión del incremento anual neto en volumen (incluyendo corteza) a crecimiento de biomasa aérea para tierras forestales tipo i , toneladas de crecimiento de biomasa (m^3 de incremento anual promedio)⁻¹;
- BEF_i = Factor de expansión de la biomasa de un tipo forestal. Este factor amplía el volumen total de biomasa aérea para compensar por los componentes no comercializables del incremento, sin dimensión;
- D = valor de densidad básica de la madera, $t m^{-3}$;

El factor de expansión de biomasa aplicable al incremento anual neto (BEF_i) expande el peso en seco del volumen venable para el incremento anual neto de los componentes no venables del árbol, la arboleda y el bosque. La GPG-UTCUTS (IPCC, 2003) suministra valores promedio de BEF_i por defecto, para Guatemala, se ha seleccionado los que corresponden a la zona climática "Tropical" para los tipos de bosque "Pino" (conífera) y "Hoja ancha" (latifoliada) como se indica en la siguiente tabla 7.

Tabla 7. Factor de expansión de biomasa BEF_i .

Tipo de Bosque	BEF_i	Fuente
Bosque latifoliado	1.50	IPCC-GPG, 2003-Cuadro 3A.1.10-Capítulo 3
Bosque de conífera	1.20	

Antes de aplicar dichos BEF_i , el volumen venable (m^3) debe convertirse a peso en seco (t), multiplicando por un factor de conversión conocido como densidad básica de la madera (D) en

(t/m³), indicados en la tabla 8. La Densidad básica de la madera es un promedio de las especies más comunes en Guatemala, según el INAB (Samudio, 2016).

Tabla 8. Densidad básica de la madera *D*

Tipo de Bosque	<i>D</i> ton/m ³	Fuente
Bosque latifoliado	0.62	INAB-REDD+ Samudio, 2016
Bosque de conífera	0.61	

Como alternativa para estimar el crecimiento de la biomasa subterráneas, las Directrices IPCC (2006), suministran valores por defecto de las relaciones biomasa subterránea/biomasa aérea (*R*). Para Guatemala, se han seleccionado los que corresponden a la zona climática “Tropical” para los tipos de bosque “Bosque Tropical Seco” (Costa Sur y Centro Oriente) y “Bosque Tropical Húmedo” (Occidente, Sarstún Motagua, Tierras Bajas del Norte). Los valores por defecto se presentan en el tabla 9.

Tabla 9. Relación entre la biomasa subterránea y la aérea *R*

Tipo de Bosque	Regiones Subnacionales REDD+	<i>R</i>	Fuente
Bosque Tropical Seco	Costa Sur	0.275	Mokany et al., 2006- Tabla 2-Pag 84-96
	Centro Oriente		
Bosque Tropical Húmedo	Occidente	0.205	
	Sarstún Motagua		
	Tierras Bajas del Norte		

Capítulo 3

5. Niveles de Referencia Para Guatemala NREF/NRF

5.1 Deforestación

Las emisiones totales de CO₂e a nivel nacional son de 44,983,335 tCO₂e al año de las cuales el 50.97% corresponde a la región de Tierras Bajas del Norte seguida de las regiones Occidente (17.80%) y Sarstún - Motagua (14.28%) siendo los 3 valores más altos a nivel nacional. La tabla 10 presenta los valores de emisiones de CO₂e anuales por región durante el periodo de referencia para la actividad de deforestación.

Tabla 10. *NREF_{Def}* Por región (Conversión de tierras + Incendios Forestales)

Deforestación por Región Período 2001-2010	Área ha	Emisiones CO ₂ (tCO ₂ e año ⁻¹)	Emisiones gases no-CO ₂ (tCO ₂ e año ⁻¹)	Emisiones totales (tCO ₂ e año ⁻¹)	Porcentaje %
Costa Sur	7,382	2,622,576	17,145	2,639,720	5.87%
Centro - Oriente	12,500	4,961,159	21,832	4,982,992	11.08%
Sarstún Motagua	17,151	6,380,921	42,793	6,423,715	14.28%
Occidente	20,996	7,991,101	15,758	8,006,859	17.80%
Tierras Bajas del Norte	57,763	22,137,630	792,419	22,930,049	50.97%
Total	115,792	44,093,388	889,948	44,983,335	100%

Las regiones Centro-Oriente y la Costa Sur aporten el 11.08 y 5.87% de las emisiones de CO₂e del total nacional. En el siguiente grafico pueden visualizarse las emisiones debidas a la deforestación para el periodo de referencia para cada una de las cinco Regiones.

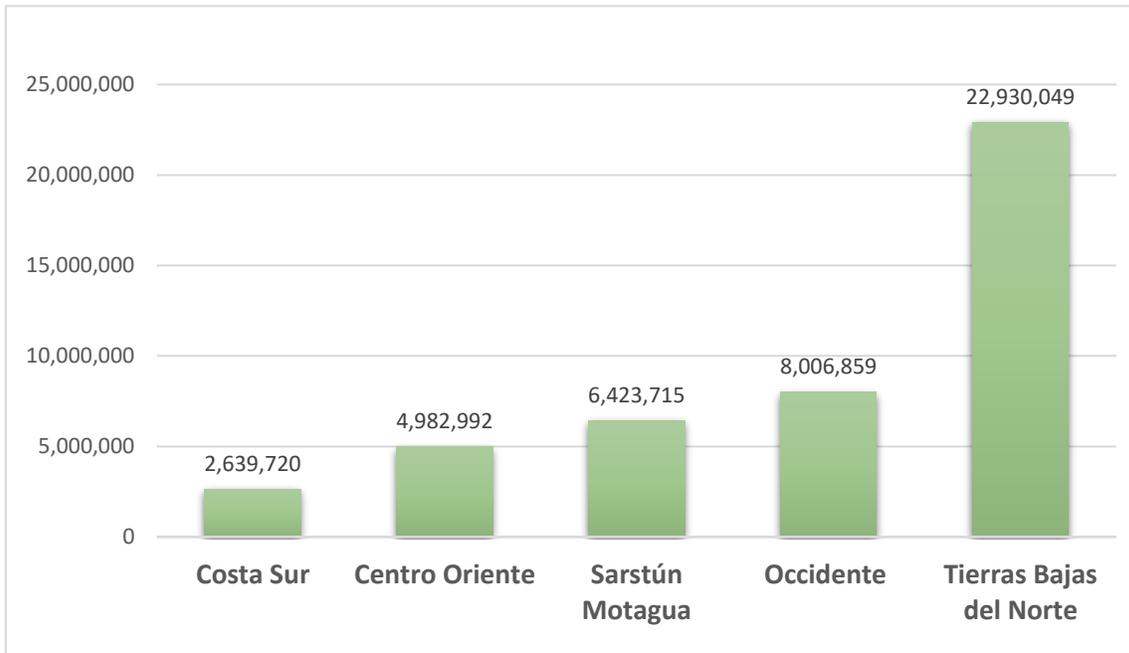


Figura 8. Emisiones por deforestación en (tCO₂e) en las regiones REDD+

La tabla 11 representa la dinámica de emisiones por categoría de conversión (Bosque a Otros Usos No Bosque), el 97.45% corresponde a la categoría de Tierras Forestales a Tierras Agrícolas lo cual representa 42,970,368 tCO₂e al año durante el periodo de referencia.

Tabla 11. *NREF_{Def}* Por conversión de tierras forestales (2001-2010)*

Conversión de Tierras Forestales	Área ha	Emisiones CO ₂ (tCO ₂ e año ⁻¹)	Porcentaje %
Tierras Forestales → Otras Tierras	95	41,416	0.09%
Tierras Forestales → Asentamientos	206	87,415	0.20%
Tierras Forestales → Hule	687	128,998	0.29%
Tierras Forestales → Palma	1,648	313,501	0.71%
Tierras Forestales → Café	1,893	551,690	1.25%
Tierras Forestales → Tierras Agrícolas	111,261	42,970,368	97.45%
Total	115,792	44,093,388	100%

*No se incluyen las emisiones de gases no-CO₂ en esta tabla, ya que sólo el 2% del total de las emisiones por deforestación provocado por incendios está compuesto de éstas, y por lo tanto, no son significantes.

5.2 Degradación

Los incendios forestales causaron emisiones de más de **4.45 millones de toneladas de CO₂e por año** en áreas de bosque durante el periodo de referencia. La región de Tierras Bajas del Norte fue la que presentó más emisiones con el 89.43% de las emisiones totales (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.2 y ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Tabla 12. Emisiones por incendios forestales por región durante el período de referencia

Degradación por región Período 2001-2010	ha ^{-año}	tCO ₂ eq-año	tCO ₂ eq-año (CH ₄)	tCO ₂ eq-año (N ₂ O)	Emisiones T	Porcentaje %
Costa Sur	383.1	19,623.1	2,364.7	658.2	22,646.1	0.51%
Occidente	3,505.4	171,347.3	20,648.4	5,747.7	197,743.4	4.44%
Centro - Oriente	1,886.2	102,098.0	12,303.5	3,424.8	117,826.3	2.64%
Tierras Bajas del Norte	62,570.6	3,452,264.4	416,019.7	115,803.8	3,984,087.9	89.43%
Sarstún Motagua	2,252.4	115,075.4	13,867.3	3,860.1	132,802.8	2.98%
Promedio	70,597.7	3,860,408.2	465,203.6	129,494.7	4,455,106.6	100%

*Las emisiones de gases no-CO₂, son convertidas a CO₂e para la sumatoria de emisiones totales.



Figura 9. Emisiones en (t CO₂e) por degradación por incendios por región

De los años de análisis del periodo de referencia para todo el país, el 2003 es el año donde más emisiones se emitieron producto de la degradación con 12.5 millones de toneladas de CO₂e ver (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.10**).

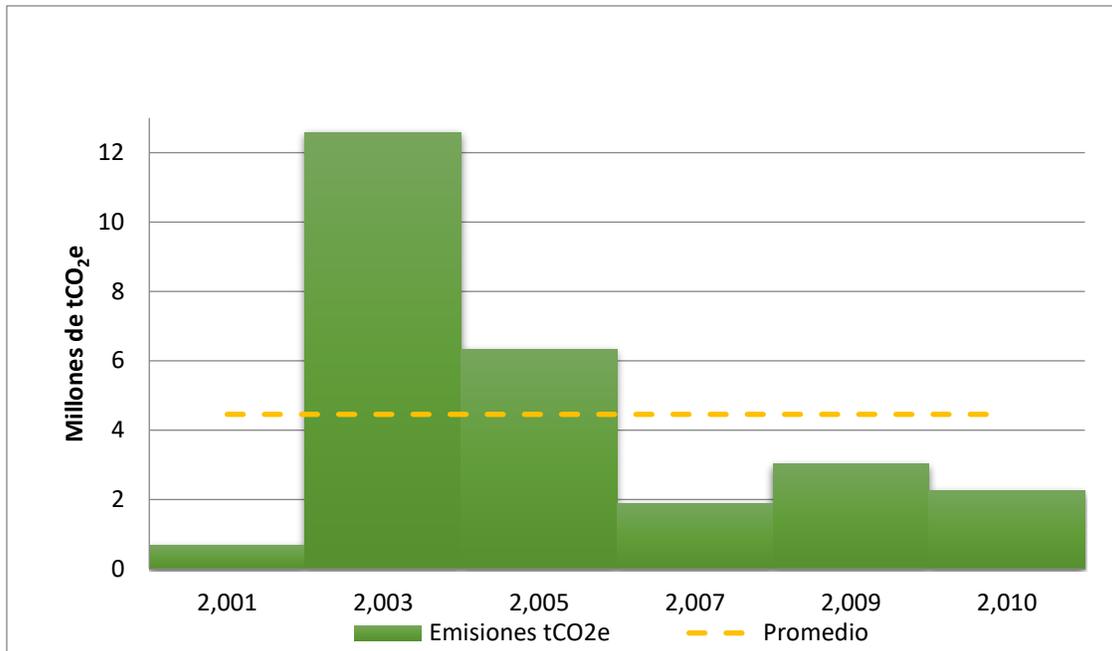


Figura 10. Emisiones de incendios forestales por año durante el periodo de referencia. Solamente existen datos para 2001, 2003, 2005, 2007, 2009 y 2010.

De los tres gases contabilizados, el dióxido de carbono (CO₂) representó el 86.65% de las emisiones, mientras el metano (CH₄) representó el 10.44% y el dióxido de Nitrógeno (N₂O) con el 2.91% del total nacional ver (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.3).

Tabla 13. Emisiones de incendios por gas de efecto invernadero para el período de referencia

GEI	Emisiones (tCO ₂ e año ⁻¹)	% emisiones
CO ₂	3,860,408.2	86.65%
CH ₄	465,203.6	10.44%
N ₂ O	129,494.7	2.91%
TOTAL	4,455,106.6	100.00%

5.3 Aumentos de existencias

El aumento de existencias en las áreas de bosque sembradas por los programas de incentivos PINFOR y PINPEP resultó en **capturas de 39.89 miles de toneladas de CO₂e por año** durante el periodo de referencia. El 41.09% de los aumentos vienen de la región Tierras Bajas del Norte, mientras el 26.45% vienen de Occidente y el 16.97% de Costa Sur ver (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.4).

Tabla 14. Capturas de carbono por aumentos por región para el período de referencia

Aumentos por Región Período 2001-2010	Área promedio de aumentos anual (ha año ⁻¹)	Promedio de aumentos (tCO ₂ e año ⁻¹)	Porcentaje %
Centro Oriente	113.19	-4,085.59	10.24%
Costa Sur	378.71	-6,768.00	16.97%
Occidente	343.86	-10,550.13	26.45%
Sarstún Motagua	132.25	-2,095.55	5.25%
Tierras Bajas del Norte	1,026.94	-16,394.22	41.09%
Total	1,994.95	-39,893.49	100.00%

Las regiones Centro-Oriente y Sartun Motagua reportan capturas del 10.24 y 5.25% de CO₂e del total nacional, puede visualizarse las emisiones por deforestación para el periodo de referencia para cada unas de las cinco subregiones ver (figura 11).

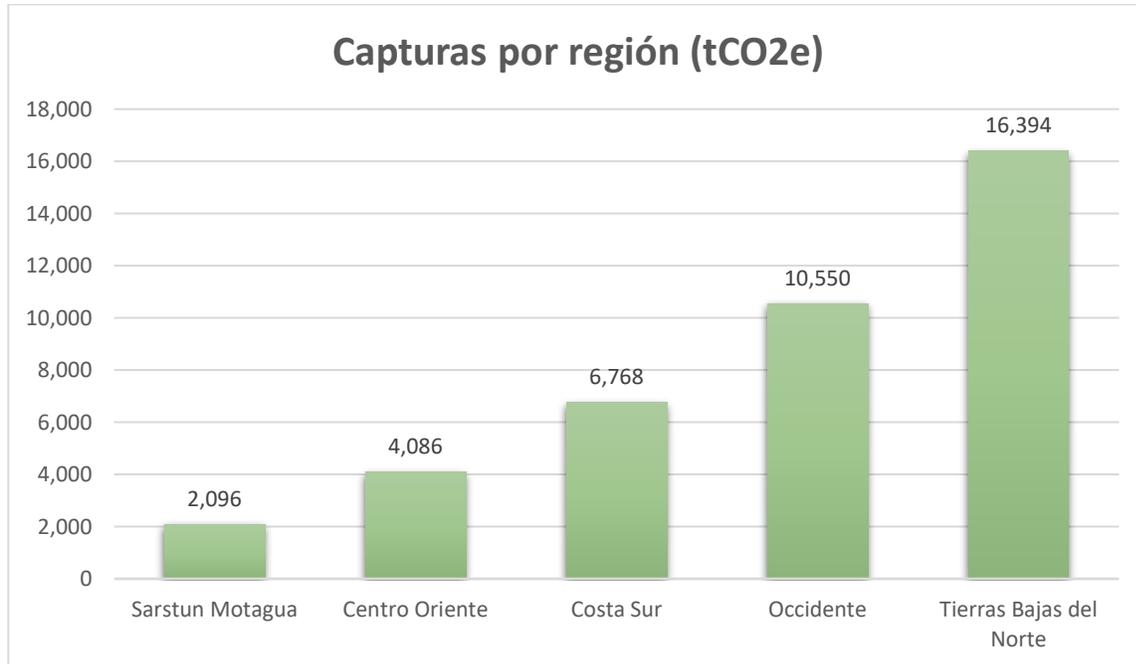


Figura 11. Aumentos de existencias (tCO₂e) por región

De los dos programas de incentivos forestales que son tomados en cuenta para el análisis del nivel de referencia de aumentos; el Programa de Reforestación PINFOR, represento el 91% de las capturas de existencias durante el periodo de referencia (Tabla 155).

Tabla 15. Área sembrada y aumentos por programa de incentivo forestal

Región REDD+	Área de aumentos (ha) PINFOR	Capturas tCO ₂ e/año PINFOR	Área de aumentos (ha) PINPEP	Capturas tCO ₂ e/año PINPEP	Promedio de aumentos (tCO ₂ e año ⁻¹)
Costa Sur	378.35	-6,760.93	0.35	- 7.07	-6,768.00
Occidente	302.67	-9,223.85	41.20	-1,326.29	-10,550.13
Oriente	76.94	-1,813.70	36.25	-2,21.89	-4,085.59
Sarstún Motagua	132.25	-2,095.55	0	0	-2,095.55
Tierras Bajas del Norte	1,026.94	-16,394.22	0	0	-16,394.22
Total	1,917.15	-36,288.24	77.80	-3,605.25	-39,893.49

5.4 NREF/NRF regionales

Cada región tiene un perfil distinto de emisiones y capturas de GEI, pero en todas domina la deforestación (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.6**). En Costa Sur, las emisiones por deforestación representan el 99.40% de los flujos de GEI (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.2**), en Centro Oriente y Sarstún-Motagua representan el 97.77 y el 98.01% respectivamente (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), en Occidente el 97.72% (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) y en Tierras Bajas del Norte el 85.25% (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Tabla 16. Flujo anual de todas las actividades en cada región

Niveles de referencia regionales			
Región	Actividad REDD+	Flujo anual (tCO ₂ e año ⁻¹)	% de flujo total
Centro Oriente	$NREF_{Def}$	4,982,992	97.77%
	$NREF_{Deg}$	117,826.3	2.31%
	NRF_{Aum}	-4085.59	-0.08%
	$NREF/NRF$	5,096,733	100%
Costa Sur	$NREF_{Def}$	2,639,720	99.40%
	$NREF_{Deg}$	22,646.1	0.85%
	NRF_{Aum}	-6768.00	-0.25%
	$NREF/NRF$	2,655,598	100%

Occidente	$NREF_{Def}$	8,006,859	97.72%
	$NREF_{Deg}$	197,743.4	2.41%
	NRF_{Aum}	-10550.13	-0.13%
	$NREF/NRF$	8,194,052	100%
Sarstún Motagua	$NREF_{Def}$	6,423,715	98.01%
	$NREF_{Deg}$	132,802.8	2.03%
	NRF_{Aum}	-2095.55	-0.03%
	$NREF/NRF$	6,554,422	100%
Tierras Bajas del Norte	$NREF_{Def}$	22,930,049	85.25%
	$NREF_{Deg}$	3,984,087.9	14.81%
	NRF_{Aum}	-16394.22	-0.06%
	$NREF/NRF$	26,897,743	100%
Total Nacional	$NREF_{Def}$	44,983,335	91.06%
	$NREF_{Deg}$	4,455,106.5	9.02%
	NRF_{Aum}	-39,893	-0.08%
	$NREF/NRF$	49,398,548	100.00%

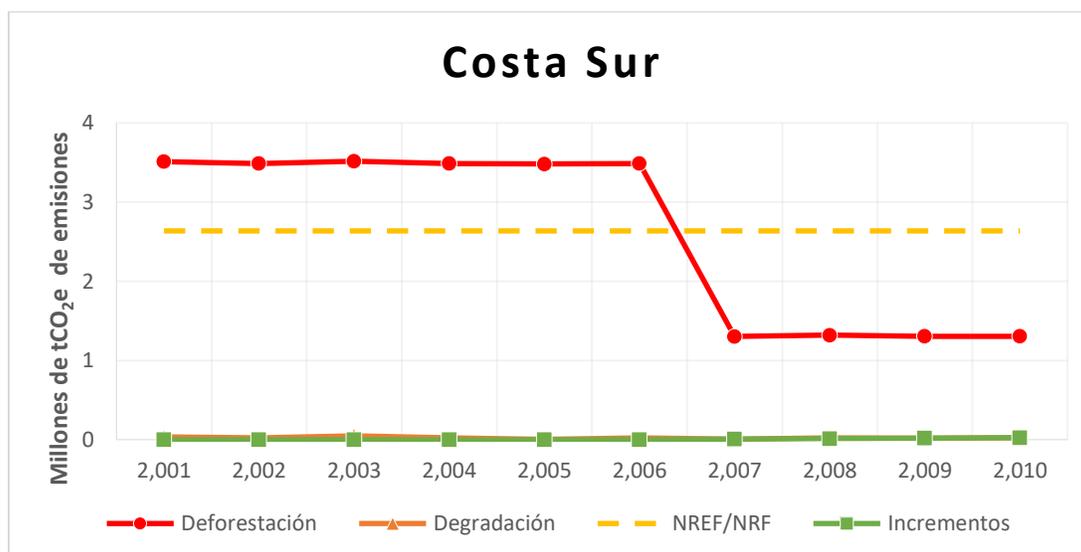


Figura 12. Emisiones por año en la región Costa Sur durante el periodo de referencia y el nivel de referencia promedio resultante.

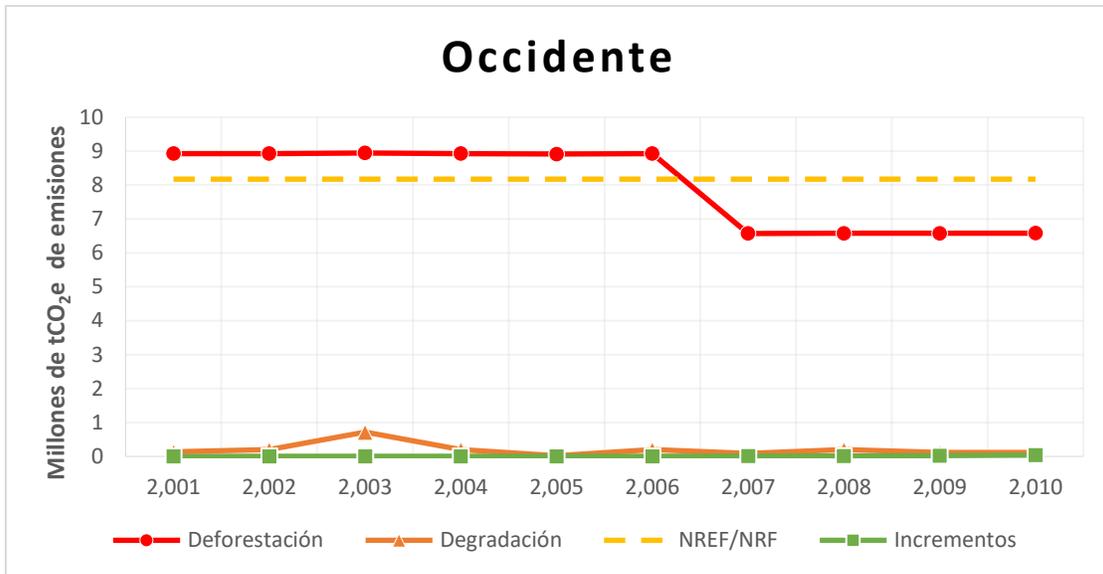


Figura 13. Emisiones por año en la región Occidente durante el periodo de referencia y el nivel de referencia promedio resultante.

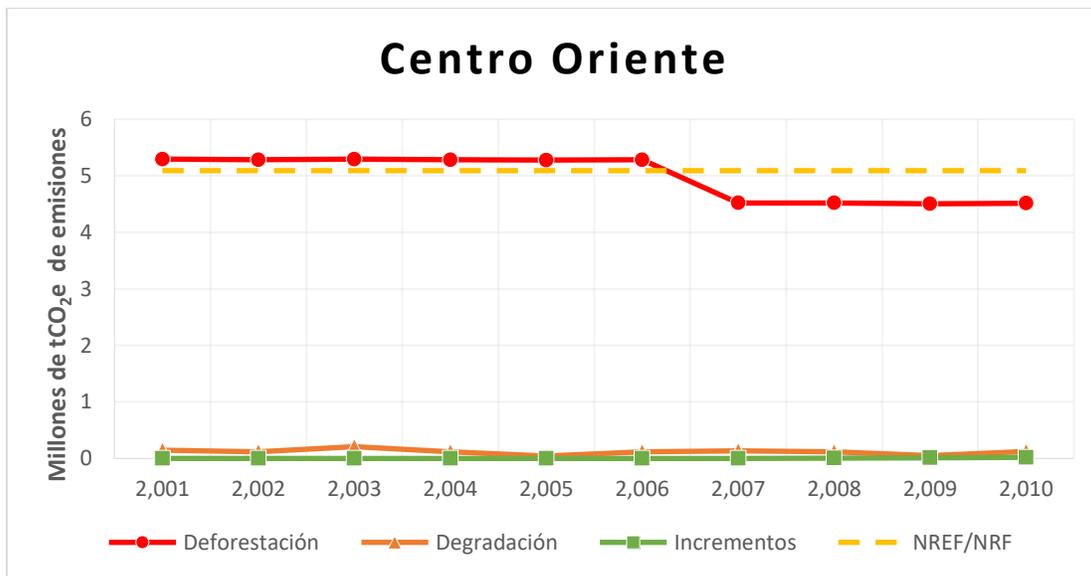


Figura 14. Emisiones por año en la región Centro Oriente durante el periodo de referencia y el nivel de referencia promedio resultante.

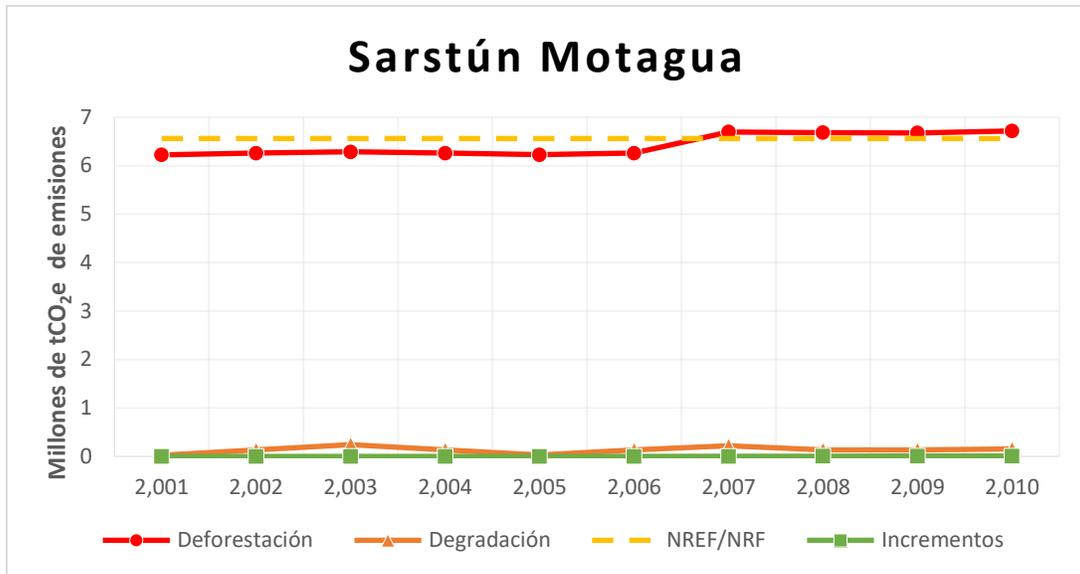


Figura 15. Emisiones por año en la región Sarstún-Motagua durante el periodo de referencia y el nivel de referencia promedio resultante.

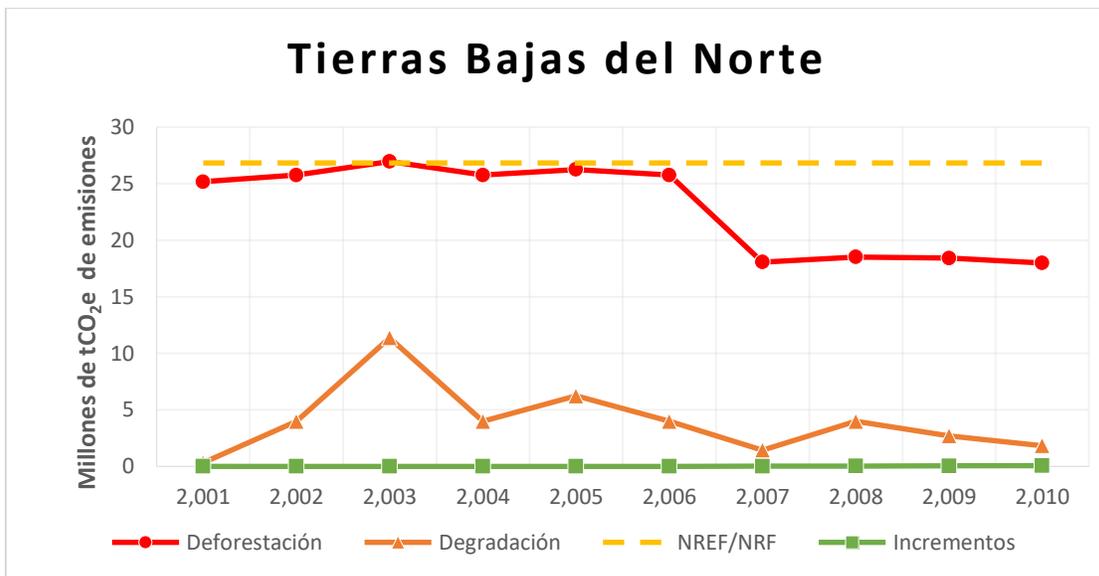


Figura 16. Emisiones por año en la región Tierras Bajas del Norte durante el periodo de referencia y el nivel de referencia promedio resultante.

5.5 NREF/NRF nacional

En el total del territorio nacional la deforestación representa el 91.06% del flujo total con un total de 44.9 millones de toneladas de CO₂e emitidas por año, mientras la degradación por incendios representa el 9.02% con un total de 4.4 millones de toneladas de CO₂e emitidas por año, y aumentos de 0.08% con un total de 0.39 millones de toneladas de CO₂e capturadas por año (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.7 y ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.). En suma, el NREF/NRF de Guatemala resulta en un flujo neto de emisiones equivalente a 49.398 millones de toneladas de CO₂e por año, que sirve como el promedio histórico anual para Guatemala.

Tabla 17. Flujo de GEI por actividad REDD+ a nivel nacional

Actividad REDD+	NREF/NRF (tCO ₂ e año ⁻¹)	% de emisiones
NREF Deforestación	44,983,335.2	91.06%
NREF Degradación	4,455,106.6	9.02%
NREF Aumentos	-39,893.5	-0.08%
NREF/NRF	49,398,548.3	100%

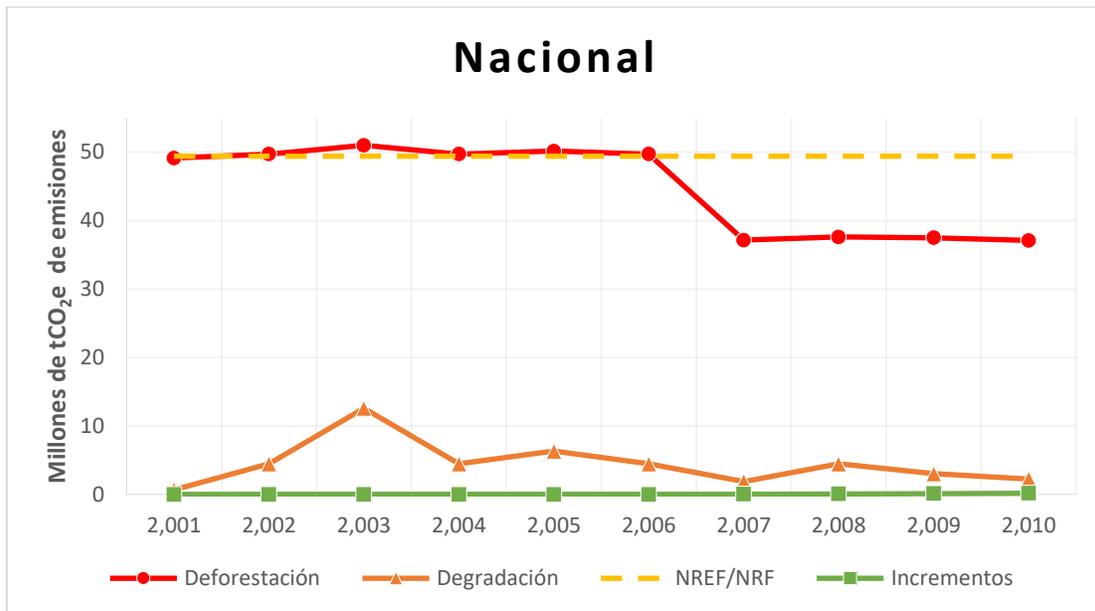


Figura 17. Emisiones por año en el país entero durante el periodo de referencia y el nivel de referencia promedio resultante

De todas las regiones, Tierras Bajas del Norte tiene el mayor aporte en el nivel de referencia nacional con el 54.4% de emisiones (deforestación más degradación) y el 41% de aumentos. La región Occidente también tiene bastante impacto con el 17% de emisiones y el 27% de aumentos (Tabla 18)

Tabla 18. Emisiones y aumentos anuales por región durante el periodo de referencia

Región REDD+	<i>NREF def/deg</i> (tCO ₂ e año ⁻¹)	<i>NRF Aum</i> (tCO ₂ e año ⁻¹)	<i>NREF/NRF</i> (tCO ₂ e año ⁻¹)
Centro Oriente	5,100,818	-4,085.59	5,096,733
Costa Sur	2,662,366	-6,768.00	2,655,598
Occidente	8,204,602	-10,550.13	8,194,052
Sarstún Motagua	6,556,518	-2,095.55	6,554,422
Tierras Bajas del Norte	26,914,137	-16,394.22	26,897,743
Total	49,438,442	-39,893.49	49,398,548

6. Análisis de Incertidumbre

6.1 Enfoque general

Para calcular la incertidumbre de las estimaciones de las emisiones y capturas, se aplicó el Método 2: Simulación de Monte Carlo, descrito en el Capítulo 3 de Incertidumbres del IPCC (2006). En un análisis de Monte Carlo, se simulan valores aleatorios sobre la base de las funciones de densidad de probabilidad (FDP) de los datos de interés. Después se ingresa cada simulación en las ecuaciones identificadas en las secciones de metodología de las diferentes actividades de REDD+ para generar distribuciones de probabilidad de las emisiones finales.

Esta simulación de valores aleatorios permite la estimación de la probabilidad de un valor como función de las distribuciones de los datos insumos. Según el IPCC (2006), este método se considera más robusto y preciso que el Método 1: Propagación de Errores bajo ciertas condiciones, incluyendo cuando las incertidumbres son grandes y cuando sus distribuciones de probabilidad no son Gaussianas (es decir normales).

Para aplicar el método de Monte Carlo, se corrieron 10,000 simulaciones para cada iteración del modelo, o dato estimado. Cuando ya se habían generado las distribuciones finales de las emisiones/capturas en cada actividad, se calcularon los intervalos de confianza. Para los datos con distribuciones no normales, se realizaron análisis de bootstrapping (Efron, 1993), el cual es un método para determinar el intervalo de confianza (en este caso, del 95%) de la métrica de tendencia central para distribuciones no normales. Después se dividió la mitad del intervalo de confianza entre la media o la mediana y se multiplicó el resultado por 100 para identificar la incertidumbre como porcentaje.

6.2 Deforestación

Las fuentes de incertidumbre en las estimaciones de las emisiones de deforestación incluyen las siguientes:

- 1) Datos de actividad
 - a. Errores en el mapeo de cambio de uso de suelo de los mapas de dinámica forestal de los años 2001, 2006, y 2010.
- 2) Factores de emisión
 - a. Errores de muestreo de las parcelas de los varios inventarios forestales usados para estimar los contenidos de carbono en los diferentes estratos forestales;
- 3) Contenidos de carbono de usos del suelo después de la deforestación
 - a. El rango de error para el contenido de carbono en la biomasa de tierras de cultivo anual de la Tabla 5.9 del IPCC (2006), se utilizó para tierras agrícolas.
 - b. El rango de error para el contenido de carbono de biomasa aérea en sistemas de cultivo que contienen especies perennes, se utilizó para plantaciones de Palma

Africana y hule.

- c. El rango de error de sistemas agroforestales de café se generó a partir de las desviaciones estándares de los contenidos de carbono de biomasa aérea y biomasa subterránea del estudio nacional ANACAFE (1998).

Puesto que las estimaciones del contenido de carbono eran de 0 para asentamientos y otras tierras, no se estimó su incertidumbre. A continuación, se explica cómo se calcularon las incertidumbres de estas diferentes categorías y de las emisiones finales de deforestación.

6.2.1 Datos de actividad

Para estimar la incertidumbre de los cambios de uso de suelo de los mapas de dinámica forestal, se empleó la metodología de Olofsson et al. (2014). Con esta metodología, se calculó el error estándar del área estimada de deforestación en cada región en los dos periodos de cambio: 2001-2006 y 2006-2010 (Tabla 199). Sobre la base de las estimaciones de área deforestada y los errores estándares como porcentaje, se corrieron 10,000 simulaciones de Monte Carlo para cada subclase de deforestación asumiendo distribuciones normales.

Tabla 19. Errores estándares e incertidumbres de las áreas estimadas de deforestación en cada periodo de cambio en cada región

Región	Periodo de cambio	Área deforestada estimada (en hectáreas)	Error estándar (en hectáreas)	Error estándar como porcentaje del área estimada	% de incertidumbre*
Costa Sur	2001-2006	34,871	2,137	6.13%	12.01%
	2006-2010	28,295	1,734	6.13%	12.01%
Occidente	2001-2006	89,119	5,094	5.72%	11.20%
	2006-2010	65,986	4,109	6.23%	12.20%
Oriente	2001-2006	66,828	2,156	3.23%	6.32%
	2006-2010	57,208	1,781	3.11%	6.10%
Sarstún Motagua	2001-2006	75,113	3,069	4.14%	8.12%
	2006-2010	84,995	2,392	2.81%	5.52%
Tierras Bajas del Norte	2001-2006	327,176	8,184	2.50%	4.90%
	2006-2010	162,877	3,909	2.40%	4.70%

*Los porcentajes de incertidumbre son iguales para cada subclase de cambio dentro de cada región y periodo de cambio.

6.2.2 Factores de emisión

La fuente de incertidumbre para los factores de emisión de los estratos forestales es el error de muestreo de las parcelas de los varios inventarios forestales usados. Como fue explicado en el apartado anterior del enfoque general, se corrieron simulaciones de Monte Carlo para calcular los factores de emisión en diferentes estratos forestales que consistían en datos de una variedad de tamaños de parcelas para tomar en cuenta las formas diferentes de las distribuciones de los datos de parcela. Seguidamente se realizó un análisis de bootstrapping para identificar el porcentaje de incertidumbre y la existencia de carbono, identificada como la mediana de las distribuciones finales de las simulaciones de Monte Carlo (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.20**).

Tabla 20. Existencias de carbono y su incertidumbre

Estrato	Existencia de carbono (tC/ha)	% de Incertidumbre
Estrato Forestal I	122.1	0.30%
Estrato Forestal II	101.7	1.12%
Estrato Forestal III	97.1	0.92%
Estrato Forestal IV	125.2	0.92%

a. **Contenidos de carbono de usos del suelo después de la deforestación**

Para estimar la incertidumbre del contenido de carbono de tierras agrícolas, plantaciones de Palma Africana y hule obtenidas del IPCC (2006), se utilizaron los rangos de error proporcionados de +75%, equivalente a dos veces la desviación estándar. Se realizaron 10,000 simulaciones de Monte Carlo, asumiendo una distribución normal y se calcularon los intervalos de confianza del 95% y el porcentaje de incertidumbre resultante (Tabla 211).

Tabla 21. Existencias de carbono en usos de suelo no forestales y sus incertidumbres

Uso de suelo	Existencia de carbono (tC/ha)	% de incertidumbre
Tierras Agrícolas	5.00	1.96%
Asentamientos	0	No aplica
Café	28.4	1.34%
Hule	50.00	1.96%
Palma Africana	50.00	1.96%
Otras Tierras	0.00	No aplica

6.2.3 Emisiones de CO2 por deforestación

Se incluyen las simulaciones de Monte Carlo de los varios datos de insumos en las ecuaciones para calcular la incertidumbre de CO2 de deforestación. La incertidumbre total para estas emisiones en el país es del 3.35% (Tabla 222).

Tabla 22. Incertidumbre de las emisiones de CO2e por deforestación

Región REDD+	Emisiones (tCO2año)	Incertidumbres
Costa Sur	2,622,575.71	4.48%
Occidente	7,991,101.16	4.60%
Centro - Oriente	4,961,159.40	3.15%
Tierras Bajas del Norte	22,137,629.93	1.57%
Sarstún Motagua	6,380,921.46	2.94%
Total	44,093,387.7	3.35%

6.3 Degradación

Las fuentes de incertidumbre en las estimaciones de las emisiones de incendios forestales son las siguientes:

- 1) Datos de actividad
 - a. Errores en los mapas de áreas quemadas para los años de 2001, 2003, 2005, 2007, 2009, 2010 generados con imágenes de satélites de Landsat.
- 2) Factores de emisión y combustión
 - a. Errores de muestreo de las parcelas de los varios inventarios forestales usados para estimar los contenidos de carbono en los diferentes estratos forestales, y, por lo tanto, la biomasa disponible para quema;
 - b. El error de muestreo del estudio (Pinelo, 2001) usado para calcular el factor de combustión de degradación.
 - c. Las desviaciones estándares, disponibles en las Tablas 2.5 y 2.6 del IPCC, para el factor de combustión de degradación y los factores de emisión de CO₂ y CH₄.

6.3.1 Datos de actividad

Igual que para los datos de actividad de deforestación, se empleó la metodología de Olofsson et al. (2014) para estimar el error de los mapas de incendios forestales. Se calculó el error estándar del área quemada estimada en todo el país durante el periodo de referencia (Tabla 23). Se aplicó este error estándar a las áreas quemadas estimadas de cada estrato y región.

Tabla 23. Errores estándares e incertidumbre del área estimada de incendios en cada periodo de cambio en cada región

Área quemada estimada (en hectáreas) por el método Olofsson	Error estándar (en hectáreas)	Error estándar como porcentaje del área estimado	incertidumbre
5,382	406	7.5%	14%

Fuente: Rivas et al. (2017)

6.3.2 Factores de emisión y combustión

Los factores de emisión utilizados fueron los contenidos de carbono estimados en los estratos de carbono, tal como se utilizaron para los factores de emisión por deforestación, como se explica en la sección anterior sobre la incertidumbre de deforestación de CO₂. En la siguiente tabla se presentan las incertidumbres en la existencia de carbono por estratos ver tabla 24.

Tabla 24. Existencias de carbono y su incertidumbre

Estrato	Existencia de carbono (tC/ha)	Incertidumbre
Estrato Forestal I	122.1	0.30%
Estrato Forestal II	101.7	1.12%
Estrato Forestal III	97.1	0.92%
Estrato Forestal IV	125.2	0.92%

Para el factor de combustión para degradación se utilizó el promedio de la pérdida de biomasa en las 4 parcelas del estudio de Pinelo (2001), se corrieron las simulaciones de Monte Carlo asumiendo una distribución normal. Igual, para el factor de combustión de deforestación y los factores de CO₂ y CH₄ se asumieron distribuciones normales. No era posible estimar la incertidumbre para el factor de N₂O porque no había una métrica de error para el factor en el IPCC (2006), la siguiente tabla presenta las incertidumbres en los factores de combustión y emisión, ver tabla 25.

Tabla 25. Incertidumbre Factores de combustión (C_f) y de emisión (G_{ef})

Factor	Existencia de carbono (tC/ha)	% de incertidumbre
Factor de combustión – degradación*	0.14	2.26%
Factor de combustión - deforestación	0.36	0.71%
Factor de emisión – CO₂	1580	0.11%
Factor de emisión – CH₄	6.8	0.58
Factor de emisión – N₂O	0.2	No aplica

* El factor de combustión para degradación se calculó como la media del porcentaje de la biomasa quemada en las cuatro parcelas de Pinelo (2001).

6.3.3 Emisiones de incendios

Las incertidumbres de emisiones de incendios que causan deforestación y degradación se encuentran en la Tabla 266 y la Tabla 277. La incertidumbre de emisiones de no-CO₂ de incendios causando deforestación es el 0.76% y la incertidumbre de las emisiones de incendios causando degradación es el 5.77%.

Tabla 26. Incertidumbre de las emisiones de no-CO₂ de incendios causando por deforestación

Región	Emisiones No CO ₂ (tCO ₂ e año ⁻¹)	% de incertidumbre
Costa Sur	17,145	0.88%
Occidente	15,758	0.68%
Oriente	21,832	0.72%
Tierras Bajas del Norte	792,419	0.76%
Sarstún Motagua	42,793	0.75%
Total País	889,948	0.76%

Tabla 27. Incertidumbre de las emisiones de incendios causando por degradación

Región	Emisiones CO ₂ (tCO ₂ e año ⁻¹)	% de incertidumbre
Oriente	117,826.3	5.47%
Costa Sur	22,646.1	4.90%
Occidente	197,743.4	6.49%
Sarstún Motagua	132,802.8	4.86%
Tierras Bajas del Norte	3,984,087.9	7.12%
Total País	4,455,106.6	5.77%

6.3.4 Incertidumbre total de deforestación

Para calcular su incertidumbre se sumó las simulaciones de Monte Carlo de las emisiones de CO₂ y las de las emisiones de gases no-CO₂ (es decir CH₄ y N₂O) de deforestación para tener la distribución de probabilidad final de deforestación. La incertidumbre como porcentaje de deforestación es el 3.67% como se muestra en la Tabla 288.

Tabla 28. Incertidumbre de las emisiones totales por deforestación

Región	Emisiones totales de deforestación (tCO ₂ e año ⁻¹)	% de incertidumbres
Costa Sur	2,639,720.48	4.43%
Occidente	8,006,859.24	4.71%
Oriente	4,982,991.75	3.04%
Tierras Bajas del Norte	22,930,049.05	0.82%
Sarstun Motagua	6,423,714.70	5.33%
Total	44,983,335	3.67%

6.4 Aumentos de contenidos de carbono forestal

Las fuentes de incertidumbre en las estimaciones de las capturas de aumentos incluyen las siguientes:

- 1) Datos de actividad
 - a. El error del área reportada bajo los programas PINPEP y PINFOR, calculado a través de un ejercicio de validación utilizando imágenes de Google Earth y ortofotos 2006.
- 2) Factores de captura
 - a. Con respecto a los incrementos medios anuales, la fuente de incertidumbre es de los errores de muestreo de las parcelas permanente de medición forestal monitoreadas por el INAB.
 - b. La incertidumbre de las capturas en sistemas agroforestales proviene del error de la ecuación desarrollada por Winrock International (2014).
 - c.

6.4.1 Datos de actividad

Para estimar la incertidumbre de las áreas reportadas bajo los programas de PINPEP y PINFOR, se realizó un ejercicio de validación del área reportada bajo los programas PINPEP y PINFOR utilizando imágenes Google Earth para verificar la precisión de estas áreas (Samudio-Santos 2016). En el ejercicio se eligió aleatoriamente varias plantaciones georreferenciadas de la base de datos de PINPEP y PINFOR para ser validadas, comparando el área de la plantación reportada con el área verificada en imágenes del Google Earth. Los errores fueron estimados sobre la base de la porción del área de la plantación reportada que fue verificada en Google Earth. Se estandarizaron los errores para que todos se ubiquen entre -1 y 1. En esta estandarización, el

valor de 0 representa el área original reportada dado que a veces el área verificada fue menor o mayor que el área reportada.

Asumiendo que tenían distribuciones normales, se calcularon las desviaciones estándares de las áreas reportadas para las diferentes categorías de aumentos, basadas en el ejercicio de validación (Tabla 29).

Tabla 29. Desviaciones estándares estandarizadas para las diferentes modalidades y tipo de bosque

Categoría de aumento	Desviación estándar estandarizada
PINFOR - Bosques latifoliados	0.09
PINFOR - Bosques de coníferas	0.23
PINPEP - Bosques latifoliados	0.13
PINPEP - Bosques de coníferas	0.23
PINPEP – Sistema Agroforestal	0.20

Después se aplicaron estas desviaciones estándares para realizar simulaciones de Monte Carlo para las áreas estimadas de aumentos en cada año en estas categorías.

6.4.2 Factores de Captura

Como se explica en la Sección 4 en el enfoque general sobre factores de captura, para generar estimaciones robustas de los IMAS de bosques latifoliados y bosques de coníferas, se corrieron simulaciones de Monte Carlo basadas en las FDPs mejor ajustadas a los datos originales. Se realizaron análisis de bootstrapping para identificar el porcentaje de incertidumbre de estos valores ver tabla 30.

Tabla 30. Medianas de los factores de capturas y porcentaje de incertidumbre

Factor de captura	Mediana ($m^3 ha^{-1} año^{-1}$)	% de incertidumbre
IMA en bosque latifoliado	3.43	2.77%
IMA en bosque de conifera	7.88	1.59%

Con respecto a la ecuación usada para calcular aumentos anuales de sistemas agroforestales, según el informe original (Winrock International, 2014), la incertidumbre de la ecuación original es entre el 20% y el 60%. Para identificar la distribución de probabilidad de los resultados de esta ecuación, se usó la media de este rango de incertidumbre, el 40%. Ya que estos valores se basan en opiniones de expertos, se asumió que la FDP era triangular, según recomendaciones del IPCC sobre cómo calcular incertidumbre de opiniones de expertos (IPCC, 2006).

Se aplicó esta metodología a estimar la incertidumbre de aumentos en sistemas agroforestales para cada año de crecimiento durante el periodo de referencia. Sólo había un máximo de 4 años de crecimiento de sistemas agroforestales durante el periodo en las regiones Occidente y Oriente, como se muestra en la tabla 31.

Tabla 31. Aumentos en diferentes años desde que se establece el sistema forestal y sus incertidumbres según la ecuación de Winrock International (2014)

Año	Mediana (tC ha ⁻¹)	% de incertidumbre
1	5.47	0.31%
2	11.11	0.32%
3	16.41	0.32%
4	21.29	0.32%

6.4.3 Capturas de aumentos

De las distribuciones finales de Monte Carlo, la incertidumbre de las capturas de aumentos en el país es el 2.6% ver tabla 32.

Tabla 32. Incertidumbre de las capturas de aumentos en plantaciones por región

Región	Capturas de emisiones (ton CO ₂ e año ⁻¹)	% de incertidumbre
Costa Sur	-6,768.00	3.6%
Occidente	-10,550.13	1.8%
Oriente	-4,085.59	1.1%
Sarstún-Motagua	-2,095.55	2.7%
Tierras Bajas del Norte	-16,394.22	3.7%
Total	--39,893.49	2.6%

6.4.4 Incertidumbre total

Resulta de sumar las incertidumbres de las simulaciones de las tres actividades, obteniendo además una incertidumbre de la cifra final de emisiones netas en Guatemala de 49.39 millones de tCO₂e, con un **3.27%** de incertidumbre (Tabla 333), las bases de datos que contiene los cálculos efectuados para la determinación de estos niveles de referencia puede verse en el anexo 7.

Tabla 33. Incertidumbre de emisiones y capturas por actividad REDD+ en el país entero

Actividad REDD+	NREF/NRF (tCO ₂ e año ⁻¹)	% de incertidumbre
Deforestación	44,983,335	3.67
Degradación	4,455,107	5.77
Aumentos	-39,893	2.59
Total	49,398,548	3.27

7. Bibliografía

- 1 Base de datos Forestales para Guatemala y Mesoamerica (DATAFORG). (2000). *Coníferas de Guatemala*. Obtenido de <http://glifos.concyt.gob.gt/digital/multicyt/multicyt%201999.01.pdf>
- 2 Dr J. Pérez Daniel, (2007).. Introducción a los Sensores Remotos – Aplicaciones en Geología, Versión Revisada PDF. Disponible en línea. http://avis.gi.fcen.uba.ar/Curso_SR/Guia_Curso_sr_2007.pdf. Enero 2016.
- 3 ERDAS. 1999. Field Guide. ERDAS Inc. Quinta Edición. Estados Unidos
- 4 GIMBOT, (2014). http://www.inab.gob.gt/Documentos/Publicaciones/Monitoreo_Forestal_y_Uso_de_la_Tierra_2014.pdf.
- 5 Gisel Reyes, S. B. (1992). *Wood Densities of Tropical Tree Species*. Obtenido de https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/gtr/gtr_so088.pdf
- 6 Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra. (2013) Propuesta de Proyecto “Elaboración del Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra 2012 y Revisión de los Mapas Históricos 2001 y 2006 como Insumos para el Proceso de Inventarios de Gases de Efecto Invernadero del Sector Uso de la Tierra y Forestal para Guatemala. Preparada para la Oficina en Guatemala de USAID, Ciudad de Guatemala, Versión Revisada PDF, febrero de 2016.
- 7 Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2016), Descripción y Corrección de Productos Landsat 8, Bogotá Colombia. (2013). Versión Revisada PDF. Disponible en línea, <http://www.un-spider.org/sites/default/files/LDCM-L8.R1.pdf>.
- 8 Instituto Nacional de Bosques (INAB), Departamento de Investigación Forestal. (2012). *Dinámica de Crecimiento y Productividad de 28 especies en Plantaciones Forestales de Guatemala*. Obtenido de <http://www.inab.gob.gt/Documentos/Investigacion/PPM/Din%C3%A1mica%20de%20Crecimiento%20y%20Productividad%20de%2028%20Especies%20en%20Plantaciones-VF.pdf>
- 9 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2003). *Orientación sobre las buenas prácticas de el uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura*. Obtenido de <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf/spanish/full.pdf>
- 10 International, W. U. (2014). AFOLU. Carbon Calculator, The Agroforestry Tool, underlying data and methods. Obtenido de http://www.afolucarbon.org/static/documents/AFOLU-C-Calculator-Series_AF.pdf
- 11 IPCC ,(2006). Guidelines, Volume 4, Chapter 11 "N2O Emissions from Managed Soils, and CO2 Emissions from Lime and Urea Applications". <http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>
- 12 IPCC ,(2006). Guidelines, Volume 4, Chapter 10 "Emissions from Livestock and Manure Management". <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>
- 13 IPCC ,(2006). Guidelines, Volume 4, Chapter 2 "Generic Methodologies Applicable to Multiple Land Use Categories". <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>
- 14 IPCC ,(2006). Guidelines, Volume 4, Chapter 4 "Forest Land". <http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>
- 15 IPCC, (2006). Directrices para los Inventarios Nacionales de gases de Efecto Invernadero. Volumen 4 (edición en español).
- 16 IPCC, (capítulo 2). Metodología Genéricas Aplicables a Múltiples Categorías y Uso de la Tierra (edición en español).

- 17 IPCC, (capítulo 3). Representación Coherente de las Tierras (edición en español).
- 18 Karel Mokany, J. R. (2006). *Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes*. Obtenido de http://reddcr.go.cr/sites/default/files/centro-de-documentacion/mokany_et_al._2006_-_critical_analysis_root_to_shoot_ratios.pdf
- 19 Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. Guatemala (2006). Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra 2003. Versión Revisada PDF, enero 2016.
- 20 NASA/University of Maryland. 2008. MODIS Hotspot / Active Fire Detections. Data set. MODIS Rapid Response Project, NASA/GSFC [producer], University of Maryland, Fire Information for Resource Management System [distributors]. Available on-line <http://maps.geog.umd.edu>
- 21 Olofsson, F. H. (22 de Febrero de 2014). ScienceDirect. Obtenido de Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425714000704>
- 22 Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2002). Captura de Carbono en los suelos para un mejor manejo de Tierra. Obtenido de <Ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/wsrr96s.pdf>
- 23 Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2003). Estado de la diversidad biológica de los árboles y bosques de Guatemala. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/007/j0605s/j0605s03.htm>
- 24 Perú, M. d. (Febrero de 2014). *Ministerio del Ambiente Perú*. Obtenido de Evaluación de la Exactitud Temática del Mapa de Deforestación: <http://www.minam.gob.pe/ordenamientoterritorial/wp-content/uploads/sites/18/2013/10/Protocolo-Validacion-Mapa-Deforestacion.pdf>
- 25 Pinelo M., G. I. 2001. Efecto de un incendio forestal rastrero sobre la vegetación de un bosque natural latifoliado en San Francisco, Petén, Guatemala. Tesis Ing. Ftal. Peten, GT. USAC-CUDEP.
- 26 Ponce R., W. E. 2001. Estado actual de la cobertura forestal afectada por los incendios del periodo 1998-2000 en la zona intangible y zona de recuperación del Parque Nacional Sierra del Lacandón. Tesis Ing. Ftal. Peten, GT. USAC-CUDEP. 88 p.
- 27 Protocolo Metodológico para la Elaboración del Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra del Ecuador Continental 2013-2014, Escala 1:100.000 (2015).
- 28 Ramirez, R. S. (3 de Octubre de 2014). Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Obtenido de Evaluación de la exactitud temática del mapa de cambio de bosque para la región: <http://selper.org.co/papers-XVI-Simposio/Cartografia-Digital/CD4-Evaluacion-exactitud-tematica-mapa-cambio-amazonia-colombia.pdf>
- 29 Sistema de Información Geoespacial para el manejo de incendios en la República de Guatemala-SIGMAI-. Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), el Instituto Nacional de Bosques (INAB), el Sistema Nacional de Prevención y Control de Incendios Forestales (SIPECIF), la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED) y el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). Guatemala, 2010.
- 30 Stehman S, O. P. (23 de Julio de 2010). ISARA. Obtenido de Designing a reference validation database for accuracy assessment of land cover: http://www.spatial-accuracy.org/system/files/img-X06165157_0.pdf
- 31 Stehman, S. V. (19 de Enero de 2011). United States Environmental Protection Agency. Obtenido de Pixels, Blocks of Pixels, and Polygons: Choosing a Spatial Unit for Thematic Accuracy Assessment: https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?dirEntryId=232644
- 32 UVG, INAB, CONAP (Universidad del Valle de Guatemala, Instituto Nacional de Bosques y

Consejo Nacional de Áreas Protegidas). (2006). Dinámica de la cobertura forestal de Guatemala durante los años 1991, 1996 y 2001 y mapa de cobertura forestal 2001. Guatemala.

- 33 UVG, INAB, CONAP y URL (Universidad del Valle de Guatemala, Instituto Nacional de Bosques, Consejo Nacional de Áreas Protegidas y Universidad Rafael Landívar). (2011).
- 34 UVG, INAB, CONAP y URL (Universidad del Valle de Guatemala, Instituto Nacional de Bosques, Consejo Nacional de Áreas Protegidas y Universidad Rafael Landívar). (2012). Mapa de cobertura forestal de Guatemala 2010 y dinámica de la cobertura forestal 2006-2010. Guatemala.
- 35 Wildlife Conservation Society, International Resources Group, Proyecto FIPA/Guatemala, Consejo Nacional de Areas Protegidas. "Monitoreo de Incendios Forestales y Estimación de Superficies Quemadas, Reserva de Biosfera Maya, Agosto 2003. Peten, Guatemala.

8. Anexos

8.1.1 Anexo 1.

Convenio de cooperación técnica para la conformación del grupo interinstitucional de Monitoreo de bosques

https://www.dropbox.com/home?preview=Anexo+1.+Convenio_GIMBUT_firma+do_16oct15.pdf.

8.1.2 Anexo 2.

Memoria de Taller de Definiciones operativas en el contexto de REDD+.

Disponible en:

https://www.dropbox.com/home?preview=Ayuda_de_MemoriaTallerGIMBUT_12%2613_270617_EH.docx

8.1.3 Anexo 3

Protocolo Metodológico para la Generación del Mapa de Cobertura Forestal y Uso de la Tierra.

Disponible en:

<https://www.dropbox.com/home/documentos%20NRF/Protocolos/deforestacion?preview=01.+Protocolo+Metodol%C3%B3gico+para+la+Generaci%C3%B3n+del+Mapa+de+Cobertura+Forestal+y+Uso+de+la+Tierra.docx>

8.1.4 Anexo 4

Protocolo metodológico para la estimación de los estratos de carbono.

Disponible en:

https://www.dropbox.com/home/documentos%20NRF/Protocolos/Estratos%20de%20carbono?preview=Inf_MetodologicoMapaEstratosCarbono_DG.docx

8.1.5 Anexo 5.

Protocolo Metodológico_LB Degradación por incendios RRivas

Disponible en:

https://www.dropbox.com/home/documentos%20NRF/Protocolos/degradacion?preview=Protocolo+Metodologico_LB+Degradacion+por+incendios+RRivas.docx

8.1.6 Anexo 6.

Protocolo Metodologico para la Linea Base de Aumentos de Stock de Carbono

Disponible en:

<https://www.dropbox.com/home/documentos%20NRF/Protocolos/aumentos?preview=Protocolo+Metodologico+para+la+Linea+Base+de+Aumentos+de+Stock+de+Carbono.docx>

8.1.7 Anexo 7.

Calculo de los datos de actividad, Niveles de referencia SUBnacional y nacional, y cálculo de la incertidumbres.

Disponible en :

<https://www.dropbox.com/home/documentos%20NRF/calculo%20incertidumbres>

Los niveles de referencia de Emisiones GEI Forestales de Guatemala fueron elaborados con el apoyo de:



CLIMA, NATURALEZA
y COMUNIDADES
en Guatemala



Al servicio
de las personas
y las naciones