



NIVEL DE REFERENCIA DE EMISIONES FORESTALES POR DEFORESTACIÓN BRUTA DEL PERÚ EN EL BIOMA AMAZÓNICO

Nivel de Referencia de Emisiones Forestales por Deforestación Bruta del Perú en el Bioma Amazónico

©Ministerio del Ambiente

Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales

Dirección General de Cambio Climático y Desertificación

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego

Viceministerio de Políticas y Supervisión del Desarrollo Agrario

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre - Serfor

Editado por:

© Ministerio del Ambiente

Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales

Dirección General de Cambio Climático y Desertificación

Av. Antonio Miroquesada 425, Magdalena del Mar, Lima - Perú

Octubre de 2022

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú n.º

EQUIPO TÉCNICO

Freddy Nelson Argotty Benavides
Luis Gaary Campos Carrera
Jorge Juan Cobián De Vinatea
Jorge Luis Nole Medina
Mayra Alejandra Ospina Pedraza
Nadir Carolina Pallqui Camacho
Isabel Mercedes Pino Capcha
Berioska Quispe Estrada
Jorge Eduardo Morfín Ríos
Nicole Mitidieri Rivera

EQUIPO EDITOR - MINAM

Manuel Enrique Garcia-Rosell Rodriguez
Nadir Carolina Pallqui Camacho
Berioska Quispe Estrada

AGRADECIMIENTOS

Programa Nacional de ONU-REDD, Programa Nacional de Conservación de Bosques y Mitigación al Cambio Climático - PNCBMCC, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación – FAO, Servicio Forestal de los Estados Unidos - USFS, SilvaCarbon, Forestplots.net, Comisión Nacional Forestal, México – CONAFOR, Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana - IAP, Centro para la Investigación Forestal Internacional – CIFOR.

RESUMEN EJECUTIVO

NREF propuesto	78 927 827,50 tCO _{2eq} /año
Periodo de referencia	2010 a 2019
Ajuste por circunstancias nacionales	No aplica
Escala espacial	Subnacional
Superficie del bioma amazónico peruano	78 308 800.74 hectáreas (ha)
Área de bosque (2019)	68 324 569 ha
Porcentaje de cobertura de bosque en el bioma amazónico peruano	87.25
Actividades REDD+ incluidas	Reducción de emisiones por deforestación bruta
Reservorios incluidos	Carbono contenido en la biomasa aérea, biomasa subterránea (árboles vivos) y materia orgánica muerta (árboles muertos en pie, tocones, madera muerta yacente y hojarasca)
Gases incluidos	Dióxido de carbono
Definición de bosques	Ecosistema predominantemente arbóreo que debe tener una superficie mayor de 0,5 ha, con un ancho mínimo de 20 metros y presenta una cobertura de copas mínima del 30 %. La vegetación predominante está representada por árboles de consistencia leñosa que tienen una altura mínima de 5 metros para la Selva amazónica. Incluye los bosques naturales, secundarios y las plantaciones
Consistencia con el último inventario GEI	Los métodos e información para la construcción del NREF se incorporarán y serán consistentes con futuros informes de la CMNUCC
Descripción de las políticas nacionales	Estrategia Nacional sobre Bosques y Cambio Climático
Descripción de los cambios con respecto al NREF previo	A lo largo del documento se explican los cambios y se presentan cuadros comparativos
Identificación de futuros avances y mejoras	Incluir la actividad REDD+ de degradación y se presenta una sección sobre los avances y mejoras graduales

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	5
LISTADO DE TABLAS	9
1. INTRODUCCIÓN	13
2. ANTECEDENTES	15
2.1. CONTEXTO NACIONAL	15
2.2. PREPARACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE REDD+ PARA EL NREF Y EL MARCO MEDICIÓN, REPORTE Y VERIFICACIÓN PARA REDD+	18
2.3. PLANES, ACCIONES Y POLÍTICAS NACIONALES: LA ESTRATEGIA NACIONAL SOBRE BOSQUES Y CAMBIO CLIMÁTICO EN SU PREPARACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE REDD+	25
3. MARCO DEL NIVEL DE REFERENCIA DE EMISIONES FORESTALES POR DEFORESTACIÓN DEL PERÚ	31
3.1. ESCALA DEL NREF Y ÁREA DE COBERTURA DEL BIOMA AMAZÓNICO DEL PERÚ	31
3.2. DEFINICIÓN DE BOSQUE	37
3.3. CATEGORÍAS DE BOSQUES Y USOS DEL SUELO DEL BIOMA AMAZÓNICO	39
3.4. ACTIVIDADES REDD+ INCLUIDAS	45
3.5. DEFORESTACIÓN	47
3.6. PERIODO DE REFERENCIA PARA DEFORESTACIÓN	53
3.7. DEPÓSITOS DE CARBONO	56
3.8. GASES INCLUIDOS	56
4. NIVEL DE REFERENCIA DE EMISIONES FORESTALES POR DEFORESTACIÓN	57
4.1. INFORMACIÓN Y MÉTODOS USADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL NIVEL DE REFERENCIA PARA LA ACTIVIDAD DE DEFORESTACIÓN	57
4.1.1. <i>Dato de Actividad para deforestación</i>	57
4.1.1.1. Diseño del muestreo sistemático estratificado	59
Donde:	66
4.1.1.2. Diseño del formulario “Proyecto Perú” en CEO	70
4.1.1.3. Interpretación visual de la deforestación, cambio de uso del suelo y validación	73
4.1.1.4. Preparación de bases de datos y análisis de la deforestación	78
4.1.1.5. Métodos de estimación de áreas e incertidumbre asociada	84
4.1.1.6. Resultados de las transiciones por deforestación y su propagación del error	88
4.1.2. <i>Factores de emisión por deforestación</i>	101
4.1.2.1. Fuentes de información y preparación de bases de datos	103
4.1.2.1.1. Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (INFFS)	103
4.1.2.1.2. Recopilación de información de sitios de estudios disponibles en la plataforma de FP	105
4.1.2.1.3. Control de calidad y preparación de base de datos	106
4.1.2.2. Estimación de la biomasa aérea y subterránea a nivel de individuo	110
4.1.2.3. Estimación de la materia orgánica muerta	113
4.1.2.4. Estimación de biomasa y carbono a nivel de parcela	114
4.1.2.5. Estimación de carbono y factores de emisión por ecozona y su incertidumbre asociada	117
4.2. NIVEL DE REFERENCIA DE EMISIONES FORESTALES POR DEFORESTACIÓN 2010-2019	124
4.2.1. <i>Enfoque y métodos para la estimación de emisiones de CO_{2eq} y su incertidumbre</i>	124
4.2.2. <i>Emisiones históricas de CO_{2eq} para deforestación del periodo 2010-2019 del Perú</i>	127
4.2.3. <i>Diferencias con el primer NREF del Perú presentado en 2015</i>	128
5. INFORMACIÓN TRANSPARENTE, COMPLETA, CONSISTENTE Y EXACTA DEL NIVEL DE REFERENCIA DE EMISIONES FORESTALES DEL PERÚ	130
5.1. TRANSPARENCIA	130
5.2. COMPLETITUD	130
5.3. COHERENCIA O CONSISTENCIA	135
5.4. EXACTITUD	135

6.	AVANCES Y ÁREAS DE MEJORA GRADUAL.....	137
6.1.	DATOS DE ACTIVIDAD	137
6.2.	FACTORES DE EMISIÓN	138
6.3.	DEGRADACIÓN FORESTAL	139
7.	ANEXOS	143
7.1.	ANEXO 1. DEFORESTACIÓN, PÉRDIDA NATURAL Y DEFORESTACIÓN TOTAL EN LA AMAZONÍA PERUANA	143
7.2.	ANEXO 2. SUPERFICIE ANUAL DE PÉRDIDA NATURAL POR ECOZONA	146
7.3.	ANEXO 3. SUPERFICIE ANUAL DE DEFORESTACIÓN ANTRÓPICA POR ECOZONA Y TOTAL.....	149
7.4.	ANEXO 4. DENSIDADES DE CARBONO A PARTIR DE LOS DATOS DEL INFFS Y DE LA PLATAFORMA FORESTPLOTS.NET.....	153
7.5.	ANEXO 5. INFORMACIÓN DE CONSULTA PARA LA RECONSTRUCCIÓN DEL NREF DEL PERÚ	156
8.	LITERATURA CITADA.....	159

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Regiones naturales del Perú	16
Figura 2. Contribución de las emisiones por sectores (%) en el INGEI 2014 reportadas en el segundo BUR del Perú (sin absorciones del sector UTCUTS).....	16
Figura 3. Marco de Medición Reporte y Verificación para REDD+ y su relación con el NREF	23
Figura 4. Límite del bioma amazónico peruano, sus ecozonas y departamentos.....	33
Figura 5. Categorías territoriales en la Amazonía peruana.....	37
Figura 6. Emisiones de la deforestación en el sector UTCUTS (INGEI, 2014).....	46
Figura 7. Transición de a) Tierra forestal (2009), hacia b) Tierras agrícolas (2019).	49
Figura 8. Transición de a) Tierra forestal (2011), hacia b) Praderas (2019)	50
Figura 9. Transición de a) Tierra Forestal (2007), hacia b) Asentamientos humanos (2013).....	50
Figura 10. Transición de a) Tierra forestal (2011), hacia b) Humedales (2016)	51
Figura 11. Transición de a) Tierra forestal (2012), hacia b) Otras Tierras (2014).....	52
Figura 12. Hoja de ruta para estimar los datos de actividad para el NREF	59
Figura 13. Análisis de diferentes distancias Buffer sobre la clase pérdida de cobertura de bosque	64
Figura 14. Parcela interpretada visualmente al 2018 a partir de puntos de No bosque (verde claro), pérdida (lila), y Bosque (verde)	67
Figura 15. Esquema de desarrollo del muestreo sistemático intensificado en la Amazonía peruana. a) Distribución de malla sistemática a partir de equidistancia de 5x5 km en la Amazonía y ZH, b) Reducción de errores de omisión a partir de la inclusión de área buffer sobre las áreas de pérdida, c) Ejemplo de intensificación a 500 m de la malla sistemática en imagen de alta resolución, d) Parcela de 1 ha sobre la cual se desarrolla la interpretación visual	69
Figura 16. Interfaz del Proyecto Perú en CEO.....	72
Figura 17. Interfaz del Geo-Dash en CEO.....	74
Figura 18. Diseño de la unidad de muestreo	75
Figura 19. Representación espacial de “áreas de bosque” (color verde) de acuerdo con la definición del NREF 2015 (≥ 0.09 ha) y NREF 2021 (≥ 0.5 ha).....	76
Figura 20. Uniformización de caracteres para definir los usos de suelo.....	80
Figura 21. Inconsistencia con el periodo de recuperación del bosque	82
Figura 22. Superficie anual de tierras forestales en las ecozonas de la Amazonía (2010-2019).89	
Figura 23. Superficie de cambio de tierras forestales a categorías IPCC	89
Figura 24. Pérdida de bosque por causas naturales en el periodo 2010-2019	90
Figura 25. Superficie anual de humedales en la Amazonía peruana (2010-2019).....	91
Figura 26. Transición de tierra forestal a humedales en la Amazonía peruana (2010-2019)	91
Figura 27. Superficie anual de otras tierras en la Amazonía peruana (2010-2019)	92
Figura 28. Transición de tierra forestal a otras tierras en la Amazonía peruana (2010-2019)....	93
Figura 29. Deforestación antrópica y pérdida natural de bosque en el periodo 2010-2019	93
Figura 30. Transición de tierra forestal a tierras agrícolas, praderas y asentamientos humanos en la Amazonía (2010-2019)	94
Figura 31. Superficie anual de tierras agrícolas en la Amazonía (2010-2019)	94
Figura 32. Transición de tierra forestal a tierras agrícolas en la Amazonía (2010-2019).....	95
Figura 33. Superficie anual de praderas en la Amazonía peruana (2010-2019)	96
Figura 34. Transición de tierra Forestal a praderas en la Amazonía peruana (2010-2019)	97
Figura 35. Superficie anual de asentamientos humanos en la Amazonía peruana (2010-2019) 97	
Figura 36. Transición de tierra forestal a asentamientos humanos en la Amazonía peruana (2010-2019).....	98
Figura 37. Causas directas de la deforestación en el periodo 2010-2019	98
Figura 38. Superficie anual de deforestación en la Amazonía (2010-2019).....	99

Figura 39. Superficie anual de deforestación y tendencia de la deforestación en las ecozonas de la Amazonía peruana.....	100
Figura 40. Superficie anual de deforestación en las ecozonas de la Amazonía peruana	101
Figura 41. Hoja de ruta para la estimación de los factores de emisión en el bioma de la Amazonía peruana.	103
Figura 42. Ejemplo del diseño de la UM para las ecozonas, SAA, SADA y ZH. a) Muestreo de variables del arbolado, palmas, lianas y tocones. b) Muestreo de materia muerta yace yte y hojarasca. Fuente: Minagri, MINAM y FAO (2016).....	105
Figura 43. Árbol de decisión para la estimación de biomasa a nivel de individuo por encima del suelo y la madera muerta en pie (árboles muertos y tocones).	112
Figura 44. Distribución de las UM del INFFS y FP.	118
Figura 45. Nivel de Referencia de Emisiones Forestales del Perú en el bioma amazónico.....	128

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Mejoras metodológicas del NREF de 2021 con respecto al NREF de 2015.	19
Tabla 2. Superficie de bosque y cobertura de área territorial por ecozona en el bioma amazónico	33
Tabla 3. Superficie departamental y superficie ocupada por los departamentos que se encuentran en el bioma amazónico peruano para cada ecozona.	35
Tabla 4. Umbrales de la definición de bosque en el Perú para diferentes propósitos de reporte	38
Tabla 5. Categorías IPCC, ecosistemas y coberturas forestales en el bioma amazónico	40
Tabla 6. Conversión de tierras forestales por deforestación y pérdida de bosque debido a perturbaciones naturales	48
Tabla 7: Factores que impulsan la migración en la Amazonía desde el siglo XX.....	53
Tabla 8. Reservorios de carbono incluidos en el NREF	56
Tabla 9. Ecozonas presentes en la Amazonía peruana.	59
Tabla 10. Tamaño de muestra (píxeles Landsat) y proporciones para las cuatro ecozonas en la Amazonía peruana	60
Tabla 11. Número de muestras con un nivel de confianza del 95 % y un medio ancho del intervalo de confianza del 10 y 15 %	61
Tabla 12. Ajustes para la intensificación de la ZH y SADA, a partir de las clases Bosque, No bosque, Buffer y Pérdida de cobertura de bosque.....	65
Tabla 13. Número de muestras para intensificar la ecozona ZH y SADA	68
Tabla 14. Distribución de parcelas en la Amazonía peruana	69
Tabla 15. Imágenes satelitales utilizadas en la fotointerpretación.....	71
Tabla 16. Área total y número de parcelas en las cuatro ecozonas de la Amazonía	79
Tabla 17. Número de parcelas y puntos interpretados en CEO.....	82
Tabla 18. Dinámica de cambio en las tierras forestales en las categorías del IPCC cuantificadas en el NREF.	83
Tabla 19. Deforestación histórica en la Amazonía (2010-2019)	99
Tabla 20. Tamaño de muestra total y UM medidas en las ecozonas del bioma (2013-2019)....	104
Tabla 21. Depósitos de carbono incluidos y sus variables disponibles en el INFFS y FP para la estimación de carbono.....	107
Tabla 22. Número de UM del INFFS y parcelas recopiladas en la plataforma de FP.....	110
Tabla 23. Modelos alométricos y ecuaciones volumétricas utilizados para estimar los reservorios de carbono y sus componentes de árboles vivos y muertos, lianas, palmeras y tocones.....	111
Tabla 24. Valores de densidad de la madera por nivel de descomposición (Chao et al. 2008)	113
Tabla 25. Biomasa, contenido de carbono, factor de emisión, error estándar, incertidumbre y contribución relativa del total de depósitos de carbono cuantificados, en la ecozona de la SAA	121
Tabla 26. Biomasa, contenido de carbono, factor de emisión, error estándar, incertidumbre y contribución relativa del total de depósitos de carbono cuantificados, en la ecozona de la SADA.	121
Tabla 27. Biomasa, contenido de carbono, factor de emisión, error estándar, incertidumbre y contribución relativa del total de depósitos de carbono cuantificados, en la ecozona de la SB	122
Tabla 28. Biomasa, contenido de carbono, factor de emisión, error estándar, incertidumbre y contribución relativa del total de depósitos de carbono cuantificados, en la ecozona de la ZH.	122
Tabla 29. Biomasa aérea del NREF 2015 y el NREF 2021.....	123
Tabla 30. Estimación de las emisiones totales por año por ecozona, incertidumbre para DA, FE y su incertidumbre combinada (I%).....	126

Tabla 31. Emisiones totales por año y su incertidumbre.....	128
Tabla 32. Principales diferencias con el NREF de 2015.....	129
Tabla 33. Completitud de Actividades REDD+, Reservorios de carbono y gases GEI incluidos en el NREF.....	131

ACRÓNIMOS

AGB	Biomasa aérea
BGB	Biomasa subterránea
BUR	Informe Bienal de Actualización
CEO	Collect Earth Online (CEO)
Cifor	Centro para la Investigación Forestal Internacional
CN	Comunicaciones nacionales
DA	Dato de actividad
DGCCD	Dirección General de Cambio Climático y Desertificación
CMNUCC	Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático
COP	Conferencia de las Partes
ENBCC	Estrategia Nacional sobre Bosques y Cambio Climático
ENCC	Estrategia Nacional de Cambio Climático
FE	Factor de emisión
FP	ForestPlots.net
INFFS	Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre
INGEI	Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático
IT REDD+	Iniciativas tempranas REDD+
MI	Módulo de Inventario
Midagri	Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego
MINAM	Ministerio del Ambiente
MMCB	Módulo de Monitoreo de la Cobertura de Bosques
MMY	Madera muerta yacente
MRV	Monitoreo, reporte y verificación
LFFS	Ley Forestal y de Fauna Silvestre y sus reglamentos
LMCC	Ley Marco sobre Cambio Climático y sus reglamentos
MM	Madera muerta
NDC	Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional
NREF	Nivel de Referencia de Emisiones Forestales
PNCBMCC	Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático

REDD+	Reducción de Emisiones derivadas de la Deforestación y Degradación de los bosques; y la función de la conservación de reservas forestales de carbono, la gestión sostenible de los bosques y el aumento de las reservas forestales de carbono
RAGEI	Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero
SAA	Selva alta accesible
SB	Selva baja
SADA	Selva alta de difícil acceso
Serfor	Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre
SNIFFS	Sistema Nacional de Información Forestal y de Fauna Silvestre
UTCUTS	Uso de tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura
ZH	Zona hidromórfica

1. INTRODUCCIÓN

El Perú es el noveno país en el mundo con mayor superficie forestal, el segundo país con la mayor extensión de bosques amazónicos y el cuarto en bosques tropicales, solo superado por Brasil, el Congo e Indonesia. Los bosques húmedos amazónicos peruanos representan el ecosistema de mayor superficie en el país, con una extensión de 68 324 569 ha en el año 2019, lo que constituye más del 50 % del territorio nacional.

Por otro lado, la población censada que se auto identificó como indígena u originaria de la Amazonía asciende a 2 128 232 habitantes, organizados en comunidades nativas que abarcan aproximadamente 12 millones de ha de bosque amazónico, lo que explica la importancia de las comunidades nativas amazónicas en la gestión efectiva del bosque. Por lo tanto, los bosques del Perú no solo albergan una importante biodiversidad de flora y fauna, sino que también constituyen el territorio de pueblos indígenas u originarios y otras poblaciones rurales.

Sin embargo, la deforestación y la degradación forestal amenazan la conservación y el uso sostenible de los bosques, así como el desarrollo de las poblaciones que dependen de ellos. Asimismo, el sector Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS), asociado a la deforestación, es el más relevante en términos de emisiones nacionales de Gases de Efecto Invernadero [GEI] (INGEI 2014). En tal sentido, los esfuerzos del gobierno peruano están orientados a realizar acciones que reduzcan emisiones en este sector.

El Perú participa activa y propositivamente en la mitigación del cambio climático desde que se adhirió a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo celebrada en 1992 en Río de Janeiro, la cual ratificó en mayo de 1993.¹ Del mismo modo, ha venido trabajando decididamente bajo el marco del Acuerdo de París, adoptado durante la vigésima primera Conferencia de las Partes (COP21) de la CMNUCC y ratificado por el Perú en el año 2016².

¹ Resolución Legislativa n.º 26185, disponible en:

https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGGAE/ARCHIVOS/Resoluci%C3%B3n%20Legislativo%2026185_Aprueba%20Clim%C3%A1tico.pdf

² Decreto Supremo n.º 058-2016-RE, disponible en: <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/ratifican-el-acuerdo-de-paris-decreto-supremo-n-058-2016-re-1407753-12/>



El Perú presentó su primera Contribución Determinada a nivel Nacional (NDC), en septiembre del 2015, mostrando su compromiso en la lucha contra el cambio climático. Asimismo, el compromiso y la ambición climática del Perú han sido reiterados y fortalecidos a través de la reciente actualización de nuestra NDC, comunicada en diciembre del 2020³ y que incorpora metas más ambiciosas tanto en adaptación como en mitigación. Nuestra NDC considera el desarrollo de acciones de mitigación en toda la economía, haciendo énfasis en el desarrollo de acciones en el sector UTCUTS debido a la importancia que tiene con respecto a las emisiones de GEI en el país, lo cual se ve claramente reflejado en nuestro Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI).

Así, el Perú ha adoptado a REDD+ como un enfoque crucial para la mitigación del cambio climático global y el cumplimiento de los objetivos de mitigación expresados en su NDC, y se ha venido implementando, de conformidad con la Decisión 1/CP.16 de la CMNUCC, la reducción de emisiones e incremento de remociones de GEI en bosques como el enfoque de políticas e incentivos positivos orientados a las siguientes actividades conocidas internacionalmente como REDD+: 1) reducción de las emisiones derivadas de la deforestación; 2) reducción de las emisiones derivadas de la degradación de los bosques; 3) conservación de las reservas forestales de carbono; 4) gestión sostenible de los bosques; y, 5) aumento de las reservas forestales de carbono (Decreto Supremo n.º 013-2019-MINAM).

Por lo anterior, el Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM) a través de su Dirección General de Cambio Climático y Desertificación (DGCCD) como punto focal REDD+, en cumplimiento de las medidas mencionadas en el párrafo 70 de la decisión 1/CP.16 de la CMNUCC, presenta la actualización del Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (NREF), para ser sometido al proceso de evaluación técnica referido en el anexo de la decisión 13/CP.19.

³<https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Peru%20First/Reporte%20de%20Actualizacion%CC%81n%20de%20las%20NDC%20del%20Peru%CC%81.pdf>

La presentación del NREF es voluntaria, para medir el desempeño de la implementación de las actividades señaladas en el párrafo 70 de la decisión 1/CP.16 y obtener pagos por las acciones de REDD+ basado en resultados bajo las directrices del Marco de Varsovia sobre REDD+, de conformidad con las decisiones 9/CP.19, 13/CP.19, 14/CP.19, y de aquellas otras allí citadas, así como del artículo 5 del Acuerdo de París.

El NREF actualizado será una base para medir el impacto que tendrán las medidas de mitigación en el sector UTCUTS en la implementación de REDD+, contribuirán al cumplimiento de sus NDC a 2030, y no prejuzga ninguna Acción de Mitigación Nacionalmente Apropiaada (NAMA), de conformidad con el Plan de Acción de Bali.

En el presente NREF se siguen las directrices del anexo de la decisión 12/CP.17 en sus incisos a, b, d y e, bajo el enfoque de mejora gradual y se consideran a lo largo del documento las conclusiones de la evaluación técnica realizada por el grupo de expertos de la CMNUCC del NREF⁴, presentado en noviembre de 2015 y modificado en julio de 2016. Cabe destacar que este segundo NREF pasa de una proyección de tendencia lineal ascendente a un nivel de referencia basado en el promedio de las emisiones históricas anuales por deforestación, con métodos e información más completa y robusta del país, que permite también conocer su exactitud conforme a la representación coherente de la tierra en correspondencia con las directrices más recientes del IPCC (decisión 4/CP.15).

2. ANTECEDENTES

2.1. Contexto nacional

El Perú es el tercer país más grande de América del Sur con 1 294 590 km² y uno de los diez países con mayor superficie de bosque cubriendo su territorio (FAO, 2015). La cordillera de los Andes se ubica longitudinalmente de sur a norte, lo que divide al país en tres regiones naturales: la Costa (árida) con 15 025 082,00 ha y el 12 % del territorio, la Sierra con 35 263 940,00 ha y el 27 % del territorio (semiárida y subhúmeda) y la selva (húmeda y pluvial) con 78 308 800,74 ha y el 61 % del territorio [Figura 1] (Minagri, 2016). Tiene un gradiente altitudinal que va desde el nivel del mar en la Costa hasta los 6800 metros sobre el nivel del mar en los Andes. Debido a sus condiciones fisiográficas y biogeográficas, el Perú es considerado un país megadiverso con un alto valor para la conservación biológica y de gran importancia para la regulación climática global del planeta (FAO, 2016; ENBCC, 2016).

Según el mapa nacional de cobertura vegetal, los bosques naturales en el Perú constituyen el ecosistema de mayor superficie con 72 083 263 ha y representan el 56,09 % del territorio nacional (MINAM, 2015b).

⁴ <https://unfccc.int/resource/docs/2016/tar/per.pdf>



Figura 1. Regiones naturales del Perú

Dada su gran extensión, los bosques peruanos constituyen una reserva importante de carbono a nivel global. Sin embargo, el sector de UTCUTS en su Segundo Informe Bienal de Actualización (BUR por sus siglas en inglés), reporta que genera el 51,35 % de todas las emisiones de GEI en el Perú con 97 393 Gg CO_{2eq} que provienen principalmente de la conversión de tierras forestales o de protección para uso agrícola y otras actividades de degradación que se llevan a cabo en la Amazonía peruana (figura 2). Por ello, su gestión y conservación es muy importante para la mitigación del cambio climático y a su vez es estratégico para mantener la diversidad biológica de los bosques ya que contribuye a su resiliencia y capacidad de adaptación (BUR, 2019).

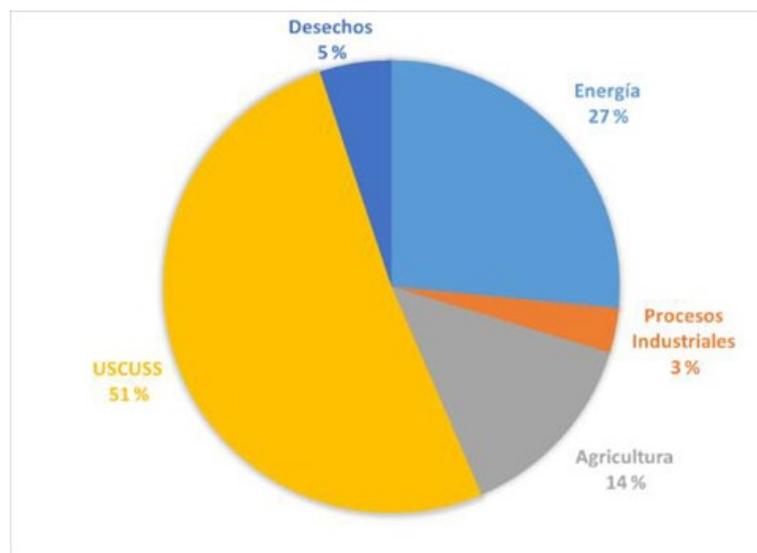


Figura 2. Contribución de las emisiones por sectores (%) en el INGEI 2014 reportadas en el segundo BUR del Perú (sin absorciones del sector UTCUTS)

De acuerdo con la Estrategia Nacional sobre Bosques y Cambio Climático (ENBCC), el Perú es considerado como un país de alta cobertura de bosques y baja deforestación (HF-LD, High Forest – Low Deforestation, por sus siglas en inglés). Ocupa el cuarto lugar entre los siete países amazónicos en términos de tasa de deforestación después de Brasil, Venezuela y Bolivia. Sin embargo, la deforestación es un problema creciente, con impactos severos en las zonas donde ocurre con mayor intensidad; ante lo cual, su conservación es fundamental para la mitigación del cambio climático. De igual modo, es estratégico mantener la diversidad biológica de los bosques ya que contribuye a su resiliencia y capacidad de adaptación; y los servicios ecosistémicos, que contribuyen a reducir la vulnerabilidad de la sociedad frente al cambio climático (ENBCC, 2016).

Los bosques contribuyen con la calidad de vida de las personas, cumpliendo importantes funciones como la captura y almacenamiento de carbono, regulan el clima y purifican el aire, regulan el flujo y suministro de agua, conservan los suelos evitando su erosión, proporcionan productos forestales maderables y no maderables, son hábitat para las especies que contribuyen a la polinización y el control natural de plagas, proveen belleza escénica y paisajes de valor recreativo, entre otros bienes y servicios para la sociedad. Esto es particularmente importante en el caso de los pueblos indígenas y más aún en el caso de los pueblos en aislamiento voluntario y contacto inicial, los cuales sufren más dramáticamente los impactos de la degradación de los bosques y la deforestación.

Para enfrentar la dinámica de la deforestación, entre otras cosas, el Perú ha desarrollado la ENBCC, cuya visión propone que para el año 2030 el Perú ha reducido sus emisiones de GEI asociadas al sector UTCUTS y la vulnerabilidad del paisaje forestal y de la población que depende de ellos, asegurando el pleno respeto a los derechos de los ciudadanos, especialmente de los pueblos indígenas y de las poblaciones rurales vinculadas a los bosques, con un enfoque territorial, intercultural y de género, en un contexto de adecuada gobernanza, productividad, competitividad y valoración de los ecosistemas forestales.

Por otro lado, desde el año 2008, existen proyectos en el territorio nacional que implementan actividades con el objetivo de reducir las emisiones provenientes de la deforestación y degradación forestal, a las cuales se les denomina Iniciativas Tempranas REDD+ (IT REDD+). Estas iniciativas participan activamente en el mercado voluntario de carbono, registrando, validando y verificando las unidades de reducción de emisiones (créditos de carbono) generadas por sus acciones bajo el marco metodológico de estándares internacionales reconocidos. Las IT REDD+ están demostrando su capacidad de generar impactos positivos a nivel local, desde el punto de vista ambiental, social y económico. A partir de estas experiencias, el sector privado está incrementado su involucramiento en el financiamiento de la conservación ambiental, las poblaciones locales han mejorado su calidad de vida y se han convertido en aliados para la conservación, a través de acuerdos entre organizaciones del Estado, sociedad civil, comunidades locales y empresas.

2.2 Preparación e implementación de REDD+ para el NREF y el Marco Medición, Reporte y Verificación para REDD+

Desde la presentación del primer NREF en 2015, el Perú ha tenido avances sustantivos en la implementación por fases de REDD+ de acuerdo con sus circunstancias nacionales, en la incorporación de los elementos o pilares REDD+ establecidos en el “Marco de Varsovia para REDD+”, en su normatividad nacional⁵. Los pilares REDD+ en el Perú, se consideran como instrumentos indispensables que definen la estructura para la gestión e implementación de REDD+, y permiten orientar su determinación, medición, reporte y verificación. Estos son:

1. **Estrategia Nacional sobre Bosques y Cambio Climático (ENBCC):** Instrumento de planificación y gestión que determina, orienta y prioriza las acciones estratégicas para la implementación de REDD+ en el territorio nacional.
2. **Módulo de Monitoreo de la Cobertura de Bosques (MMCB):** El módulo de monitoreo de la cobertura de bosques, como parte del Sistema Nacional de Información Forestal y de Fauna Silvestre (SNIFFS), es el instrumento que permite, entre otros, la medición, monitoreo, reporte y verificación de las emisiones forestales antropogénicas y remociones de carbono para el sector UTCUTS, o su equivalente, incluyendo las acciones REDD+. La autoridad nacional en materia de cambio climático, en coordinación con Serfor, recopila y sistematiza la información requerida para el mencionado módulo sobre la base de los protocolos que el Serfor brinde, como autoridad a cargo del SNIFFS, articulando dicha información con el Sistema Nacional de Información Ambiental (Sinia), entre otros sistemas de información.
3. **Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (NREF):** Instrumento que permite la evaluación del desempeño país, a través de su comparación con las emisiones anuales de GEI generadas por la implementación de acciones REDD+. Su elaboración es de forma gradual y se actualiza periódicamente. El NREF permite el alineamiento de iniciativas, proyectos y otros, para el reporte de reducción de emisiones debidas a la implementación de REDD+.
4. **Sistema de Información de Salvaguardas (SIS):** Instrumento que procesa, gestiona y provee información periódica sobre la forma en cómo se abordan y respetan las salvaguardas, en función de la implementación de acciones REDD+.

En la actualidad el Perú se encuentra realizando actividades de preparación y a su vez avanzando en la fase de implementación a nivel del bioma amazónico principalmente;

⁵ Resolución Ministerial n.º 187-2016-MINAM, disponible en: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/RM-N%C2%B0-187-2016-MINAM-y-anexo.pdf>

y, como parte de la preparación, se fortalece el pilar del NREF con su actualización en el presente documento.

El NREF es construido por el MINAM a través de la DGCCD como punto focal REDD+, en conjunto con el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (Midagri) y el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (Serfor), como autoridad del sector forestal y contando ambos ministerios con el apoyo técnico del programa ONU-REDD. El NREF se actualiza por primera vez, bajo el enfoque de mejora gradual, considerando el proceso referido a la decisión 13/CP. 19 de la evaluación técnica realizada para NREF de 2015, publicada en 2016 por la CMNUCC (TAR/2016/PER)⁶. Por lo tanto, se retoman los hallazgos importantes referentes a la mejora de métodos de cálculo de las emisiones provenientes de la deforestación, que bajo las circunstancias nacionales fueron posibles realizar, y se describen a continuación en la tabla 1.

Tabla 1. Mejoras metodológicas del NREF de 2021 con respecto al NREF de 2015.

Tema metodológico	NREF 2015 ⁷	NREF 2021	Mejora 2021
Estimación de Emisiones	Proyección lineal con datos de deforestación histórica de 2001-2014 para el periodo del NREF de 2015-2020	Promedio de emisiones históricas del periodo de referencia 2010-2019	Se cumple el anexo, párrafo 2b), de la decisión 12/CP.17, sobre las guías de presentación de información del NREF y provee mayor certidumbre para el pago basado en resultados, decisión 2/CP.13
Estimación de área y dinámica de cambio del dato de actividad (DA) por deforestación	Mapas de cambio de pared a pared (conteo de píxeles)	Muestreo sistemático estratificado (con intensificación)	Es posible conocer con mayor precisión el área deforestada y su dinámica de cambio (intervalos de confianza)
Representación coherente de las tierras y categorías de uso de la tierra	Bosque y no bosque	Categorías IPCC (2006)	Es posible conocer la conversión de las tierras de manera anual. Uso de las Directrices más recientes del IPCC, decisión 4/CP15
Dinámica de conversiones de tierras forestales por deforestación	Identifica deforestación antrópica y no antrópica	Identifica todas las conversiones de tierras forestales en función de las categorías de la tierra del IPCC	Reporte basado en las conversiones de tierras forestales de las categorías IPCC

⁶ <https://unfccc.int/resource/docs/2016/tar/per.pdf>

⁷ https://redd.unfccc.int/files/frel_submission_peru_modified.pdf

Estimación de densidades de carbono por estrato para el Factor de Emisión (FE)	Datos dasométricos provenientes de diversos estudios e inventarios realizados en el bioma amazónico	Datos dasométricos del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (INFFS) (panel 1 y 2), complementado con estudios realizados en el bioma amazónico (ForestPlots.net)	Inclusión de información del INFFS. Armonización de instrumentos nacionales para la gestión nacional forestal y reportes ante la CMNUCC
Estimación del carbono contenido en la biomasa de árboles	Uso de modelos alométricos generales, incluyendo reservorio de biomasa por arriba y debajo del suelo	Uso de modelos alométricos generales actualizados y específicos a nivel del bioma amazónico peruano, incluyendo el reservorio de materia orgánica muerta	Se incluye de manera adicional el reservorio de materia orgánica muerta y se documenta el proceso de estimación

La construcción del NREF se encuentra fuertemente vinculado al Sistema Nacional de Información Forestal y de Fauna Silvestre (SNIFFS)⁸ del Midagri-Serfor, que conforme a Ley Forestal y de Fauna Silvestre y sus reglamentos (2015)⁹, es el sistema de información que brinda recursos y servicios basados en información forestal oficial para la toma de decisiones multinivel, multiactor y multisectorial, incluyendo autoridades a nivel nacional, gobiernos regionales, instituciones públicas, sector privado, organizaciones de la sociedad civil y personas vinculadas a la actividad forestal.

El SNIFFS contiene varios módulos, dos de los cuales están en desarrollo y mejora continua, y contribuyen a la preparación e implementación de REDD+, que son el Módulo de Monitoreo de la Cobertura de Bosques (MMCB), un importante pilar REDD+, que proporciona los datos de superficie de bosques y su dinámica de cambio (datos de actividad); y el Módulo de Inventarios (MI-SNIFFS), que provee la información del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (INFFS) y mide los reservorios y sumideros de carbono en los bosques (factores de emisión).

Los módulos de este sistema se encuentran en diferentes fases de desarrollo, y son los que proporcionan los principales insumos para la construcción del NREF y el fortalecimiento en la preparación de los pilares REDD+, por lo cual, los métodos e insumos generados en la construcción del presente NREF, a su vez, también aportan bases esenciales al SNIFFS para su construcción, mejora e implementación, y con este vínculo asegurará consistencia en la medición y monitoreo a largo plazo.

⁸ <https://www.serfor.gob.pe/portal/sniffs>

⁹ Ley n.º 29763, disponible en: <http://repositorio.serfor.gob.pe/handle/SERFOR/620>

El MNCB también se encuentra vinculado al Sistema Nacional de Información Ambiental-SINIA¹⁰ del MINAM, que es la principal herramienta de apoyo para facilitar la sistematización, acceso y distribución de información ambiental. Es por esto, que su diseño y desarrollo se coordina con el MINAM a través de la DGCCD, y el Programa Nacional de Conservación de Bosques y Mitigación para Cambio Climático (PNCBMCC)¹¹, siendo un instrumento de apoyo a la gestión forestal y de interés nacional.

El objetivo principal del MNCB es evaluar de manera integral la deforestación y degradación de los bosques en el Perú. Su diseño se compone de cinco submódulos: deforestación, degradación, uso y cambio de uso del suelo, alertas tempranas de la deforestación y escenarios de referencia (ENBCC, 2016). De estos submódulos, solo se encuentra en funcionamiento, los de deforestación y alerta temprana, que opera con los métodos desarrollados para el dato de actividad del NREF de 2015 y sus resultados se publican periódicamente en el portal de Geobosques¹² del PNCBMCC. De tal manera que se integrarán mejoras a partir de los métodos usados en el presente NREF, como lo es la malla sistemática de muestreo para determinar la deforestación y la dinámica de cambio de uso del suelo (tabla 1).

En el MI-SNIFFS, el INFFS es la principal herramienta que permite conocer el estado de los bosques en el Perú, y su proceso de diseño e implementación se llevó a cabo con la asistencia técnica de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). El INFFS es multipropósito y se encuentra en proceso de colecta desde 2013; dentro de sus objetivos se encuentran el de cuantificar el estado y la calidad de los reservorios y sumideros de carbono en los bosques, para conocer el valor de su servicio ambiental en regulación climática nacional y global y su contribución potencial a la mitigación de cambio climático (Serfor, 2017). Actualmente se cuenta con datos parciales de las regiones Costa, Sierra y del bioma amazónico (Selva), que fueron usados en el presente NREF para robustecer las estimaciones de los contenidos de carbono en el bioma amazónico, las cuales fueron recogidas con herramientas diseñadas para dicho propósito.

Es importante destacar que la actualización del NREF, y el diseño y desarrollo que está en progreso en el SNIFFS, en su MNCB para REDD+ y el MI-INFFS, se da en el contexto de la recientemente promulgada Ley Marco sobre Cambio Climático (LMCC)¹³ y su reglamento (RLMCC)¹⁴, que integra herramientas nacionales de contabilidad de carbono, como lo es el marco normativo denominado Infocarbono¹⁵ que establece las disposiciones para elaborar los INGEI, encargando a la DGCCD del MINAM su

¹⁰ <https://sinia.minam.gob.pe/>

¹¹ Resolución Ministerial n.º 324-2015-MINAM, disponible en: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2015/11/RM-324-2015-MINAM.pdf>

¹² <http://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/view/index.php>

¹³ Ley n.º 30754, disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/ley-marco-cambio-climatico> 14 Decreto Supremo n.º 013-2019-MINAM, disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/decreto-supremo-que-aprueba-reglamento-ley-no-30754-ley-marco-cambio>

¹⁴ Decreto Supremo n.º 013-2019-MINAM, disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/decreto-supremo-que-aprueba-reglamento-ley-no-30754-ley-marco-cambio>

¹⁵ Decreto Supremo n.º 013-2014-MINAM, disponible en: <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-013-2014-minam/>

implementación, administración y conducción. Asimismo, asigna responsabilidades específicas a los ministerios para la elaboración de los Reportes Anuales de Gases de Efecto Invernadero (RAGEI). El Infocarbono como herramienta de gestión de los GEI permite:

1. Cumplir con los compromisos internacionales ante la CMNUCC (CN, BUR, BTR próximamente)
2. Medir el cumplimiento de las metas de las NDC del país
3. Identificar las fuentes de emisiones más importantes a nivel nacional y sectorial para formular las políticas, planes y medidas a decisiones basadas en información confiable de emisiones de GEI y remociones
4. Construir y afianzar las capacidades técnicas de los profesionales de las entidades del gobierno con conocimientos en las metodologías de medición de emisiones/remociones de GEI.

En el marco del Infocarbono, el MINAM tiene como función diseñar y aprobar, en coordinación con las entidades competentes, los formatos, los lineamientos, las metodologías, las guías u otros instrumentos similares, por lo que se crearon para cada sector, las guías metodológicas para los reportes sectoriales de actualización de inventarios GEI¹⁶. Estas guías proporcionan información sobre los insumos nacionales, datos de actividad, factores de emisión, supuestos y métodos aplicados conforme a las directrices del IPCC, y a su vez, aseguran la trazabilidad, replicabilidad, documentación y consolidan la información para los INGEI que se deben de realizar periódicamente para la CMNUCC (BUR 2019). Es importante destacar que con el conocimiento y experiencia adquirida por el equipo técnico de inventarios de GEI, las planillas de cálculo han sido mejoradas progresivamente en cuanto a su estructura y contenido, sobre todo por la aplicación de las Directrices del IPCC de 2006, que son las metodologías más actualizadas.

Los avances anteriormente descritos en la fase de preparación y fortalecimiento de REDD+, están conformando a su vez los elementos del Sistema para el Monitoreo de las Medidas de Adaptación y Mitigación que establece el RLMCC, que promoverá el marco reforzado de transparencia del Acuerdo de París.

Debido a la importancia del sector UTCUTS en su aporte de emisiones y remociones de GEI, se contempla que este sector tiene mayor potencial de lograr la meta NDC del país, lo cual se hace a través de la implementación de REDD+, lo que luego se verá reflejado en el Registro Nacional de Medidas de Mitigación (RENAMI).

De acuerdo con el RLMCC, el Sistema para el Monitoreo de las Medidas de Adaptación y Mitigación tiene por finalidad realizar el seguimiento y reporte del nivel de avance en la implementación de las medidas de adaptación y mitigación, así como lo referido a su financiamiento, el acceso a pagos por resultados, las transferencias de unidades de reducción de emisiones de GEI y el seguimiento de las NDC. El MINAM como autoridad

¹⁶ Resolución Ministerial n.º 168-2016-MINAM, disponible en: <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/resolucion-ministerial-n-168-2016-minam/>

nacional en materia de cambio climático es responsable de su diseño, conducción y administración.

Para la elaboración del RAGEI del sector UTCUTS se conformó el Grupo Técnico de Apoyo (GTA), donde participan la DGCCD y el PNCBMCC del MINAM, y el Serfor del Midagri. Esto en línea con lo establecido en la Resolución Ministerial n.º 168-2016-MINAM.

Los principales proveedores de información para la elaboración del RAGEI son, el PNCBMCC, a través del MNCB; la Dirección de Información y Registro (DIR) y la Dirección de Inventario y Valoración (DIV) del Serfor – Midagri, quienes proveen los datos de actividad y los factores de emisión. La DGCCD se encarga de recopilar la información y elaborar el RAGEI UTCUTS de manera periódica (figura 3).

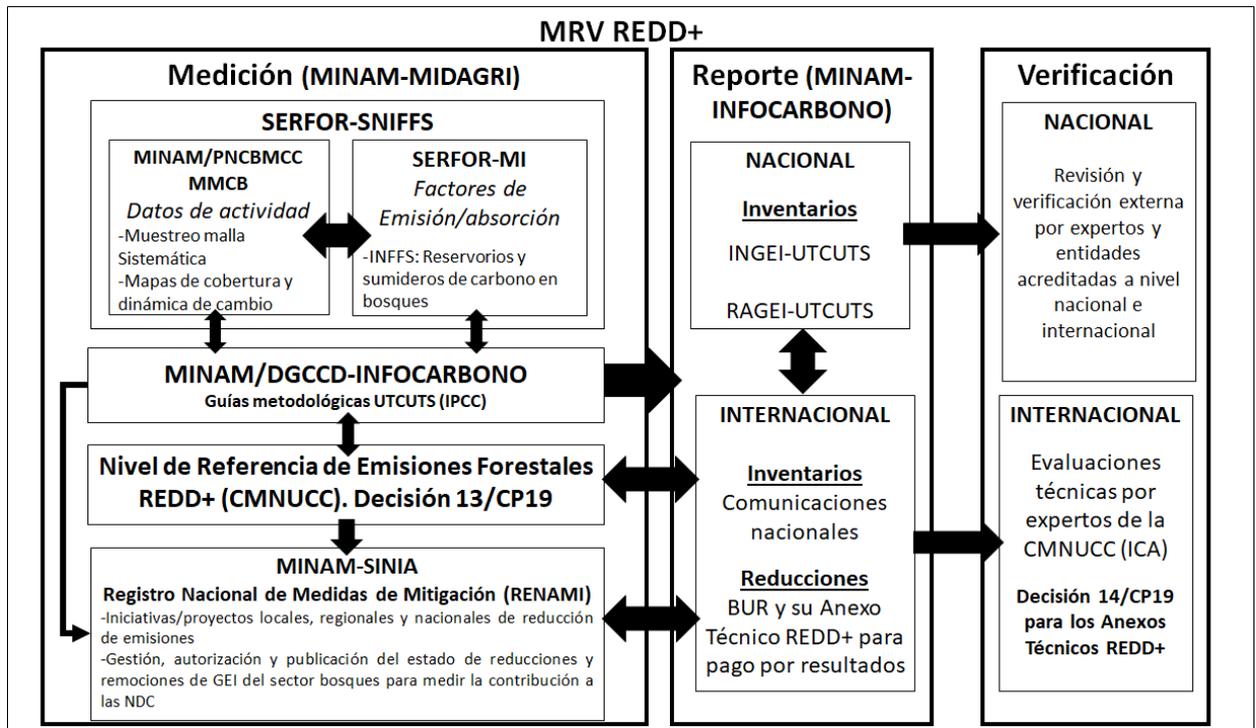


Figura 3. Marco de Medición Reporte y Verificación para REDD+ y su relación con el NREF

Para las medidas de mitigación, se ha establecido el RENAMI, en el cual también se incorporarán medidas REDD+. Dicha herramienta incluye una plataforma la cual ya se encuentra disponible (*link*: <https://products.markit.com/br-reg/public/peru-public/#/home>), contará con un procedimiento establecido, el cual incluye la recepción, administración e inscripción de información relacionada a la reducción y remoción de emisiones de GEI que se produce debido a la implementación de las actividades elegibles y acciones REDD+. El RENAMI permitirá asegurar reportes coherentes, consistentes y publicitarlos de forma transparente y organizada, con el reconocimiento de la reducción de emisiones a las iniciativas, proyectos, programas y similares que se encuentren inscritas.

En el marco del RENAMI, se está desarrollando un proceso denominado Anidación, el cual busca armonizar las Iniciativas Tempranas REDD+ (IT REDD+) (proyectos,

programas, acuerdos nacionales bilaterales o multilaterales) que implementan acciones elegibles de REDD+ a nivel local, con el NREF nacional. Esta armonización se va a concretar técnicamente mediante la asignación de cuotas del NREF, de esta manera se asegura la integridad ambiental (evita la doble contabilidad) al usar una sola herramienta de medición. Por otro lado, la anidación dentro del RENAMI aporta a brindar seguridad jurídica a todos los actores, reconociendo sus aportes a la reducción de emisiones y les da la oportunidad de acceder al mercado voluntario de carbono, con unidades de reducción de emisiones avaladas por un marco técnico y legal consistente, transparente, predecible y confiable. Por tanto, el RENAMI, será la plataforma pública mediante la cual se podrá conocer también la contribución de las reducciones de emisiones por REDD+ a las NDC.

Para el reporte en el MRV de REDD+, el MINAM a través de Infocarbono tienen el mandato de comunicar y poner a disposición del público información sobre las emisiones y remociones, a través de los RAGEI e INGEI para así comunicar el estado de las emisiones con inventarios nacionales e internacionales. Los INGEI, así como los anexos técnicos de REDD+¹⁷ conforman parte de los BUR, que se reportan a la CMNUCC.

En relación con la verificación, para el caso del ámbito subnacional, los reportes de actividades de proyectos de reducción de emisiones son verificados por terceros, expertos y entidades acreditadas nacional y/o internacionalmente. En el ámbito nacional la verificación se conduce mediante los mecanismos establecidos en la CMNUCC, a través de la evaluación técnica del proceso de consulta y análisis internacional para los BUR de la CMNUCC (ICA, por sus siglas en inglés) y a las directrices de los elementos que se incluyen en los anexos técnicos para pago por resultados de reducción de emisiones REDD+ conforme a la Decisión 13/CP19 (figura 3).

Este marco MRV, que se construye en la fase de preparación, se irá consolidando y complementará la ENBCC en su Implementación REDD+, donde está contenida la política y los planes de acción nacionales, y con el cual se podrá medir su avance en la implementación, reportar sus resultados de reducción y permitirán ser verificadas de manera transparente las acciones REDD+, donde el NREF es un componente principal y base para la medición de la reducción de emisiones de GEI.

¹⁷ RAGEI, INGEI, Comunicaciones Nacionales y BUR Disponibles en:
<https://infocarbono.minam.gob.pe/inventarios-nacionales-gei/intro/>

2.3. Planes, Acciones y Políticas Nacionales: La Estrategia Nacional sobre Bosques y Cambio Climático en su preparación e implementación de REDD+

El Perú, el 21 de julio de 2016, obtiene un importante logro en su fase de preparación para REDD+ completando su ENBCC, que concluye con el Decreto Supremo n.º 007-2016-MINAM¹⁸, cumpliendo con uno de los pilares REDD+ más importantes de los acuerdos de Cancún (1/CP.16, párrafo 73) referente al “Desarrollo de estrategias nacionales, planes de acción, políticas, medidas y fortalecimiento de capacidades” para la implementación de REDD+.

La ENBCC requirió de un extenso proceso colaborativo, de consenso y consulta, liderado por el MINAM, como punto focal REDD+, y el Midagri con Serfor, con participación del Ministerio de Economía y Finanzas, el Ministerio de Cultura, Ministerio de Relaciones Exteriores, el Centro Nacional de Planeamiento Estratégico, el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas, los gobiernos regionales, los pueblos indígenas, la sociedad civil y el sector privado, entidades académicas y cooperación internacional.

La escala es nacional, pero se centra en el bioma de la Amazonía peruana (Selva) al igual que el presente NREF, ya que es relevante como fuente de emisión de GEI, por encontrarse en este bioma casi la totalidad de los bosques del país (93,99 % según estimaciones a partir de información del mapa de cobertura vegetal [MINAM, 2015b]), así como la mayor disponibilidad de información donde se puede priorizar su atención y conocer mejor las causas de la deforestación. En la ENBCC se piensa incorporar en un futuro a mayor detalle las regiones Costa y Sierra y también incluir las causas de la degradación.

La estrategia describe el estado de los bosques, tendencias, marco institucional, política, planes y acciones en el país para la implementación de REDD+, con un enfoque general de impulsar una gestión de paisajes sostenibles e incrementar el valor del bosque, con la producción sostenible competitiva basada en el crecimiento económico verde, baja en carbono, con inclusión social y en sincronía con la conservación de bosques, la mitigación y adaptación al cambio climático. También vincula los compromisos internacionales de los cuales el Perú es signatario, como La Convención de Diversidad Biológica (CDB), Convenio de las Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación y Convenio Núm. 169 de la OIT sobre Pueblos Indígenas y Tribales - Declaración de las Naciones Unidas sobre los Derechos de los Pueblos Indígenas, incorporándose de manera integral a su planeación estratégica.

La visión de la ENBCC es: “Para el año 2030 el Perú ha reducido sus emisiones de GEI asociadas al sector UTCUTS y la vulnerabilidad del paisaje forestal y de la población que depende de ellos, asegurando el pleno respeto a los derechos de los ciudadanos, especialmente de los pueblos indígenas y de las poblaciones rurales vinculadas a los

¹⁸ Decreto supremo n.º 007-2016-MINAM, disponible en: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/ESTRATEGIA-NACIONAL-SOBRE-BOSQUES-Y-CAMBIO-CLIM%C3%81TICO-DECRETO-SUPREMO-007-2016-MINAM11.pdf>

bosques, con un enfoque territorial, intercultural y de género, en un contexto de adecuada gobernanza, productividad, competitividad y valoración de los ecosistemas forestales".

Los objetivos de la ENBCC contribuyen al sector UTCUTS y son parte integral de los objetivos de la Estrategia Nacional ante el Cambio Climático (ENCC)¹⁹ (MINAM, 2015a) que son: 1) La población, los agentes económicos y el Estado incrementan conciencia y capacidad adaptativa para la acción frente a los efectos adversos y oportunidades del cambio climático, y 2) la población, los agentes económicos y el Estado conservan las reservas de carbono y contribuyen a la reducción de las emisiones de GEI, además de otros instrumentos de gestión (MINAM, 2015a).

La ENBCC tiene por objetivo general reducir la pérdida y degradación de los bosques en el Perú, y por ende las emisiones de gases de efecto invernadero vinculadas al sector UTCUTS, y mejorar la resiliencia del paisaje forestal y de la población que depende de estos ecosistemas, con especial énfasis en los pueblos indígenas y campesinos, para reducir su vulnerabilidad frente al cambio climático, con dos objetivos específicos centrados en mitigación y adaptación, respectivamente que son:

1. Reducir las emisiones e incrementar la remoción de los GEI del sector UTCUTS de forma económicamente competitiva, sostenible, equitativa e inclusiva
2. Disminuir la vulnerabilidad ante el cambio climático del paisaje forestal y la población que depende de ellos, especialmente los pueblos indígenas, campesinos y grupos vulnerables, mejorando su resiliencia y capacidad adaptativa, considerando y revalorizando sus conocimientos tradicionales.

La visión de la estrategia es a 30 años debido a que sus metas se establecen en línea con las NDC para la mitigación y adaptación del cambio climático a 2030. De tal forma que la ENBCC es el instrumento principal para la reducción de deforestación y sus emisiones de GEI (objetivo 1), que asegura cumplir las metas de mitigación de la NDC, las cuales han sido actualizadas por el país recientemente y sometidas a la CMNUCC²⁰, con aspiraciones más ambiciosas, esperando que las emisiones no alcancen un nivel máximo de 208,8 MtCO₂eq como meta no condicionada y 179 MtCO₂eq, como meta condicionada, con reducción de emisiones del 30 y 40 % respectivamente a nivel nacional, donde el sector UTCUTS se espera que aporte más del 50 % en estas metas²¹.

La ENBCC tiene 8 Acciones Estratégicas (AE), 5 son para mitigación y 3 para adaptación. El aporte de REDD+ en el Perú va mucho más allá de la mitigación del cambio climático, considerando el importante papel que cumplen los bosques para la resiliencia de los

¹⁹ Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/374120/ENCC-FINAL-250915-web.pdf>

²⁰ Disponible en:

<https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Peru%20First/Reporte%20de%20Actualizacio%CC%81n%20de%20las%20NDC%20del%20Peru%CC%81.pdf>

²¹ Informe Final del Grupo de Trabajo Multisectorial de naturaleza temporal encargado de generar información técnica para orientar la implementación de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (GTM-NDC). Disponible en: https://www.minam.gob.pe/cambiodclimatico/wp-content/uploads/sites/127/2019/01/190107_Informe-final-GTM-NDC_v17dic18.pdf

sistemas biofísicos y socioeconómicos gracias a sus múltiples funciones, las que a su vez ayudan a enfrentar el cambio climático. Así las 5 AE de mitigación son:

1. Promover una agricultura y ganadería sostenible y competitiva adaptada al clima, que reduzca la presión sobre los bosques.
2. Aumentar el valor de los bosques, a través del Manejo Forestal Sostenible (MFS), incluyendo el manejo comunitario y otras actividades, haciéndolo más competitivo frente a actividades que generan deforestación y degradación.
3. Reducir las actividades ilegales/informales que generan deforestación y degradación de los bosques, fortaleciendo los sistemas de monitoreo, supervisión, fiscalización, control, vigilancia y sanción.
4. Reducir los impactos negativos de las actividades económicas de desarrollo sobre los bosques.
5. Completar la zonificación y ordenamiento forestal; y, el otorgamiento de derechos sobre los recursos forestales y de fauna silvestre y sobre las tierras ubicadas en los márgenes de los bosques.

Por lo tanto, las líneas prioritarias para la implementación de REDD+ se integran principalmente en las acciones estratégicas relacionadas con la promoción de actividades agropecuarias sostenibles para detener el avance de la frontera agrícola (AE.1), el manejo forestal sostenible de bosques y la valorización de los bosques (AE.2), la retribución por pago de los servicios ambientales que proporcionan los bosques (AE.4) y al manejo integral sustentable del territorio y la conservación biológica a través de áreas naturales protegidas (AE.5). Las líneas de implementación REDD+ son:

1. Promover el acceso a mercados que valoricen y compensen adecuadamente el origen sostenible de los productos de los bosques y contribuir al desarrollo de, o la articulación con, mercados verdes para productos agrarios libres de deforestación (AE.1).
2. Promoción de sistemas agroforestales, con pequeños, medianos y grandes productores (AE.1).
3. Desarrollar paquetes tecnológicos considerando aspectos técnicos, financieros y de productividad por hectárea para cultivos comerciales libres de deforestación y baja huella de carbono (AE.1).
4. Impulsar la identificación, difusión y aplicación de técnicas de manejo forestal sostenible, incluyendo la extracción forestal de bajo impacto, en concesiones, comunidades y predios (AE.2).
5. Promover el manejo forestal comunitario, articulado con la visión de desarrollo plasmado en los planes de vida de cada comunidad (AE.2).
6. Desarrollar programas especializados que promuevan el manejo sostenible de los bosques asociado a productos maderables y no maderables, fauna silvestre, bionegocios, o ecoturismo (AE.2).
7. Implementar la iniciativa de REDD+ Indígena Amazónico (AE.2).
8. Impulsar el desarrollo de incentivos para la conservación de bosques, como las

Transferencias Directas Condicionadas²² (TDC) y otros mecanismos, en particular los asociados a la Ley de mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos²³ (AE.4).

9. Promover programas específicos para fortalecer los sistemas de conservación y aprovechamiento sostenible de los bosques amazónicos, bosques estacionalmente secos y bosques andinos (AE.5).
10. Consolidar el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado y los sistemas regionales de conservación (AE.5)

La ENBCC define líneas y acciones estratégicas para lograr el objetivo de reducir las emisiones de GEI en el sector UTCUTS, así como avanzar en el cumplimiento de las NDC, en el marco de las decisiones de la CMNUCC y del Acuerdo de París. Las NDC para mitigación se enmarcan en políticas, programas e instrumentos y medidas sectoriales. La ENBCC propone una teoría de cambio, que se basa en abordar las causas directas e indirectas de la deforestación, y las acciones estratégicas y sus líneas de implementación servirán como marco orientador para el desarrollo de rutas estratégicas de implementación REDD+.

El Perú viene consolidando los elementos primordiales de la fase de preparación para REDD+, los instrumentos legales e institucionales que fundamenta el Reglamento de la Ley n.º 30754, LMCC y la ENBCC. Por lo tanto, el Perú está en dirección de entrar en la fase de una completa implementación REDD+ subnacional en el bioma amazónico, donde a la par se vienen realizando actividades de implementación en el territorio (ENBCC, 2016).

En esta línea, el Perú en conjunto con los gobiernos de Noruega y Alemania, en el marco de la Cumbre Mundial sobre el Clima de las Naciones Unidas, realizada en Nueva York en 2014, firmaron la Declaración Conjunta de Intención²⁴ (DCI) sobre la cooperación voluntaria entre los ministerios de ambiente de cada país, con el propósito de reducir las emisiones GEI procedentes de la deforestación y degradación de los bosques, contribuir a la meta de emisiones neta cero del sector cambio de uso y forestal en el Perú al 2021 y reducir deforestación al 50 % en 2017, promoviendo el desarrollo sostenible en la agricultura, manejo forestal y sector minero, en un esquema de pagos por resultados que no implique la compra o venta de carbono procedente de los bosques amazónicos.

En este contexto la DCI es un acuerdo que permite implementar la ENBCC y REDD+ y cumplir las NDC. Para lograrlo, la DCI, también contribuye a las tres fases REDD+ en conformidad con los acuerdos de Cancún (decisión 1/CP.16), pero con un énfasis central en lograr la implementación y pagos por reducciones de emisiones REDD+, donde se encuentra la mayor parte del financiamiento voluntario comprometido, para ser usados en política pública que pueda asegurar la conservación de bosques y mitigación de cambio climático.

En función de los compromisos del gobierno del Perú, la DCI se estructura en tres fases.

²² Disponible en: <http://www.bosques.gob.pe/transferencias-directas-condicionadas>

²³ Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%c2%b0-30215.pdf>

²⁴ Disponible en: <http://www.bosques.gob.pe/archivo/6-dci-acuerdo-peru-noruega-alemania-dci.pdf>

La fase de preparación, donde se desarrollan instrumentos de gestión para realizar las acciones a favor de bosques, la de transformación con acciones de campo que tendrán impacto en la reducción de la pérdida de bosques y de las emisiones GEI y la de contribución por reducción verificada y el pago por resultados.

En el marco de la DCI, el NREF es un elemento importante tanto en la fase 1 de preparación como en la fase 3 en el pago por resultados, ya que en sus propósitos del acuerdo de la DCI, el NREF debe ser construido a partir de las “emisiones históricas y ser consistente y comparable con los métodos y datos presentados en la CMNUCC y sus decisiones importantes”, que en el marco MRV para REDD+ -que está en construcción- (figura 3) será esencial para la medición de la contribución por reducciones verificadas.

En la DCI, se ha avanzado de manera simultánea en las fases de preparación e implementación, esta última cuenta con apoyo económico desde el año 2016²⁵. Así, como parte de la implementación, se resalta la afiliación en tierras de comunidades nativas en el bioma amazónico de 2 046 364 ha de bosque a 2018, bajo el mecanismo de las TDC²⁶. Esta meta contribuye directamente en la ENBCC, a su acción estratégica 4, de reducir los impactos negativos de las actividades económicas de desarrollo sobre los bosques, en la línea prioritaria de implementación REDD+, sobre Impulsar el desarrollo de incentivos para la conservación de bosques.

La DCI, suscrita en el 2014, estuvo vigente hasta finales de 2020, por lo que se hicieron las coordinaciones para la ampliación del acuerdo. Finalmente, la firma de la adenda a la DCI se dio en mayo de 2021, que amplía el plazo del acuerdo por cinco años más e incorpora como un nuevo socio al Reino Unido, y a USAID como observador, y se mantienen los compromisos de cumplimiento del gobierno peruano.

Lo anterior es un ejemplo de cómo en el Perú, mediante el conjunto de actividades coordinadas en el terreno, que se realizan en el contexto nacional y subnacional, con el apoyo financiero internacional para la preparación e implementación REDD+, en un corto y mediano plazo, podrán verse reflejadas para el pago por resultados verificados, por la reducción de emisiones por acciones REDD+, basados en su NREF y el Marco MRV para REDD+, cumpliendo los objetivos de la ENBCC y conociendo cuantitativamente, el impacto sobre las metas de mitigación del Perú en su NDC.

Un punto de inflexión en la gestión del cambio climático en el Perú, y por tanto la implementación de REDD+ lo constituyó la promulgación de la LMCC en el 2018 y su reglamentación en el año 2019. Esta ley establece mandatos claros y define lineamientos específicos sobre la gestión integral frente al cambio climático a los sectores gubernamentales, gobiernos regionales, gobiernos locales y actores no estatales; incluyendo cuestiones relativas a REDD+.

²⁵ Preparando el camino para la plena implementación de la fase de “transformación” de la DCI. Disponible: <http://www.bosques.gob.pe/archivo/24-proyecto-pnud-dci.pdf>

²⁶ Reporte de cumplimiento de la declaración conjunta de intención sobre REDD+ suscrita entre los gobiernos de Perú, Noruega y Alemania al 2018. Disponible en: https://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/wp-content/uploads/sites/127/2019/10/190709-Reporte-DCI-2018_VF.pdf

El proceso de elaboración del RLMCC se llevó a cabo de manera participativa, transparente y descentralizada, y en el respeto a los derechos colectivos de los pueblos indígenas.

De este modo, en el artículo 7, del RLMCC, se establecen las funciones de la autoridad nacional en materia de cambio climático para la implementación de REDD+, las mismas que comprenden:

- 1) Realizar el monitoreo y evaluación de la implementación de la ENBCC o su equivalente, elaborada según las recomendaciones de la CMNUCC y de la normativa nacional vigente relacionada a bosques y cambio climático; así como de las salvaguardas en el marco de REDD+. Este monitoreo y evaluación se realiza con la participación de las organizaciones representativas de los pueblos indígenas u originarios, de conformidad con lo establecido en los artículos 12, 13, 14, 15 y 17.
- 2) Orientar la gestión de las salvaguardas para REDD+, considerando los aportes de la PPICC, para proveer y monitorear información periódica a las distintas fuentes y tipos de financiamiento relacionados a pagos por resultados.
- 3) Elaborar los reportes de avance de REDD+ que forman parte del reporte del nivel de avance en la implementación de las medidas de mitigación elaborado en el marco del Sistema para el Monitoreo de las Medidas de Adaptación y Mitigación.
- 4) Establecer los criterios y procedimientos para registrar las acciones REDD+ en el Registro Nacional de Medidas de Mitigación, con especificación de RIA y RIAC según corresponda, y de conformidad con el artículo 56.
El diseño de los criterios y procedimientos se realiza con la participación de actores estatales y no estatales, como los pueblos indígenas u originarios, de conformidad con los artículos 12, 13, 14, 15 y 17.
- 5) Diseñar el proceso de recepción, administración y distribución de los beneficios provenientes de pagos por resultados de REDD+ con la participación de actores estatales y no estatales, priorizando la participación diferenciada de los pueblos indígenas u originarios y sus propuestas, de conformidad con lo establecido en los acuerdos y convenios internacionales vigentes, tales como el Convenio 169 de la OIT, así como el artículo 23.4 de la LMCC y los artículos 12, 13, 14, 15 y 17.
- 6) Implementar y conducir el proceso de recepción, administración y distribución de los beneficios provenientes del pago por resultados de REDD+, considerando las iniciativas de los pueblos indígenas u originarios según corresponda, como RIA y RIAC, de conformidad con los lineamientos elaborados por la autoridad nacional en materia de cambio climático.

3. MARCO DEL NIVEL DE REFERENCIA DE EMISIONES FORESTALES POR DEFORESTACIÓN DEL PERÚ

3.1. Escala del NREF y área de cobertura del bioma amazónico del Perú

La presente actualización del NREF, al igual que el NREF presentado en 2015, es subnacional, comprendiendo la región de la Amazonía peruana, y se considera como una medida intermedia²⁷. La Amazonía peruana comprende el 60,50 % del país, con una extensión de 78 308 800,74 ha y con el 87,25 % de su territorio cubierto por bosques. Los bosques húmedos amazónicos contienen casi toda la cobertura forestal del Perú, con una extensión total de 68 324 569,02 ha (2019) que representan el 93,99 % de la cobertura forestal de todo el país.

Se tiene como propósito incluir de manera gradual a los bosques de las otras regiones naturales del país, que son los bosques estacionalmente secos (región Costa), con 3 704 600 ha y los bosques andinos con 661 355 ha (región Sierra), que contienen el 5,1 % y 0,91 % respectivamente de la cobertura de bosques del país, y así poder llegar a abarcar los bosques a nivel nacional (MINAM, 2015b).

Para conocer a detalle el estado de los bosques, el bioma amazónico se divide en cuatro regiones ecológicas o ecozonas, que son la base para la planificación y ejecución del INFFS. Las ecozonas se determinaron a partir de criterios fisiográficos, fisonómicos y florísticos (ecosistemas y cobertura vegetal), de almacenamiento de carbono (productividad primaria), de localización de humedales y su accesibilidad (Minagri, 2016) [figura 4]. Estas se definen a continuación:

Selva alta accesible (SAA): Tiene una extensión de 10 972 886,67 ha (8,48 % del país), se extiende de norte a sur del país en la parte oriental de la cordillera de los Andes, en el rango de los 500 metros sobre el nivel del mar (m s. n. m.) hasta el límite de la región natural de Sierra a los 3800 m s. n. m. Va desde los departamentos de Cajamarca y Amazonas en el norte, hasta el departamento de Puno en el sur. La cubre una superficie de bosque de 6 772 205,68 ha en 2019 (tabla 2), con vegetación de montaña con alta cobertura y árboles grandes, de fustes rectos y copas amplias de hasta 35 m en las elevaciones más bajas, y árboles bajos, de fustes irregulares de hasta 10 m en las elevaciones más altas. Esta ecozona se caracteriza por contar con una red de infraestructura vial en buenas condiciones, que la hace accesible para realizar diversas actividades económicas, lo cual la somete a mucha presión de la población, y existe un gran uso agropecuario, donde históricamente han ocurrido y ocurren importantes procesos de deforestación.

Selva Alta de Difícil Acceso (SADA): Tiene una extensión de 11 132 433,90 ha (8,60 % del país) con condiciones fisonómicas y de distribución florística similar al de la SAA. Su

²⁷ Decisión 12/CP.17, párr. 11; Decisión 13/CP.19, Anexo, párr. 2 (c)

particularidad es que posee una fisiografía accidentada, generalmente montañosa, de fuertes pendientes, lo que la hace de difícil acceso. La SADA cubre una superficie de bosques de 10 439 319,00 ha en 2019 (tabla 2), que generalmente se encuentran en un alto grado de conservación. En esta zona se han declarado varias áreas naturales protegidas por el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (Sernanp).

Selva Baja (SB): Tiene una extensión de 47 472 740,55 ha, es la ecozona más grande en el territorio (36,70 % del país) y cubre el 60.6 % del bioma amazónico. Se extiende en la parte oriental del Perú en las tierras bajas de la cuenca del Amazonas, desde el departamento de Loreto en el norte, hasta el departamento de Madre de Dios al sur. Su rango altitudinal va desde los 100 m s. n. m. en la frontera de Brasil y Colombia, hasta los 500 m s. n. m. en los departamentos de San Martín, Huánuco y Cusco. Es la ecozona con mayor superficie de bosque, con 44 122 122,28 ha en 2019 (tabla 2), y su vegetación se compone predominantemente de árboles, que pueden llegar hasta los 45 metros de altura con copas amplias y frondosas. Tiene unidades fisiográficas de complejos de orillares con llanuras meándricas, terrazas bajas, medias, altas, colinas bajas (que son las predominantes) y colinas altas, que definen los nombres de las coberturas vegetales y contiene una gran riqueza de especies arbóreas. Su accesibilidad depende de su red hidrográfica y se complementa con su fisiografía donde predominan terrazas y colinas bajas.

Zona Hidromórfica (ZH): Tiene una extensión de 8 730 739,62 ha (6,75 % del país), se localiza dentro del departamento de Loreto y es conocida como la formación geológica Ucamara (Ucayali-Marañón), que contiene grandes humedales catalogados en el Convenio de Ramsar presentes en el abanico de Pastaza entre los ríos Tigre, Pastaza y Marañón. Aquí se encuentran los humedales de la Reserva Nacional Pacaya Samiria, entre los ríos Marañón, Ucayali y Huallaga y los humedales del río Tapiche. Estos humedales están sobre terrazas aluviales cóncavas con suelos de pobres drenajes que durante las crecidas de los ríos se mantienen generalmente inundadas. Los bosques cubren 6 990 922,05 ha en 2019 (tabla 2), en donde dominan las palmeras de aguaje (*Mauritia flexuosa*) que forman un tipo de vegetación homogénea conocida como “aguajal”. También presentan vegetación asociada al renaco (*Ficus* sp.) y diversas palmeras (*Euterpe precatoria*, *Astrocaryum huicungo*, *Bactris* sp.), con algunas formaciones vegetales con cubierta herbácea arbustiva de las familias Aráceas y Poáceas. Comparte otras coberturas vegetales con presencia de árboles que se encuentran también en la SB. Su accesibilidad es limitada por la predominancia de las zonas pantanosas.

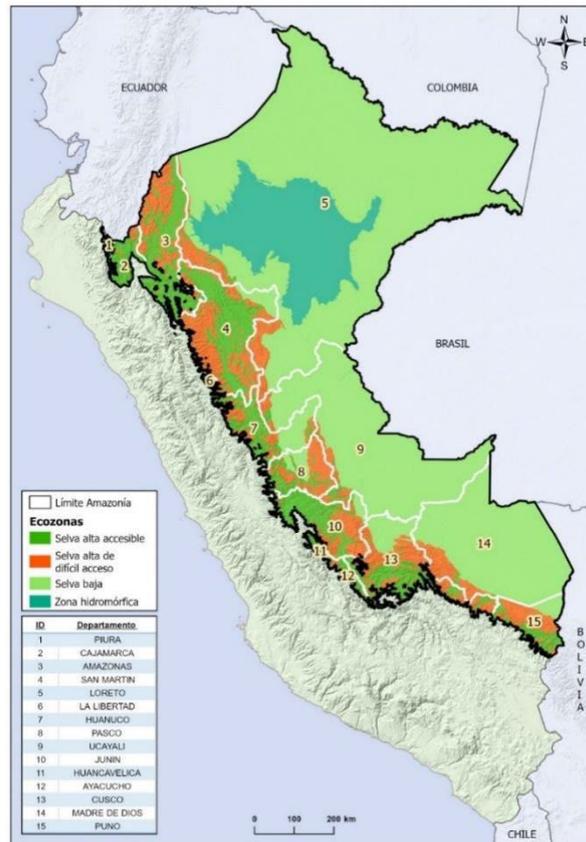


Figura 4. Límite del bioma amazónico peruano, sus ecozonas y departamentos

Los bosques del bioma amazónico tienen una extensión de 69 259 390,91 ha en el año inicial del NREF (2010) y 68 324 569,02 ha de bosques en el año final (2019). La superficie de bosque por ecozona en la Amazonía, para el 2019 en área (ha) y porcentajes se representa en la tabla 2.

Tabla 2. Superficie de bosque y cobertura de área territorial por ecozona en el bioma amazónico

Ecozona	Área territorial del bioma amazónico (ha)	% Territorial nacional	% Territorial bioma amazónico	Área de Bosque en ha (2019)*	% Bosque bioma amazónico (2019)*
Selva alta accesible	10 972 886,67	8,48	14,22	6 772 205,68	9,91
Selva alta difícil acceso	11 132 433,90	8,60	14,01	10 439 319,00	15,28
Selva baja	47 472 740,55	36,68	60,62	44 122 122,28	64,58
Zona hidromórfica	8 730 739,62	6,75	11,75	6 990 922,05	10,23
Total	78 308 800,74	60,50	100	68 324 569,01	100

*= NREF 2021

El bioma amazónico cuenta con 15 de los 24 departamentos del Perú con diferentes proporciones de su territorio (tabla 3, figura 4). Loreto, Ucayali y Madre de Dios son los departamentos que están completamente dentro del bioma amazónico y los que más territorio cubren, con 37 511 602,82 ha, 10 534 162,40 ha y 8 498 852,18 ha respectivamente, que en su conjunto ocupan el 72 % del territorio y se ubican principalmente sobre la ecozona SB.

Los departamentos de San Martín, Amazonas, Pasco, Huánuco, Junín y Cusco están parcialmente dentro de territorio amazónico con más del 50 % y menos del 95 % de su territorio departamental, estos ocupan el 24 % del bioma amazónico y se encuentran principalmente sobre las ecozonas de la SAA y SADA. El resto de los departamentos que son Cajamarca, Puno, Ayacucho, La Libertad, Huancavelica y Piura, tienen menos del 25 % de su territorio departamental y representan solo la ocupación del territorio del 3,79 % del bioma amazónico, por encontrarse en los límites de la región Sierra y, por lo tanto, también ubicados principalmente en las ecozonas de SAA y SADA (tabla 3).

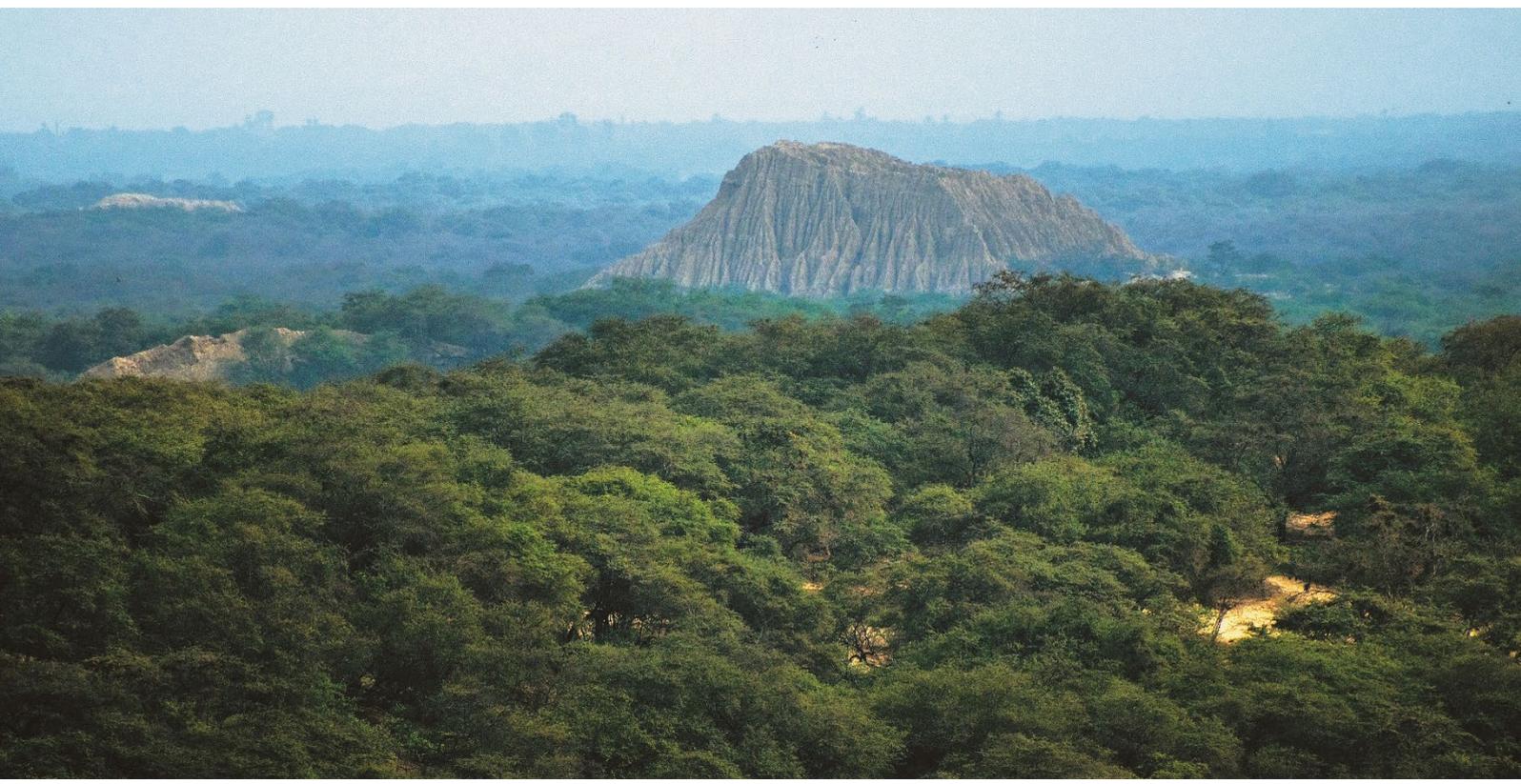


Tabla 3. Superficie departamental y superficie ocupada por los departamentos que se encuentran en el bioma amazónico peruano para cada ecozona.

Departamento	Superficie en Amazonía (Ha)	Superficie en Selva baja (Ha)	Superficie en Selva alta difícil (Ha)	Superficie en Selva alta accesible (Ha)	Superficie en zona hidromófica (ha)	Superficie cubierta por el departamento en la Amazonía (%)
Loreto	37 511 603,82	27 246 283,56	1 382 032,08	152 548,56	8 730 739,62	47,90
Ucayali	10 534 163,40	9 788 139,18	526 054,23	219 969,99	0	13,45
Madre de Dios	8 498 853,18	7 725 739,95	719 089,74	54 023,49	0	10,85
San Martín	4 863 122,91	405 032,58	2 188 426,23	2 269 664,10	0	6,21
Amazonas	3 625 441,65	0	1 385 689,95	2 239 751,70	0	4,63
Pasco	1 763 882,19	322 998,84	840 663,72	600 219,63	0	2,25
Huánuco	2 357 276,58	706 354,65	618 949,35	1 031 972,58	0	3,01
Junín	2 510 375,67	158 455,71	920 161,17	1 431 758,79	0	3,21
Cusco	3 672 773,46	802 869,39	1 534 106,97	1 335 797,10	0	4,69
Cajamarca	781 792,29	0	111 787,74	670 004,55	0	1,00
Puno	1 609 895,16	316 866,69	777 713,94	515 314,53	0	2,06
Ayacucho	345 154,59	0	94 468,23	250 686,36	0	0,44
La Libertad	82 948,23	0	17 227,26	65 720,97	0	0,11
Huancavelica	69 129,45	0	423,72	68 705,73	0	0,09
Piura	82 388,16	0	15 639,57	66 748,59	0	0,11
TOTAL	78 308 800,74	47 472 740,55	11 132 433,90	10 972 886,67	8 730 739,62	100

En el contexto de la división por ecozonas y sus departamentos, es importante agregar que en el bioma Amazónico se concentra el 13,7 % de la población del Perú, que realiza una actividad antrópica con impactos significativos a lo largo y ancho del territorio, con diversas actividades agropecuarias, extractivas y forestales (BUR, 2019; MINAM, 2016). Dentro del bioma amazónico se han identificado 457 280 unidades agropecuarias, donde la mayoría de los productores son individuales (99 %), y se dedican a actividades agrícolas y ganaderas especializadas. Las comunidades nativas también se dedican en gran medida a actividades agropecuarias, pero su uso en el territorio es comunitario empleando su conocimiento tradicional, con actividades más diversificadas y poseen grandes extensiones de superficies de bosques, que aprovechan para obtener recursos (Robiglio *et al.* 2015).

Las diferentes unidades de análisis, según los derechos asignados sobre los bosques, y los actores principales vinculados a ellas, de acuerdo con el ordenamiento forestal previsto en la Ley n.º 29763 incluyen: a) Bosques locales, b) Bosques protectores, c) Bosques en tierras de comunidades campesinas y nativas, d) Bosques en predios privados, e) Bosques de producción permanente y f) Bosques en reserva; y a ellos se suman las áreas naturales protegidas. Igualmente, con fines de manejar una información más precisa, corresponde incluir las concesiones forestales y otros derechos, como los de cesión en uso para sistemas agroforestales o sobre bosques residuales o remanentes.

Como categorías territoriales, se tienen las áreas naturales protegidas, en donde se realizan actividades principalmente de conservación, que ocupan el 24,85 % del territorio, y que además incluyen áreas de conservación regional y de conservación privada. En un 21,86 % del territorio se encuentran las comunidades nativas, campesinas y las reservas territoriales indígenas con títulos de propiedad. En cuanto al uso para una gestión integral de los bosques, están los bosques de producción permanente, donde se realizan actividades de aprovechamiento forestal maderable, no maderable, manejo de fauna silvestre, ecoturismo y reforestación que comprenden 23,55 % del territorio. También se encuentran los predios rurales que solo ocupan un 2,51 % del bioma amazónico. Y, por último, como una zona especial, están categorizados los humedales de la Amazonía (ZH), con el 3 % del territorio que, por su naturaleza biofísica, socioeconómica y geopolítica, requieren una estrategia especial para su uso (figura 5).

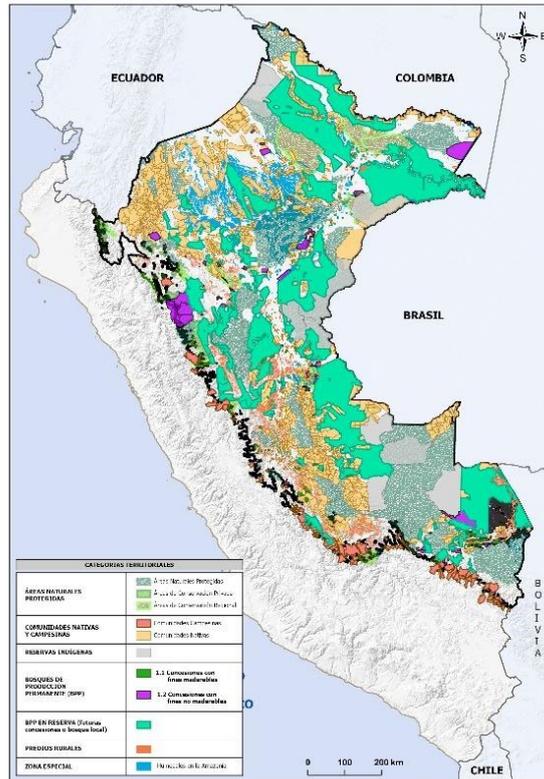


Figura 5. Categorías territoriales en la Amazonía peruana

Aunque, las áreas de bosques sin derechos forestales asignados y que no corresponden a ninguna categoría legal de ordenamiento del patrimonio forestal representan solo el 23,95 %, presentan un mayor porcentaje de deforestación acumulada, la que alcanza el 45 % de la pérdida total de bosque. Esto incluye las tierras de los pueblos indígenas que aún no están reconocidas y formalmente tituladas (ENBCC, 2016)

3.2. Definición de bosque

Para efectos del presente NREF, el bosque se define como: “Ecosistema predominantemente arbóreo que debe tener una superficie mayor de 0,5 ha, con un ancho mínimo de 20 metros y presenta una cobertura de copa mínima del 30 %. La vegetación predominante está representada por árboles de consistencia leñosa, que tienen una altura mínima de cinco metros para la selva amazónica. Incluye los bosques naturales, secundarios y las plantaciones”.

La definición de bosque del NREF se basa en la Ley Forestal y de Fauna Silvestre (LFFS)²⁸ y se alinea con el marco metodológico del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (INFFS), que lo definen como:

²⁸ Ley n.º 29763, disponible en: <http://repositorio.serfor.gob.pe/handle/SERFOR/620>

Ley Forestal y de Fauna Silvestre

“Ecosistema en que predominan especies arbóreas en cualquier estado de desarrollo, cuya cobertura de copa supera el 10 % en condiciones áridas o semiáridas o el 25% en circunstancias más favorables”.

Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre

“Ecosistema predominantemente arbóreo que debe tener una superficie mayor de 0,5 ha, con un ancho mínimo de 20 metros y presenta una cobertura de copas mínima del 10 %. La vegetación predominante está representada por árboles de consistencia leñosa que tienen una altura mínima de dos metros en su estado adulto para Costa y Sierra, y cinco metros para la Selva amazónica” (Minagri- MINAM-FAO, 2016).

Ambos conceptos hacen la distinción entre regiones naturales más áridas y semiáridas de Costa y Sierra y la región de la Selva amazónica, donde se tienen bosques más húmedos con condiciones “favorables” con una alta productividad primaria, y se presentan árboles de mayor altura y bosques con mayor cobertura. Por lo tanto, se determinó en la definición del NREF la altura de 5 metros y una cobertura de 30 % por las condiciones bioclimáticas del bioma amazónico.

En el marco del Protocolo de Kyoto se destaca la necesidad de establecer una definición de lo que es un bosque, basada en parámetros como el área mínima, la cobertura de copa y la altura de los árboles (GOFC-GOLD, 2016). Dependiendo del contexto y el objetivo de ciertas actividades, la definición de bosques puede variar.

La definición de bosque del NREF actualizado, también busca armonizarse para el bioma amazónico a los diferentes umbrales de definición de bosque, que el Perú utiliza para diferentes propósitos, como el reporte para la Evaluación de Recursos Forestales Mundiales (FAO), el mecanismo de desarrollo limpio (MDL) reportado a la CMNUCC, las comunicaciones nacionales, INGEI (2014) y BUR (2019) del Perú que actualmente utilizan la definición de bosque establecida para el NREF de 2015 (tabla 4).

Tabla 4. Umbrales de la definición de bosque en el Perú para diferentes propósitos de reporte

Umbrales de bosque	FAO-FRA	LFFS	INFFS	MDL	NREF 2015 INGEI (2014)-BUR (2019)	NREF 2021
Superficie mínima (ha)	>0,5		>0,5	>0,5	0,09	>0,5
Cobertura forestal mínima (%)	10	10-25	10-30	30	30	30
Altura arbórea mínima (m)	5		2-5	5	5	5
Ancho mínimo de faja (m)			20			20

Como se aprecia en la tabla 4, el NREF presentado en 2015, define “bosque” de manera similar al INFFS, adoptando como área mínima lo que las tecnologías para la medición remota permiten. Así se estableció el área mínima en 0,09 ha, con base a los productos Landsat (área de un píxel de 30 m X 30 m), que se ajusta a los métodos desarrollados por la Universidad de Maryland, usados en la cadena de procesamiento para la detección de cambios por deforestación, que consistieron en la elaboración de mapas de pared a pared y un algoritmo de clasificación para la detección de cambio por pérdida bosque (bosque y no bosque) (MINAM - Minagri, 2014).

El ajuste del área mínima a 0,5 ha en el actual NREF con respecto al NREF de 2015, se hace bajo el enfoque de mejora gradual para homogeneizar el área mínima con las definiciones de bosque del Perú empleadas para otros propósitos, y por la mejora en el cambio de métodos usados para estimar el dato de actividad, utilizando una malla de muestreo sistemático estratificado, en donde se detecta la deforestación a partir de la interpretación visual y donde el porcentaje de cobertura es esencial como criterio de determinación de un área que se considere bosque (ver sección 4.1.1 sobre datos de actividad), la cual no podía ser evaluada bajo el criterio establecido en el NREF de 2015. Esta definición se adoptará también por el país para futuros reportes hacia la CMNUCC, y guardará la consistencia metodológica que se requiere conforme al anexo de la Decisión 12/CP.17 inciso (d).

3.3. Categorías de bosques y usos del suelo del bioma amazónico

En el NREF, las categorías del uso de la tierra se establecieron conforme a las directrices de IPCC (2006) como Tierras forestales, Tierras agrícolas, Praderas, Asentamientos humanos, Humedales y Otras tierras. Todas estas categorías se encuentran presentes en las ecozonas de la SAA, SADA, SB y ZH que, al tratarse de áreas extensas del territorio, contienen una gran diversidad de tipos de bosques y usos del suelo en el Perú. En la tabla 5, se describe su correspondencia en cuanto a los usos de la tierra del Perú (Nivel 2) [MINAM 2021a], las categorías del mapa nacional de ecosistemas del Perú²⁹ (Nivel 3) y de su clasificación en el mapa nacional de cobertura vegetal del Perú³⁰ (Nivel 4) [MINAM 2019; MINAM, 2015].

²⁹ Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-nacional-ecosistemas-peru>

³⁰ Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/patrimonio-natural/wp-content/uploads/sites/6/2013/10/MAPA-NACIONAL-DE-COBERTURA-VEGETAL-FINAL.compressed.pdf>

Tabla 5. Categorías IPCC, ecosistemas y coberturas forestales en el bioma amazónico

Nivel 1 (IPCC)	Nivel 2 (uso de la tierra)	Nivel 3 (ecosistemas)	Nivel 4 (cobertura vegetal)		
Tierras forestales (bosque NREF)	Bosque Natural	Bosque aluvial inundable	Vegetación de isla		
			Bosque de terraza inundable por agua negra		
			Bosque de llanura meándrica		
Tierras forestales (bosque NREF)		Bosque de terraza no inundable	Bosque de terraza no inundable	Bosque de terraza baja	
				Bosque de terraza baja con castaña	
				Bosque de terraza alta	
				Bosque de terraza alta con castaña	
				Bosque de terraza baja con paca	
				Bosque de terraza alta con paca	
Tierras forestales (bosque NREF)		Bosque Natural	Pacal	Pacal	
			Varillal	Vegetación esclerófila de arena blanca (varillal)	
			Bosque de colina baja	Bosque de colina baja con shiringa	
				Bosque de colina baja con castaña	
				Bosque de colina baja	
				Bosque de colina baja con paca	
			Bosque de colina alta	Bosque de colina alta	
				Bosque de colina alta con paca	
			Bosque de colina de Sierra del Divisor	Bosque de colina alta del Divisor	
	Tierras forestales (bosque NREF)		Bosque Natural	Bosque montano de yunga	Bosque de montaña
					Bosque de montaña con paca
					Bosque de palmeras de montaña montana
Bosque de montaña montano					
Bosque semideciduo de montaña					

	Bosque basimontano de yunga	Bosque de terraza baja basimontano
		Bosque inundable de palmeras basimontano
		Bosque de montaña basimontano con paca
		Bosque de terraza alta basimontano
		Bosque de montaña basimontano
	Bosque estacionalmente seco oriental	Bosque de montaña montano
	Bosque altimontano (pluvial) de yunga	Bosque de montaña altimontano
	Bosque estacionalmente seco interandino	Bosque xérico interandino
Aguajal / bosque mixto	Pantano de palmeras	Bosque inundable de palmeras (aguajal)
	Sabana húmeda con palmeras	Sabana hidrofítica de palmeras
Bosque plantado	Plantación forestal	Plantación forestal

Tierras agrícolas	Sin árboles	Cultivos transitorios ¹ (zona agrícola)	No aplica
	Con árboles	Cultivos permanentes ¹ (zona agrícola)	
	Arroz	Cultivos transitorios ¹ (zona agrícola)	
	Palma aceitera	Cultivos permanentes ¹ (zona agrícola)	
	Sistema agroforestal		
Praderas	Praderas con árboles	Pastos cultivados ¹ con árboles dispersos (vegetación secundaria)	No aplica
	Praderas sin árboles	Pastos cultivados ¹ (vegetación secundaria)	
Humedales	Cuerpos de agua	Río	Río
		Lago y laguna	Lagunas, lagos y cochas
	Cobertura inundable en no bosque	Pantano herbáceo-arbustivo	Herbazal hidrofítico (pantano herbáceo)
		Sabana húmeda con palmeras	Sabana hidrofítica de palmeras
Asentamientos humanos	Áreas artificiales sin árboles	Zona urbana	No aplica
	Áreas artificiales con árboles		
	Áreas mineras		
Otras tierras	Otras tierras (natural)	No aplica	

¹IV Censo Nacional Agropecuario (2012). Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI)

Las categorías IPCC se definen para el país como se describen a continuación:

Tierras forestales (TF)

Las tierras forestales se componen de la vegetación del Perú que cumple con la definición de bosque para el NREF. Son todos los bosques naturales, aguajales/bosques mixtos y bosques plantados (Nivel 2) que se encuentran en las cuatro ecozonas del bioma amazónico peruano.

Los bosques naturales están distribuidos en todo el bioma amazónico, poseen una alta diversidad biológica, con una alta riqueza de especies (diversidad alfa), un diverso número de ecosistemas (alta diversidad beta) (Nivel 3) y coberturas vegetales (Nivel 4)

(tabla 5). Sus ecosistemas y coberturas vegetales se presentan de manera diferenciada en función de las características de la ecozona que se presentan.

En las ecozonas de SAA y SADA se distribuyen bosques naturales similares, por encontrarse localizadas en las mismas condiciones fisiográficas y biogeográficas, a lo largo de la vertiente oriental de los Andes (de norte a sur del país) en una gradiente altitudinal montañosa que va de 500 a 3600 m s. n. m. Los ecosistemas que dominan en el paisaje son de montaña, con bosques basimontano de Yunga, montano de Yunga, altimontano (pluvial) de Yunga, y a una menor altura sobre el mar, se establecen ecosistemas y coberturas vegetales que dominan en la ecozona de SB (MINAM, 2019). Las coberturas vegetales (Nivel 4) principales son de bosques de montaña montano, semideciduo de montaña, de palmeras de montaña montano, inundable de palmeras basimontano, de montaña basimontano y el bosque de montaña altimontano (MINAM, 2015).

La ecozona de la SB es el área más extensa con bosques naturales que comprende la región oriental del Perú con menor altura sobre el nivel del mar (<500 m s. n. m.). Se tienen principalmente paisajes de tierras firmes no inundables (terrazas altas y colinas bajas) y planicies inundables al margen de los ríos amazónicos (MINAM, 2015). En la SB se encuentran prácticamente todos ecosistemas y coberturas vegetales de bosques naturales, exceptuando los de tipo montano que se presentan en la SAA (tabla 5). La ZH está inmersa en la SB, en el departamento de Loreto y comparten también sus ecosistemas y coberturas vegetales. Su principal diferencia, es que la ZH se encuentra en la depresión de Ucamara, que la convierte en un paisaje dominado por planicies inundables y ríos, donde se establece principalmente el aguajal (*Mauritia flexuosa*) (Nivel 2), que son ecosistemas de pantano de palmeras y bosque aluviales (bosques mixtos), que contienen coberturas vegetales inundables como la vegetación de isla, bosques de terraza inundable (agua negra) y bosques de llanura meándrica (MINAM, 2019).

Por último, en las tierras forestales también se incluyen los bosques plantados, que son tierras que han sido reforestadas o forestadas con especies nativas (por ejemplo, *Guazuma* spp., *Calycophyllum spruceanum*, *Cedrelinga cateniformis*, entre otras) o exóticas (por ejemplo, *Eucaliptus* spp., *Pinus* spp. o *Tectona grandis*, etc.). Pueden encontrarse en las zonas del departamento de Huánuco, en el límite con Ucayali (Guariguata *et al.*, 2017).

Tierras agrícolas (TA)

Las tierras agrícolas según sus usos de la tierra en el Perú (Nivel 2), comprende las tierras agrícolas sin árboles y tierras agrícolas con árboles. Por su naturaleza, esta categoría ocurre tras intervenciones antrópicas realizadas sobre tierras forestales en el bioma de la Amazonía peruana.

Las tierras agrícolas sin árboles son tierras dedicadas principalmente a cultivos anuales o de corta rotación. Su presencia es mayor en las Ecozonas de SAA y SB, debido en parte a la mayor accesibilidad por parte de la población. Sus principales cultivos son transitorios como las hortalizas, maíz, yuca y arroz (MINAM, 2016).

Las tierras agrícolas con árboles son tierras con presencia de especies de porte arbóreo, que no están contempladas dentro de las tierras forestales y se componen de cultivos permanentes como frutales (plátano, cítricos), plantaciones de palma aceitera y sistemas agroforestales. Se ubican geográficamente en mayor proporción en la ecozona SAA (San Martín, Amazonas, Junín, Huánuco) y SB (Loreto y Ucayali) (INEI, 2020; MINAM, 2016). También a lo largo de la carretera interoceánica en el departamento de Madre de Dios.

Praderas (P)

Las praderas comprenden las praderas sin árboles y las praderas con árboles (Nivel 2) (tabla 5). Son pastizales y tierras de pastoreo que no están contempladas dentro de las tierras agrícolas. Las praderas incluyen tierras con un uso intensivo de manejo o tierras naturales de gran extensión como sabanas y pastizales. La vegetación dominante son pastos perennes y el pastoreo suele ser la actividad más común para el uso de estas tierras (IPCC, 2006).

Las praderas sin árboles son tierras dedicadas para las actividades pecuarias en la Amazonía. Se encuentran con mayor frecuencia en la ecozona SB y SAA. Estas pueden ser vegetación secundaria de áreas originalmente destinadas para tierras agrícolas y después abandonadas, o pastos cultivados con superficies extensas para ganado (MINAM, 2016). Las praderas con árboles son tierras también dedicadas a las actividades pecuarias, pero que cuentan con la presencia de especies arbóreas, sin llegar a tener una cobertura para ser considerada una tierra forestal (FAO, 2015). Se encuentran distribuidos en mayor proporción en la SB y en la SAA en las regiones de Pasco, Ucayali y San Martín.

Humedales (H)

Los humedales comprenden los cuerpos de agua y las coberturas inundables en no bosque. Son tierras que están cubiertas o saturadas por agua durante todo el año y que no caen dentro de la categoría de tierras forestales, tierras agrícolas o praderas (IPCC, 2006)

Los cuerpos de agua son superficies naturales de agua, su forma es irregular y su tamaño es variable; siendo comprendidos principalmente por ríos, quebradas de la Amazonía, lagos y las playas de ríos, donde se observa que a través del tiempo hay un incremento y disminución del nivel del agua (MAG, 2014). Son clasificados como ecosistemas acuáticos de ríos, lagos y lagunas. Su distribución geográfica está en las cuatro ecozonas con mayor presencia en la ZH y SB, debido a los ríos Ucayali, Marañón y Amazonas (MINAM, 2019).

También se consideran humedales a las coberturas inundables de no bosque en zonas pantanosas y de turberas en la Amazonía. Su forma suele ser extensa e irregular y están ubicados cerca de cuerpos de agua (MINAM, 2015). Su distribución geográfica es en la ZH y en la SB. Entre los ecosistemas representativos encontramos los pantanos herbáceos-arbustivos, sabana húmeda de palmeras y varillales; con coberturas

vegetales de herbazal hidrofítico, sabana hidrofítica de palmeras y vegetación esclerófila de arena blanca.

Asentamientos humanos (AH)

Los asentamientos humanos son las áreas artificiales sin árboles, las áreas artificiales con árboles y las áreas mineras. Suelen ser las ciudades, poblados, incluyendo el sistema vial e infraestructura (IPCC, 2006). Su mayor distribución geográfica está en la SB y la SAA. En áreas artificiales sin árboles, se consideran centros poblados, áreas de infraestructura extractiva, vías de transporte asfaltadas y no asfaltadas. Las áreas artificiales con árboles incluyen los parques y jardines, cercas de edificios o lugares recreacionales en las ciudades o centros poblados. En caso excepcionales pueden ser jardines botánicos o áreas de investigación de universidades o centros de investigación (FAO, 2015).

Las áreas mineras son tierras afectadas por la minería aurífera, principalmente ubicada en la región de Madre de Dios. Comprende áreas compuestas por suelo desnudo, pozas, pequeñas áreas de bosque e infraestructura. Su distribución principalmente es en la zona sur de la ecozona SB, en zonas de coberturas inundables como aguajales/bosques mixtos.

Otras tierras (OT)

Esta categoría incluye tierras donde el uso de suelo no abarca tierras forestales, tierras agrícolas, praderas, humedales o asentamientos humanos, puede incluir áreas como desiertos, roca, suelo desnudo o hielo (IPCC, 2006). En la Amazonía se identifican otras tierras de origen natural que son de dos tipos: Los deslizamientos naturales ocurridos en zonas de alta pendiente en bosque natural, cuya distribución geográfica de este fenómeno es principalmente en la SADA, por presentarse fuertes pendientes en el terreno y alta humedad. El segundo tipo son las playas de ríos que ocurren luego de una pérdida de origen natural debido al desplazamiento de los ríos en la Amazonía, principalmente en las ecozonas SB, ZH y en menor medida en la SAA.

3.4. Actividades REDD+ incluidas

En el presente NREF se incluye únicamente la actividad de la **reducción de las emisiones debidas a la deforestación** de las cinco actividades REDD+ de acuerdo con la decisión 1/CP.16, párrafo 70.

El segundo BUR, presentado por Perú en 2019, indica que a 2014 las emisiones del sector UTCUTS, son la mayor fuente de emisión de gases GEI de todos los sectores (51 %) (sin considerar las absorciones del sector) (figura 6). Su análisis de categorías principales en sus tendencias y aporte a todos los sectores señala que las principales categorías son de este sector y provienen principalmente de tierras forestales que se transforman a tierras agrícolas y pastizales, donde solo estas conversiones de tierras contribuyen al 36 % de las emisiones de todos los sectores (BUR 2019). Dentro del sector UTCUTS las

conversiones de tierras forestales a usos de la tierra, como tierras agrícolas, praderas y asentamientos humanos, que se vinculan a emisiones provenientes de la deforestación, contribuyen al 61 % del sector con 60 989 000 t CO₂eq (INGEI 2014) (figura 6).

El cambio de uso de tierra forestal a otros usos, principalmente a usos agrícolas, constituye una de las principales fuentes de emisión en el sector UTCUTS a nivel nacional; por ello los esfuerzos para la implementación de REDD+ es prioritaria; así la ENBCC la considera central en sus objetivos, líneas estratégicas y de acciones de implementación para mitigación en el bioma amazónico.

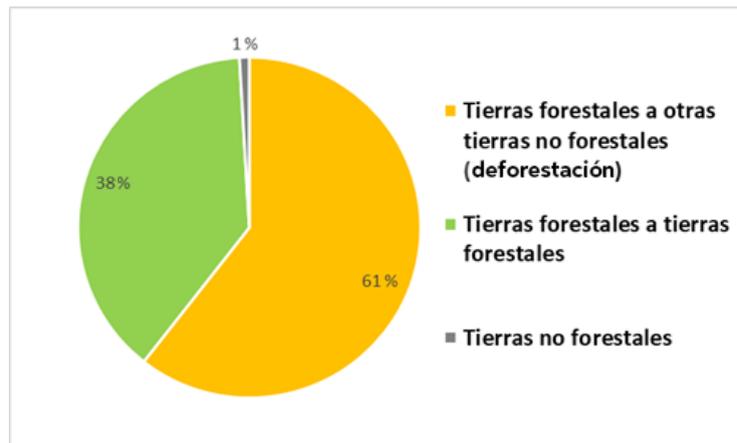


Figura 6. Emisiones de la deforestación en el sector UTCUTS (INGEI, 2014)

No obstante, en el análisis de categorías principales del BUR 2019 también se identifica otra importante contribución de emisiones en el sector UTCUTS, que son las emisiones provenientes de las tierras forestales que permanecen como tierras forestales, estas contribuyen a un 17 % de todos los sectores y como se muestra en la figura 6, son el 38 % de las emisiones del sector UTCUTS. Este importante aporte de emisiones provenientes de las permanencias en tierras forestales se identifica en la evaluación técnica del NREF de 2015 en su párrafo 33 y se alienta al país a considerar su inclusión en el NREF de actividades REDD+, que pueden contribuir a la mitigación de esta categoría en el sector, como reducir emisiones de la degradación, el mejoramiento de reservas de carbono y el manejo forestal sostenible (TARL/2016/PER)³¹.

El Perú bajo el enfoque gradual, viene considerando incluir la actividad REDD+ de reducción de las emisiones debidas a la degradación forestal en futuras actualizaciones del NREF, se está desarrollando insumos y métodos bajo las circunstancias nacionales con el soporte técnico de ONU-REDD³².

Los avances y mejoras sobre los métodos y su estado de desarrollo se describen en la sección 6 del presente documento. Para la inclusión de las actividades REDD+ de Manejo Sostenible de Bosques, incremento de las reservas de carbono y la conservación de las reservas forestales de carbono, el Perú actualmente no cuenta con suficiente

³¹ Disponible en: <https://unfccc.int/resource/docs/2016/tar/per.pdf>

³² Disponible en:

<https://drive.google.com/drive/folders/1qSJXEu7xuPbYZNBj81xGo5tu08GXLC1V?usp=sharing>

información para incluirlas y se identifica como un área de mejora que se viene planificando desarrollar, y que ya se ha establecido en la ENBCC a partir de promover el manejo sostenible de bosques, la restauración y su conservación.

3.5. Deforestación

Según la FAO (2000), la deforestación se define como la conversión de bosque a otro uso de la tierra o la reducción a largo plazo de la cobertura de copa por debajo del umbral mínimo de 10 por ciento. De manera similar, el IPCC (2006) define deforestación como la remoción permanente de cobertura forestal y el retiro de la tierra de uso forestal, ya sea de forma deliberada o circunstancial.

En el contexto del NREF, la deforestación se define como: “La conversión de una tierra forestal hacia tierras agrícolas, praderas o asentamientos humanos, por debajo del umbral del 30 % de cobertura de copa, en una superficie de 0,5 ha y en función del periodo de tiempo observado de 2010 a 2019”.

En la Amazonía peruana es importante diferenciar la conversión de una tierra forestal hacia otras categorías de tierra (ver sección 4.1.1), debido a la naturaleza de la dinámica de los ríos, cuerpos de agua, zonas inundables y la pérdida de suelo debido a los deslizamientos de tierra en las zonas montañosas. Estas perturbaciones naturales o pérdida natural de bosque son comunes y extensas en el territorio y deben de ser excluidas de la contabilidad de la deforestación causada exclusivamente por actividades humanas (tabla 6). Su discriminación es esencial para no afectar la exactitud de las estimaciones del FREL, como lo indica la evaluación técnica del NREF de 2015, en su párrafo 32 de las conclusiones, sobre la potencial inclusión de esta pérdida de bosques con los métodos usados para datos de actividad en el primer nivel de referencia (FCCC/TARL/2016/PER).

Tabla 6. Conversión de tierras forestales por deforestación y pérdida de bosque debido a perturbaciones naturales

Cambio de uso de tierra	Dinámica	Nivel 1 IPCC	Nivel 2 Uso de la tierra
Tierras forestales que permanecen como tal	Permanencia	Tierras forestales	Bosque natural
			Aguajal
			Bosque plantado
Tierras forestales que se convierten a Tierras agrícolas	Deforestación	Tierras agrícolas	Con árboles
			Sin árboles
			Palma aceitera
			Sistema agroforestal
			Arroz
Tierras forestales que se convierten a Praderas	Deforestación	Praderas	Con árboles de origen antrópico
Sin árboles de origen antrópico			
Tierras forestales que se convierten a Asentamientos humanos	Deforestación	Asentamientos humanos	Áreas artificiales sin árboles
			Áreas artificiales con árboles
			Áreas mineras
Tierras forestales que se convierten a Humedales	Pérdida natural	Humedales	Cuerpos de agua
Cobertura inundable en no bosque			
Tierras forestales que se convierten a Otras tierras	Pérdida natural	Otras tierras	Otras tierras

En el presente NREF es posible discriminar estos cambios con precisión y conocer las categorías de cambios de uso inicial y final (ver sección 4.1.1 de datos de actividad), al igual que conocer las causas directas de la deforestación para el periodo de referencia 2010 a 2019, lo cual mejora la exactitud y los supuestos de estimación de emisiones.

La deforestación ocurre en tres tipos de cambio de uso de suelo: tierras forestales a tierras agrícolas, tierras forestales a praderas y tierras forestales a asentamientos humanos que se describen a continuación:

Tierras forestales a Tierras agrícolas (TF-TA)

Es la deforestación más frecuente y extendida en la Amazonía y, por lo tanto, la principal causa directa de la deforestación debido a la expansión agropecuaria (figura 7). La agricultura se practica en pequeña, mediana y gran escala, donde se usa principalmente la tala y quema de bosque para su apertura (ENBCC, 2016).

Esta conversión ocurre principalmente cuando los pobladores de los bosques, en su mayoría migrantes y/o de las comunidades nativas, necesitan áreas para establecer cultivos de mercado y de auto subsistencia. Las comunidades nativas tienden a tener cultivos más diversificados, con cultivos de autoconsumo, mientras que los agricultores que provienen de otras regiones tienden a ser más especializados estableciendo cultivos de mercado principalmente. Debido a la poca profundidad de los suelos de la amazonia, también existe una tendencia de la práctica de la agricultura migratoria con cultivos, principalmente transitorios (tierras agrícolas sin árboles) hacia otras áreas y se combinan con la actividad de cría de ganado (Robiglio *et al.*, 2015).

Los cultivos permanentes agroindustriales como la palma aceitera poseen una producción más tecnificada, realizada por grandes productores con acceso a capital de inversión, por lo que suelen abrir áreas más extensas, a diferencia de los demás cultivos que no suelen tener márgenes de ganancia muy altos, suele ser una actividad desarrollada por pequeños productores y para autoconsumo, por lo que la deforestación se da en pequeñas áreas (ENBCC, 2016; MINAM, 2009).

La agricultura de pequeña escala ocurre en unidades menores a 5 ha de extensión, este tipo de agricultura se practica ancestralmente en la Amazonía para la producción de cultivos a través de ciclos de “crecimiento, barbecho y regeneración”. A este tipo de agricultura se le conoce también como agricultura migratoria o agricultura de quema y roza. “En lugar de conducir a la conversión permanente del suelo, la agricultura migratoria implica patrones de crecimiento, barbecho y regeneración. Tales ciclos producen mosaicos temporales y espaciales de campos de cultivo y bosques, que pueden ser relativamente estables y sostenibles” (Ravikumar *et al.* 2017).

También se presenta la pequeña y mediana agricultura permanente con fines comerciales, donde el crecimiento de cultivos permanentes en las últimas décadas sugiere que es muy probable que este se haya dado a costa de los bosques (Zegarra y Gayoso, 2015). La agricultura de este tipo está concentrada en la SAA donde se produce la mayor cantidad de café, cacao, arroz y maíz, y en la SB la presencia de palma aceitera y frutales y se caracteriza por tener una prominente orientación comercial (Zegarra y Gayoso, 2015; Robiglio *et al.* 2015). El uso del suelo de este tipo de agricultura involucra un mosaico de producción diversificado que combina monocultivos con agroforestería en un continuo de combinación hasta donde solo predominan monocultivos (DAR 2020).

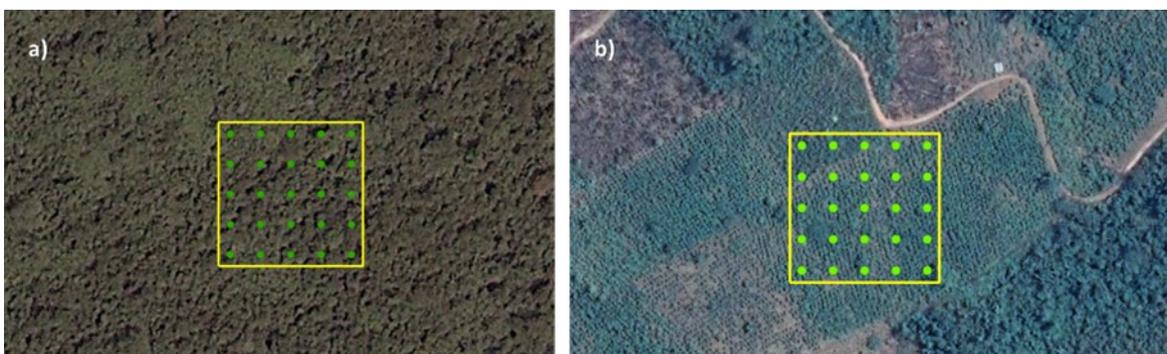


Figura 7. Transición de a) Tierra forestal (2009), hacia b) Tierras agrícolas (2019).

Fuente: Imágenes de Digital Globe de SADA, Junín

Tierras forestales a Praderas (TF-P)

Esta conversión de tierra forestal también es una causa directa de la deforestación y hace parte de la expansión agropecuaria dominante en la Amazonía (figura 8).

Esta actividad la realizan pequeños y medianos ganaderos, comunidades nativas, cooperativas agrarias, y grandes ganaderos representados por empresas. Predomina el ganado vacuno en parcelas de mayor extensión que se combinan con cultivos de autoconsumo y comerciales. Para el caso de las praderas con árboles se debe también a la expansión pecuaria, pero con la presencia de algunos individuos arbóreos.

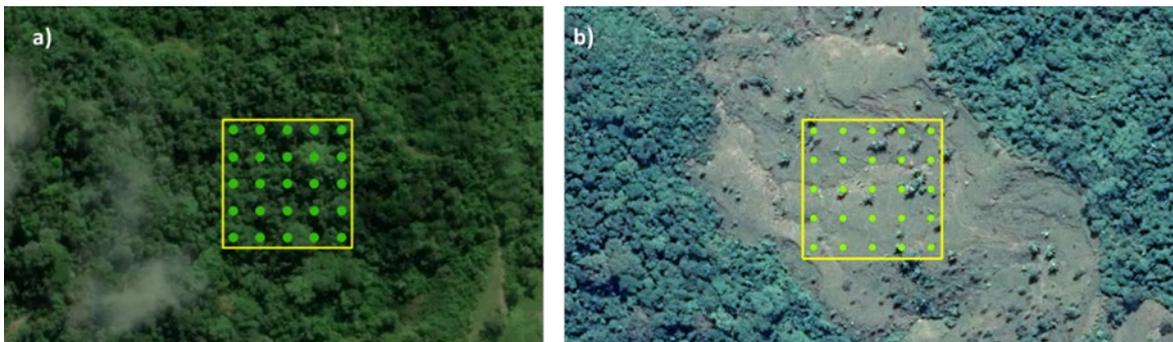


Figura 8. Transición de a) Tierra forestal (2011), hacia b) Praderas (2019)
Fuente: Imágenes de Digital Globe de SB, Ucayali

Tierras forestales a Asentamientos humanos (TF-AH)

Este tipo de cambio de uso se relaciona con la expansión de infraestructura, centros poblacionales, comunicación y actividades extractivas ilegales e informales (figura 9).

Se caracteriza por los cambios de bosque natural a infraestructura, como edificios, patios, almacenes, tanto en el casco urbano como en áreas periurbanas, suburbanas. Dentro de esta categoría están las transformaciones a vías de transporte, tanto asfaltadas como no asfaltadas. También se identifican todas las conversiones de áreas extractivas como la minería legal e ilegal, la exploración y extracción de hidrocarburos y la instalación de hidroeléctricas (ENBCC, 2016).



Figura 9. Transición de a) Tierra Forestal (2007), hacia b) Asentamientos humanos (2013)
Fuente: Imágenes de Digital Globe de SB, Pasco

Por otro lado, la pérdida natural de bosque se da cuando hay un cambio de tierras forestales hacia humedales o de tierras forestales a otras tierras. Este tipo de deforestación es inherente a las dinámicas de la Amazonía, y es importante identificarla para conocer su dinámica natural de perturbaciones y también puede ser un indicador de los eventos extremos climáticos como las inundaciones. Estas pérdidas naturales se encuentran excluidas de la contabilidad de emisiones por deforestación ya que puede llegar a grandes sobreestimaciones anuales.

Tierras forestales a Humedales (TF-H)

Las conversiones por pérdida natural de bosque se describen a continuación:

En esta transición, el cambio a cuerpos de agua es un fenómeno frecuente en la Amazonía peruana, debido a la dinámica de los ríos ya que, debido a sus dimensiones, topografía y distribución irregular de las lluvias estacionales, distintas partes del sistema fluvial se inundan en momentos diferentes y conforme el agua se desborda de los ríos, se crean nuevas masas de agua (estanques y lagunas de meandro) en áreas que antes era bosque.

Esta conversión ocurre principalmente en la ecozona de SB e hidromórfica por contar con una gran cantidad de ríos y zonas inundables (figura 10). Los cuerpos de agua, principalmente los ríos, por su dinámica meándrica, generan esta pérdida natural por su avance y desbordamiento en eventos de precipitaciones altas. También estas pérdidas se llegan a registrar por inundaciones en áreas con cobertura boscosa.



Figura 10. Transición de a) Tierra forestal (2011), hacia b) Humedales (2016)

Fuente: Imágenes de Digital Globe de SB, Ucayali

Tierras forestales a Otras tierras

Este es el segundo cambio de uso detectado que ocasiona pérdidas naturales (figura 11). En las ecozonas de SB y la ZH estos cambios también se detectan como parte de la dinámica de los ríos cuando se pierde bosque por su paso, y dejan bancos de arena en su lugar por el arrastre de sedimentos. La otra pérdida natural atribuida a esta conversión sucede casi de manera exclusiva en zonas montañosas con pendientes fuertes de la ecozona de la SADA, donde ocurren deslizamientos de tierra por efecto de la lluvia y la pendiente, arrastrando porciones de bosque y dejando el suelo desnudo por un efecto natural de su desplazamiento.

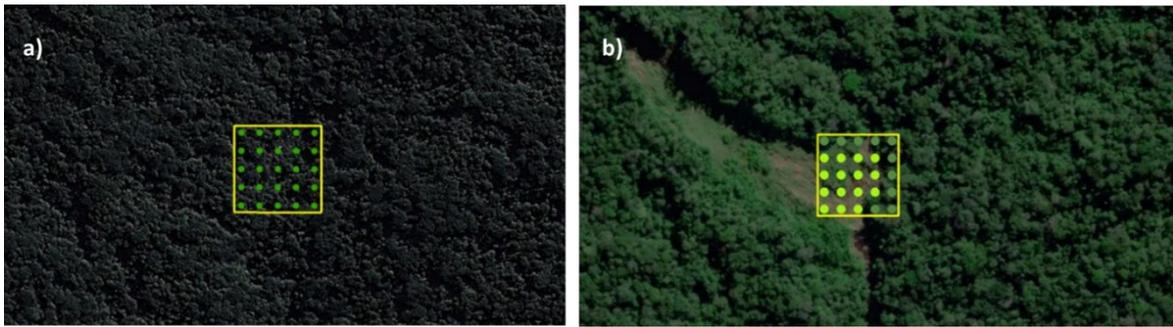


Figura 11. Transición de a) Tierra forestal (2012), hacia b) Otras Tierras (2014)

Fuente: Imágenes de Digital Globe de SADA, Madre de Dios

Asimismo, y de manera adicional a las causas directas de la deforestación, mencionadas previamente, también existen impulsores subyacentes, que limitan o potencian el efecto de los impulsores directos de la deforestación y la degradación de bosques. Estos pueden ser de diversa índole y se pueden interrelacionar de manera compleja pudiendo ser de carácter demográficos, económicos, tecnológicos, institucionales y culturales (ENBCC, 2016).

Entre los demográficos, se puede contar el crecimiento poblacional, migración y urbanización. En cuanto a las dinámicas migratorias la información de los censos muestra que varias de las regiones amazónicas han sido receptoras de migrantes, los cuales provienen de otros departamentos. Es importante también destacar que San Martín y Ucayali a la vez que experimentaron el crecimiento de migrantes, también un número importante de personas dejaron estas regiones. Así se muestra que los patrones migratorios varían entre regiones y entre períodos de años (DAR 2020). Particularmente el año 2020, por efectos de la pandemia ocasionada por la COVID 19, se ha visto una alta migración de la ciudad al campo, cuyos efectos todavía no se han analizado en este NREF.

De acuerdo con Menton & Cronkleton (2019), los factores que están detrás de los procesos de migración son diferentes y el gobierno contribuye a configurarlos generando ciertas condiciones. Estos autores realizaron un recuento de su análisis de los factores de “empuje (push) y jale (pull)” de la migración en la Amazonía desde mediados del siglo pasado (tabla 7). Con ello se evidencia que ciertos factores fuera y dentro de la Amazonía han influido en este proceso y las decisiones de las personas de migrar, entre los más importantes destacan la disponibilidad de tierras, las posibilidades de empleo y las políticas y proyectos promovidos por el gobierno (DAR 2020).

Tabla 7: Factores que impulsan la migración en la Amazonía desde el siglo XX

Empuje desde los Andes y la Costa (push)	Jale hacia la Amazonía (pull)
<p>Escasez de tierra</p> <ul style="list-style-type: none"> Falta de acceso a tierra cultivable. Tenencia de tierra insegura. 	<p>Abundancia de tierra</p> <ul style="list-style-type: none"> Disponibilidad de abundante tierra relativamente barata. Iniciativas de titulación para otorgar títulos de propiedad sobre la tierra a colonos.
<p>Oportunidades económicas limitadas</p> <ul style="list-style-type: none"> Altos índices de pobreza. Falta de oportunidades de empleo (mayores índices de población > empleo). 	<p>Percepción de que hay mejores oportunidades económicas disponibles</p> <ul style="list-style-type: none"> Boom económico (caucho, oro, palma). Escasez de mano de obra (baja densidad de población).
<p>Falta de seguridad</p> <ul style="list-style-type: none"> Conflicto armado (Sendero Luminoso). Cultivos ilegales (coca). 	<p>Mayor tranquilidad (<i>more peaceful</i>)</p> <ul style="list-style-type: none"> Relativa ausencia de conflicto armado en la Amazonía. Presente pero solo en algunas áreas (cultivos de coca).
<p>Políticas y proyectos de colonización</p> <ul style="list-style-type: none"> Selección (<i>targeting</i>) de familias Andinas para participar. Falta de oportunidades de empleo (mayores índices de población > empleo). 	<p>Políticas y proyectos de colonización</p> <ul style="list-style-type: none"> Proyectos especiales de colonización dirigida. Acceso a crédito/reducción de impuestos. Expansión de carreteras/infraestructura.

Fuente: Menton & Cronkleton (2019)

3.6. Periodo de referencia para deforestación

Para el NREF del Perú se ha establecido como periodo de referencia el año 2010 a 2019 de acuerdo con el párrafo 2 (b) y (c) del anexo de la decisión 13/CP.19.

Este ha sido el periodo en el que Perú ha construido el camino de establecer su política ambiental, forestal y de cambio climático, así como su marco institucional para la preparación e implementación de REDD+ en el contexto de pago por resultados, y ha optado por este mecanismo de la CMNUCC, en su ENBCC como eje central, para la mitigación mediante la reducción de emisiones por deforestación en el sector UTCUTS y cumplir las metas de mitigación a 2030, establecidas para sus NDC recientemente actualizadas.

En el periodo histórico del NREF hay que considerar que el MINAM es creado en 2008³³

³³ Decreto Legislativo n.° 1013, Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/08/Creaci%3fb3n-MINAM-D.Legislativo.1013.pdf>

como un hito en la institucionalidad ambiental en el país para conducir la formulación de política nacional, conforme a la Ley General del Ambiente³⁴ que se aprueba en 2009, para llevar a cabo la gestión ambiental en cumplimiento obligatorio para los diferentes niveles de gobierno (nacional, regional y local).

De otro lado, como ya se ha mencionado, desde el año 2008, se vienen implementando IT REDD+, que participan activamente en el mantenimiento de los servicios ecosistémicos del bosque y por ende en el mercado voluntario de carbono, registrando, validando y verificando las unidades de reducción de emisiones (créditos de carbono) generadas por sus acciones bajo el marco metodológico de estándares internacionales reconocidos.

Como un marco orientador para la planificación de la política ambiental a largo plazo, se establece el Plan Nacional de Acción Ambiental (PLANAA)³⁵ en 2011, con metas prioritarias a 10 años (2021), donde se identifica mediante un diagnóstico los principales problemas ambientales y de gestión de recursos para sus temas prioritarios. Es aquí donde los bosques y el cambio climático se establecen como un tema prioritario, y dentro de su principal problemática está la deforestación que ocurre en bosques de la Amazonía peruana y su gran fuente de emisión de GEI que genera para el país, estableciéndose metas relacionadas con alcanzar cero emisiones netas del sector cambio de uso y forestal en el Perú al 2021 y a la meta nacional de reducir la deforestación en un 50 % en el 2017.

En este contexto, en 2010 se crea el PNCBMCC³⁶, con el objetivo de conservar los bosques y reducir las emisiones originadas por deforestación y degradación en los bosques amazónicos y secos. En 2014, se articula un instrumento jurídico de implementación, con la promulgación de La ley de Mecanismos de Retribución de Servicios Ecosistémicos³⁷, que reconoce que, a través de acciones de conservación, recuperación y uso sostenible, se asegure la conservación de los ecosistemas forestales y sus funciones para beneficio de la sociedad.

De manera paralela, en 2011 se decreta la Ley Forestal y de Fauna Silvestre (LFFS) y en 2014, el Servicio Forestal Nacional (Serfor) entra en actividad para impulsar y ejecutar la Política Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. En el 2015 se aprueban los reglamentos de la LFFS, que fortalecen y dan pautas claras a la gobernanza del sector forestal, dando una mayor seguridad jurídica en los derechos sobre el bosque, el ordenamiento y zonificación forestal, la regulación sobre los derechos de los servicios ecosistémicos y la gobernanza forestal en general.

Con las principales autoridades ambientales y forestales, desde 2014 el MINAM y el Midagri con Serfor lideran la preparación e implementación de REDD+. Mismo año en el

³⁴ Ley n.º 28611, disponible en: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-28611.pdf>

³⁵ Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/plan-nacional-accion-ambiental-planaa-peru-2011-2021>

³⁶ Decreto Supremo n.º 008-2010-MINAM, disponible en: https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/rd_008-2010-minam.pdf

³⁷ Ley n.º 30215, disponible en: <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-reglamento-de-la-ley-n-30215-ley-de-mecanismos-de-decreto-supremo-n-009-2016-minam-1407244-4/>

que se suscribe con Noruega y Alemania la DCI sobre la cooperación REDD+, para promover el desarrollo sostenible, donde el Perú según sus circunstancias nacionales, se compromete a fortalecerse en su preparación a REDD+ y comenzar a transformar la operatividad de sus instituciones, para realizar acciones de implementación para luego lograr el pago por resultados verificados.

Como se mencionó, la DCI viene implementando en paralelo las fases de preparación y transformación, contribuyendo con los objetivos y metas relacionadas con crear las condiciones institucionales operativas para la implementación de acciones REDD+ en el terreno, en conformidad con las estrategias y líneas de implementación de la ENBCC. Por ello, las metas de la DCI incluyen la afiliación de 2 046 364 ha de bosque en tierras de comunidades nativas bajo el mecanismo de TDC, el inicio de la regularización de títulos de propiedad de comunidades indígenas y un aumento en territorio con áreas naturales protegidas en la Amazonía peruana.

En 2015, en el contexto de la Actualización de la ENCC, suceden avances relevantes para REDD+: se presenta el primer NREF, en 2016 se concluye la ENBCC, y en el 2020 se envía el primer resumen de informe de salvaguardas, cumpliendo gran parte de los pilares o elementos REDD+ conforme al “Marco de Varsovia”. Como un evento importante en el año 2015 en la COP de París, se presentan las NDC, donde el sector UTCUTS se le considera clave en los compromisos de reducción de emisiones del país.

En el año 2018 se logra también robustecer el marco político institucional con la aprobación de la LMCC. Esta ley establece principios y enfoques para el fortalecimiento de la institucionalidad pública y las instancias de coordinación respecto a los temas de cambio climático y REDD+. Como el establecimiento del Marco MRV y su relación con el NREF mencionado en la sección 2.2 de este documento para garantizar la medición y reporte de las reducciones a partir del NREF actualizado en el presente documento.

El Perú a lo largo de estos años de preparación para REDD+ desde 2010, con la ENBCC ya establecida desde 2016, sus estrategias de acción y líneas de implementación dirigidas a acciones específicas que se implementan desde 2016, espera ver sus resultados basados en acciones de reducción de emisiones, midiendo su desempeño con el NREF hasta una nueva actualización.

Debe señalarse además, que la generación periódica de esta información es fundamental para el país, razón por la cual uno de los principales retos ha sido consolidar los enfoques metodológicos para su monitoreo, acceder a mejores insumos y fortalecer capacidades institucionales del país, lo cual permitirá contar con un sistema que permita mejorar los reportes, evidenciando el cumplimiento de compromisos en el marco de la legislación nacional, los instrumentos programáticos del Perú, compromisos internacionales como las NDC y, en general, los compromisos del gobierno con sus ciudadanos.

3.7. Depósitos de carbono

Para el presente NREF se incluyen los depósitos de carbono; i) biomasa, asociada a los componentes biomasa aérea (AGB, por sus siglas en inglés) y biomasa subterránea (BGB, por sus siglas en inglés); y ii) materia orgánica muerta contenida en la madera muerta de árboles muertos en pie, tocones, madera muerta yacente, hojarasca (tabla 8). Por su alto contenido de carbono, estos reservorios se consideran las principales fuentes de emisiones por deforestación. Los reservorios considerados en el actual NREF, incluyen además de los considerados en el NREF presentado en 2015, el depósito de materia orgánica muerta.

Un depósito importante en el país es el contenido en la materia orgánica del suelo debido a la gran extensión de turberas que existen en la Amazonía peruana. Las razones de la exclusión y posible contribución como fuente de GEI de este depósito, se encuentran en la sección 5.2. referido a la completitud.

Tabla 8. Reservorios de carbono incluidos en el NREF

Reservorios de carbono	Incluido	Justificación
Biomasa por encima del suelo (árboles, palmeras y lianas)	Sí	Depósitos y fuentes principales de emisión, afectados por la deforestación, y que cuentan con información a escala del bioma amazónico
Biomasa por debajo del suelo (raíces de árboles y palmeras)	Sí	
Madera muerta en pie y sus raíces (árboles, palmeras y tocones)	Sí	
Madera muerta yacente	Sí	
Hojarasca	Sí	
Materia orgánica del suelo	No	Actualmente el país no cuenta con datos nacionales o estos son insuficientes. Su contribución potencial en los procesos de deforestación debe ser tomada en cuenta en futuros reportes.

3.8. Gases Incluidos

En el NREF se incluye solo la emisión de dióxido de carbono (CO₂) proveniente de la deforestación bruta en el periodo 2010 a 2019.

4. NIVEL DE REFERENCIA DE EMISIONES FORESTALES POR DEFORESTACIÓN

4.1. Información y métodos usados para la construcción del Nivel de referencia para la actividad de deforestación

La construcción del segundo NREF es el resultado de un trabajo institucional y colaborativo entre entidades de gobierno e instituciones de investigación científica nacionales e internacionales. El NREF en el Perú se ha realizado con insumos, métodos e información generada por el MINAM a través de la DGCCD para los datos de actividad, con un enfoque de estimación de áreas a partir del muestreo sistemático, mediante el uso de la plataforma Collect Earth Online (CEO³⁸). Así también, se utilizó información de Midagri a través del Serfor para construir los factores de emisión, tomando como insumo datos nacionales de densidades de carbono del INFFS y complementando dicha información a través de la colaboración de diversas instituciones académicas y científicas, que realizan estudios en la Amazonía peruana, tales como la plataforma de ForestPlots.net³⁹ (FP) (Lopez-González *et al.*, 2011). Los métodos empleados están en correspondencia con las directrices del IPCC más recientes para obtener los datos de actividad, factores de emisión y la estimación de las variaciones históricas de emisiones y su incertidumbre asociada para deforestación, conforme al anexo de la decisión 12/CP17, bajo un enfoque escalonado de mejora continua, según lo permitan las circunstancias nacionales. Sus métodos, insumos, procedimientos y resultados se describen en las siguientes secciones.

4.1.1. Dato de Actividad para deforestación

Las directrices IPCC (2006) describen tres métodos que pueden utilizarse para representar superficies de uso de la tierra utilizando las seis categorías generales del IPCC como base de la estimación de emisiones y absorciones de GEI derivadas del uso de la tierra y de sus conversiones.

El primer método solo identifica el cambio total de superficie por cada categoría individual de uso de la tierra dentro de un país, pero no proporciona información sobre la naturaleza y la superficie de las conversiones entre los usos de la tierra. Este método sólo detecta cambios en la biomasa debidos a la conversión neta. El segundo método incluye información sobre las conversiones entre las categorías de uso de la tierra, la cual no es espacialmente explícito.

El tercer método permite que las conversiones del uso de la tierra sean seguidas sobre una base explícita en el espacio y los datos pueden obtenerse mediante muestreos, técnicas de mapeo detallado o una combinación de los dos métodos, permitiendo así mejoras en la estimación de las emisiones al alinear mejor las categorías de uso de la tierra (y las conversiones) con los estratos mapeados para la clasificación de las

³⁸ <https://collect.earth/>

³⁹ Disponible en: <https://www.forestplots.net/>

existencias de carbono y los factores de emisión por tipo de suelo y tipo de vegetación.

Dentro de este marco, los datos de actividad del presente NREF, se recopilaron sobre la base de un diseño de muestreo sistemático siguiendo el tercer método de las directrices del IPCC, utilizando observaciones espacialmente referenciadas sobre muestras en categorías de uso de la tierra y sus cambios de uso de la tierra a lo largo de la serie histórica (2010-2019), derivadas del muestreo de puntos ubicados geográficamente.

Los métodos basados en muestras también son apoyados por iniciativas que reconoce la CMNUCC como la iniciativa Global de Observación Forestal (GFOI por sus siglas en inglés), ya que los métodos basados en mapas no corrigen el error sistemático y tampoco permiten el cálculo de intervalos de confianza alrededor del área estimada. Especialmente cuando los mapas de cambio son creados mediante la comparación de dos clasificaciones separadas o independientes (referidos como post clasificación o resta de mapas), donde sus errores sistemáticos pueden ser considerables y no es posible cuantificarlos.

El muestreo sistemático es un enfoque costo-efectivo, paralelo y complementario al enfoque pared a pared, para generar información geoespacial sobre la dinámica de la cobertura de bosques, capaz de resolver necesidades concretas para el país en términos de medición, monitoreo y reporte, ya que mejora la precisión de las estimaciones de la superficie, sobre diversas clases de uso de la tierra en grandes áreas, permitiendo post-estratificar el área de contabilidad, para mejorar las estimaciones reduciendo el error de muestreo.

Este enfoque ha tomado gran importancia en el contexto de REDD+, dado que el conteo de píxeles acarrea varios errores que pueden afectar el reporte de los países que optan por pagos por resultados (GFOI, 2020; IPCC, 2006).

En esta perspectiva, el país ve la necesidad de tener un sistema de monitoreo y reporte eficiente, que permita:

- Articular los diferentes esfuerzos de las instituciones generadoras de información que alimentan los reportes que emite el país;
- Orientar los esfuerzos en tener una base de monitoreo multipropósito;
- Tener control y validación de los datos;
- Que sea de implementación costo efectiva;
- Que cuente con solidez estadística, replicable;
- Brinde resultados en el corto, mediano y largo plazo.

Esto también garantiza al país cumplir los principios de la CMNUCC sujetos a evaluación técnica, principalmente los relacionados con la transparencia (al ser una metodología que puede ser analizada y accesible en cualquier momento, facilitando su replicabilidad) y la consistencia al usar la misma metodología y datos en toda la serie temporal permitiendo evaluar los cambios en las tierras de manera anual.

Es de aclarar que el Perú sometió ante la CMNUCC el primer NREF en 2015, y los datos de actividad fueron generados a través de mapas, proceso que ha seguido en marcha en el país, a través del esfuerzo del PNCBMCC, quien actualmente es la entidad encargada

del MNCB y que reporta los datos de pérdida de cobertura de bosques en el país.

En el diagrama de la figura 12 se explica de manera sintética la hoja de ruta para estimar los datos de actividad para el NREF que se describirán en las siguientes secciones hasta llegar a los resultados de deforestación anual.

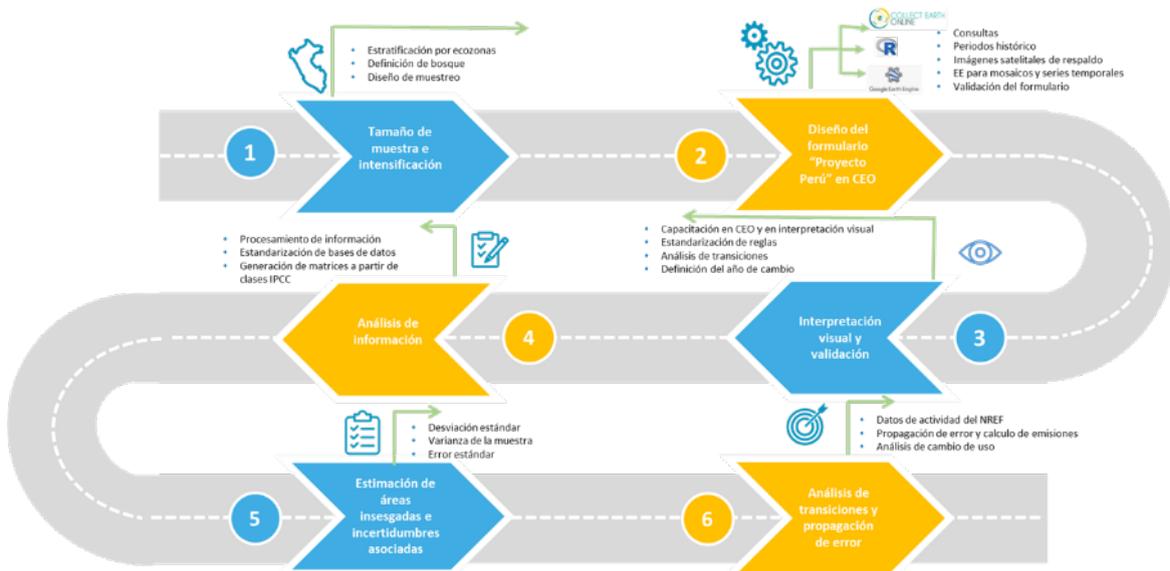


Figura 12. Hoja de ruta para estimar los datos de actividad para el NREF

4.1.1.1. Diseño del muestreo sistemático estratificado

Para el diseño del muestreo, el área de contabilidad se subdividió en estratos, considerando criterios fisiográficos, florísticos, fisionómicos, de almacenamiento de carbono y de accesibilidad a partir del mapa de ecozonas, el cual también ha sido utilizado para definir el tamaño y distribución de la muestra para el Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (INFFS) actualmente en curso. Cabe resaltar que el detalle de los criterios, así como los insumos fuente para la generación de este mapa, se encuentran descritos en la *Memoria descriptiva del mapa de ecozonas del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre INFFS-Perú*⁴⁰ (FAO y SERFOR, 2016).

La Amazonía se estratificó en cuatro ecozonas y cada ecozona se subdividió en tres clases: Bosque, No bosque y pérdida de cobertura de bosque acumulada del periodo 2001 a 2018 (12 estratos). Esta estratificación se hizo a partir del mapa de pérdida de cobertura de bosques desarrollado por el PNCBMCC, y puesto a disposición del público en su plataforma de monitoreo Geobosques⁴¹. El reporte a nivel de ecozona, permitirá vincularlo con el INFFS del cual se obtienen los factores de emisión (tabla 9).

Tabla 9. Ecozonas presentes en la Amazonía peruana.

⁴⁰ Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/memoria-descriptiva-mapa-ecozonas-inventario-nacional-forestal-fauna>

⁴¹ <http://geobosques.minam.gob.pe/>

<i>Ecozona</i>	<i>Área (ha)</i>
Selva Baja (SB)	47 472 740,55
Selva Alta Difícil Acceso (SADA)	11 132 433,90
Selva Alta Accesible (SAA)	10 972 886,67
Zona Hidromórfica (ZH)	8 730 739,62

Para definir el tamaño de la muestra en cada ecozona, se siguió las directrices del IPCC (2006) donde se sugiere que las inexactitudes, pueden ser reducidas a través de la estratificación de los datos (tabla 10); esto además permitirá mejorar la eficacia de las estimaciones de precisión y de área (GFOI, 2020; IPCC, 2006).

Tabla 10. Tamaño de muestra (píxeles Landsat) y proporciones para las cuatro ecozonas en la Amazonía peruana

Ecozona	Bosque 2018		No bosque 2018		Pérdida acumulada 2018		TOTAL	
	n.º píxeles	%	n.º píxeles	%	n.º píxeles	%	n.º píxeles	Área (ha)
ZH	87 182 278	89,87	8 975 188	9,25	850 752	0,88	97 008 218	8 730 739,62
SAA	71 934 141	59,00	41 231 918	33,82	8 754 904	7,18	121 920 963	109 728 86,67
SADA	117 557 933	95,04	4 229 480	3,42	1 906 297	1,54	123 693 710	11 132 433,90
SB	483 604 672	91,68	29 993 601	5,69	13 876 622	2,63	527 474 895	47 472 740,55
Total	760 279 024		84 430 187		25 388 575		870 097 786	78 308 800,74

La estratificación es la principal forma de mejorar la exactitud en la estimación de emisiones, ayuda en el manejo de las incertidumbres, permite una mayor flexibilidad al informar sobre los datos monitoreados (por ejemplo, efectividad de las políticas adaptadas a estratos específicos (tipos de bosque, tipos de usos de la tierra) y posibilita la recolección de datos en diferentes estratos (p.ej., estimación de deforestación en bosques montañosos y aguajales).

Una vez estimada el área de cada clase por ecozona, se calculó la proporción de las clases, y su correspondiente desviación estándar y el coeficiente de variación.

$$P_i = \frac{\text{Área}_i}{\text{Área total}}$$

$$SD_p = \sqrt{\text{Proporción} \times (1 - \text{Proporción})}$$

$$CV_p = \frac{SD_p}{Proporción}$$

Donde:

- P_i = Proporción de la i -ésima clase
- $Área_i$ = Área en ha de la i -ésima clase
- SD_p = Desviación estándar de la proporción
- CV_p = Coeficiente de variación de la proporción

A partir del coeficiente de variación se estimó el tamaño de muestra óptimo a un nivel de confianza definido (95 %) y un medio ancho del intervalo de confianza deseado. Para la toma de decisiones, se hizo pruebas, utilizando dos valores para el medio ancho del nivel de confianza (10 % y 15 %). Para la estimación del tamaño muestral se utilizó la siguiente ecuación para cada una de las clases por ecozona.

$$n = \left(\frac{t_{\alpha} CV_{ij}}{IC} \right)^2$$

Donde:

- n = Tamaño de muestra necesario
- t = Valor de t a un nivel de confianza definido
- CV = Coeficiente de variación para la i -ésima clase en el j -ésimo estrato
- IC = Medio ancho de intervalo de confianza deseado

Una vez calculado el tamaño de la muestra para cada clase por estrato se estimó el número total de parcelas necesarias por estrato para tener una representación adecuada de las clases Bosque, No Bosque y Pérdida (tabla 11) [Cochran, 1977].

Tabla 11. Número de muestras con un nivel de confianza del 95 % y un medio ancho del intervalo de confianza del 10 y 15 %

Zona Hidromórfica		
Medio ancho del IC		
Clase	10 %	15 %
Bosque	47	21
No bosque	3 953	1 757
Pérdida	31 615	14 051

Selva Alta Accesible		
Medio ancho del IC		
Clase	10 %	15 %
Bosque	279	124
No bosque	812	361
Pérdida	5 143	2 286

Selva Alta de Difícil Acceso		
Medio ancho del IC		
Clase	10 %	15 %
Bosque	24	11
No bosque	12 542	5 574
Pérdida	18 915	8 406

Selva Baja		
Medio ancho del IC		
Clase	10 %	15 %
Bosque	35	15
No bosque	6 023	2 677
Pérdida	12 542	5 574

Con el propósito de que el muestreo sistemático esté alineado con las orientaciones de la CMNUCC, con un papel multipropósito de monitoreo, apoyando y fortaleciendo diferentes procesos en marcha de interés nacional, se plantea la necesidad de tener una línea base de muestreo, basado en una equidistancia común para el territorio nacional.

Ya obtenido el tamaño de muestra, se generó mallas con equidistancias de 10 x 10 km, 5 x 5 km y 2,5 x 2,5 km, para conocer con cuál equidistancia se lograba contener el tamaño de muestra óptimo. Para ello se utilizó la ecuación:

$$d = \sqrt{\frac{a}{n}}$$

Donde:

- d = *Equidistancia*
- a = *Área total del estrato*
- n = *Número de muestras requeridas*

La malla sistemática idónea que contiene la suficiente cantidad de muestras para cada ecozona y para toda la Amazonía fue a partir de la equidistancia de 5 x 5 km; sin embargo, se encontró que, para la ZH y SADA, esta malla no cumplía con el tamaño de muestra mínimo para representar la clase Pérdida para la ecozona ZH y la clase Pérdida y No bosque para la ecozona SADA. Por lo que fue necesario realizar una intensificación en estas dos ecozonas.

Para la estimación del tamaño de muestra a intensificar en las ecozonas ZH y SADA, se utilizaron los resultados preliminares de la interpretación visual de las parcelas de la malla de 5 X 5 km. A partir de la clasificación de las parcelas interpretadas (valor real), para la ecozona SADA, se estimó la proporción de Pérdida y No bosque en cada una de las clases (Bosque, No bosque y Pérdida) definidas por el mapa de pérdida de cobertura de bosques del PNCBMCC. Para la ZH, la intensificación se realizó únicamente para la Pérdida, por ser esta clase la que no cumple con el requisito del tamaño de muestra mínimo.

Un aspecto clave al seleccionar un diseño de muestreo es que el tamaño de la muestra de cada actividad debe ser lo suficientemente grande; sin embargo, los tamaños de las muestras de las clases que representan pequeñas proporciones de la superficie total pueden ser muy pequeños para satisfacer el criterio de precisión. En el contexto de la Amazonía peruana, la clase de Pérdida de cobertura de bosque es un área muy pequeña en comparación con el área de Bosque. Estas diferencias en las áreas se presentan en la estimación de las proporciones, las cuales son usadas como ponderadores al momento de estimar un tamaño muestral a nivel ecozona (Cochran, 1977). De manera general, la clase bosque representa más del 85 % del área en las cuatro ecozonas evaluadas.

La estimación de la media para cada ecozona está dada por la siguiente ecuación.

$$\mu = \sum_{h=1}^3 W_h \frac{n_{hi}}{n_h}$$

Donde:

- W_h = Peso de la h -ésima clase
- μ = Media para la ecozona
- W_h = Peso de la h -ésima clase
- n_{hi} = Número de parcelas para la i -ésima ecozona de la h -ésima clase
- n_h = Número total de parcela del h -ésima clase

Una vez realizados los cálculos de la proporción de pérdida y No bosque, se obtuvo que la proporción de pérdida en las clases Bosque y No bosque definidos por el mapa, presentaban alta variabilidad, lo cual indica la presencia de errores de omisión en estas clases. Los impactos de los errores de omisión pueden ser un problema al momento de comunicar los resultados, por lo que se plantean dos soluciones para mitigar el impacto de estos errores (Olofsson *et al.*, 2020):

1. Aumentar el tamaño de la muestra en el estrato de Bosque, lo cual puede conllevar a costos adicionales (tiempo, capacidades técnicas, logística, entre otros).
2. Bajar el peso ponderado del estrato en el cual los errores de omisión ocurren (Bosque).

La decisión se concentró en la solución dos, generando un área Buffer alrededor de la clase de interés (Pérdida de cobertura de bosque) (Arévalo *et al.*, 2019; Olofsson *et al.*, 2020; Potapov *et al.*, 2017; Tyukavina *et al.*, 2013).

La contribución del error de omisión a la varianza proviene principalmente de dos variables: el peso ponderado y el tamaño de muestra de la clase en donde se produce el error de omisión (Bosque), siendo estas las razones por las cuales, el error de omisión tiene un impacto tan grande.

Estimador de la varianza (Cochran 1977).

$$V(\mu_{STR}) = \sum_{h=1}^3 \frac{W_h p_{h,3} - p_{h,3}^2}{n_h - 1}$$

Donde:

- $V(\mu_{STR})$ = Varianza de la media de la proporción de área estimada de la clase de interés
- W_h = Proporción de área de la h -ésima clase definida por el mapa
- P_h = Media de la proporción de área estimada de la h -ésima clase
- n_h = Número de unidades de muestreo o parcelas de la h -ésima clase

Contribución de los errores de omisión a la varianza

$$\frac{W_1 \times \text{omission} - \text{omission}^2}{n_1 - 1}$$

Donde:

- W_1 = Proporción de área de la clase bosque definida por el mapa
- Omisión = Media de la proporción de área estimada de errores de omisión
- n_1 = Número de unidades de muestreo o parcelas de la clase bosque

Bajo el supuesto de tener mayor probabilidad de encontrar errores de omisión cerca de las áreas de Pérdida de cobertura de bosque definidas por el mapa, se generó un área Buffer alrededor de las áreas de Pérdida, capturando los posibles errores de clasificación (omisión) dentro de las áreas definidas como Bosque y No bosque. Esta opción, permitió que los coeficientes de variación más altos estén capturados en las clases más pequeñas (menos representativas), reduciendo la variación en los estratos importantes y por ende la varianza total.

Se realizaron pruebas para identificar el área Buffer más conveniente para la captura de los errores de omisión. Como resultado, se definió que un área de Buffer de 100 m sobre la clase Pérdida tenía los mejores resultados en cuanto a la captura de los errores de omisión y reducción de la varianza total (figura 13).

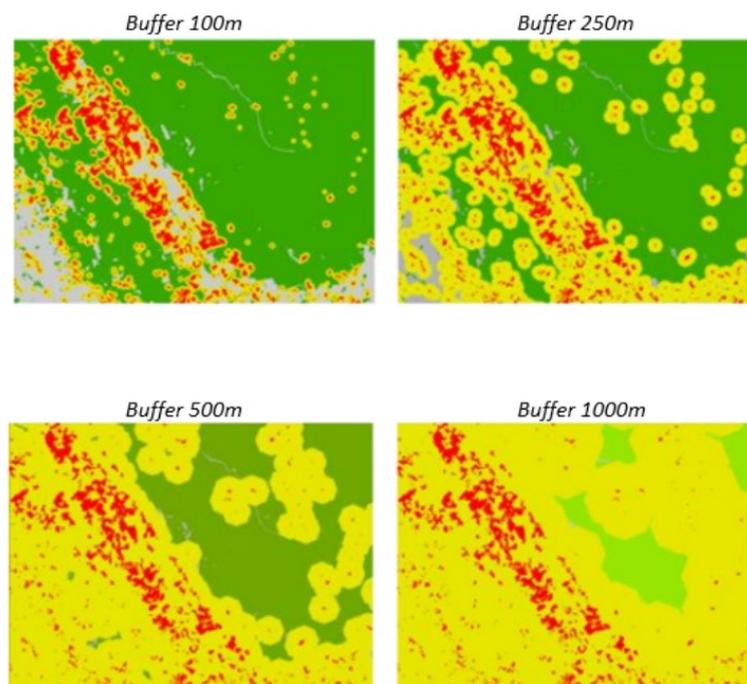


Figura 13. Análisis de diferentes distancias Buffer sobre la clase pérdida de cobertura de bosque

Una vez definida el área de Buffer a utilizar, se creó una nueva capa del mapa que contenía las tres clases iniciales más la clase Buffer. Sobre la capa recategorizada en cuatro clases (Bosque, No bosque, Buffer y Pérdida de cobertura de bosque), se extrajo la información de la clase a la que pertenecía cada una de las parcelas (cada una de estas compuesta por 25 puntos) interpretadas visualmente a partir del valor del punto central, por ejemplo, si el punto central de la parcela compuesta por 25 puntos tenía como valor la clase No bosque, la parcela era clasificada como No bosque según la información del mapa.

Al realizar los cálculos correspondientes para estimar el tamaño muestral para la

intensificación, se obtuvo que la varianza total seguía siendo muy alta en las clases más importantes o con mayor proporción de área (Bosque y No bosque), por lo que se probaron diversos métodos para la clasificación de las parcelas a partir de la información del mapa.

Después de varias pruebas sobre el método más conveniente para clasificar las parcelas y calcular el tamaño de muestra para la intensificación en las ecozonas ZH y SADA, se seleccionó el método que reducía al máximo el peso de las clases más grandes y presentaba un menor valor de la varianza total estimada a partir de reglas. Las reglas implementadas para la clasificación de las parcelas utilizando la información del mapa fueron:

1. Si al menos un punto de los 25 que componen la parcela, es definido como pérdida de cobertura de bosque en el 2018, la parcela completa se clasifica como pérdida.
2. Enmascaradas las parcelas y renombradas como pérdida, si al menos un punto de los 25 es definido como clase Buffer en 2018, la parcela completa se clasifica como Buffer.
3. Enmascaradas las parcelas renombradas como pérdida y Buffer, si al menos un punto de los 25 es definido como clase No bosque en 2018, la parcela completa se clasifica como No bosque.
4. Las parcelas restantes se consideran como Bosque (tabla 12).

El método propuesto se basa en el supuesto de que en una parcela que tiene un punto de pérdida (según el mapa) la probabilidad de encontrar más pérdida cercana a ese punto es alta, caso contrario, la probabilidad es baja. Bajo estas reglas, se capturan todos los puntos de pérdida resultado de la interpretación visual en la clase pérdida definida por el mapa. Los errores de omisión son capturados en su mayoría por la clase Buffer; dado que esta clase está en el segundo nivel de prioridad en las reglas definidas por la metodología propuesta.

Tabla 12. Ajustes para la intensificación de la ZH y SADA, a partir de las clases Bosque, No bosque, Buffer y Pérdida de cobertura de bosque

Clase	Zona Hidromórfica			Selva Alta Difícil Acceso	
	Cod	n.º Píxeles	Área (ha)	n.º Píxeles	Área (ha)
Pérdida	1	2 358 104	212 229,36	4 735 565	426 200,85
Buffer	2	4 035 367	363 183,03	8 217 494	739 574,46
No Bosque	3	7 082 077	637 386,93	3 382 190	304 397,10
Bosque	4	83 532 670	7 517 940,30	107 358 461	9 662 261,49
TOTAL			8 730 739,62		11 132 433,90

Una vez definido un valor de clase a cada parcela, se combinó esta información con el resultado de la interpretación visual y se estimó la proporción de pérdida dentro de cada clase para las ecozonas ZH y SADA y sus respectivos coeficientes de variación.

Para la estimación de la proporción de pérdida en cada clase, se utilizó la información del valor de cada uno de los 25 puntos que conformaba una parcela. Se estimó la proporción de pérdida dentro de cada parcela, (número de puntos clasificados como pérdida dividida sobre el total de puntos que conformaba la parcela evaluada; en general usando 25 como denominador). Una vez estimada la proporción de pérdida dentro de cada parcela, se estimó la media y el coeficiente de variación de la media para la pérdida dentro de cada una de las cuatro clases presentes en una ecozona. La proporción de pérdida por parcela está dada por:

$$P_p = \frac{n_p}{n}$$

Donde:

- P_p = Proporción de pérdida
- n_p = Número de puntos definidos como pérdida a partir de la interpretación visual
- n = Número de puntos totales que componen la parcela evaluada

Para la estimación del tamaño muestral para la intensificación se utilizó:

$$n_t = \left(\frac{t_\alpha \times \sum W_h S_h}{E.E.} \right)^2$$

Donde:

- n_t = Tamaño de muestra requerido
- t = Valor de t a un nivel de confianza definido
- W_h = Peso de la h -ésima clase
- S_h = Desviación estándar de la proporción de pérdida de la h -ésima clase
- $E.E.$ = Error estándar admisible

Una vez estimado el tamaño de muestra total necesario para la intensificación para cada ecozona, se utilizó la asignación de Neyman (1934) para definir el tamaño de muestra necesario dentro de cada clase (tabla 13).

$$n_h = n_t \times \frac{W_h \times S_h}{\sum_{h=1}^4 (W_h \times S_h)}$$

Donde:

- n_h = Tamaño de muestra para la h -ésima clase
- n_t = Tamaño de muestra total requerido
- W_h = Peso de la h -ésima clase
- S_h = Desviación estándar de la proporción de pérdida de la h -ésima clase

Para construir intervalos de confianza, se requieren datos de referencia que deben ser de al menos la misma calidad, o incluso mejor que los datos cartográficos basados en la teledetección, en términos de resolución y exactitud (McRoberts *et al.*, 2018). Para ello, los datos de referencia se colectaron a partir de la interpretación visual en CEO, a partir de la malla de 5 X 5 km para las ecozonas ZH y SADA.

El rol de los datos de referencia (interpretación visual) es fundamental para evaluar la exactitud, ya que dan la garantía de ajuste de los errores sistemáticos de clasificación estimados y permiten estimar la incertidumbre; información que es necesaria para construir los intervalos de confianza.

Olofsson *et al.*, (2014) y Stehman *et al.*, (2008) recomiendan utilizar los datos de referencia, los cuales se recopilaban utilizando el diseño de muestreo probabilístico sistemático (MS), obteniendo tamaños de muestra para cada clase, proporcionales a su ocurrencia.

A partir de la interpretación visual de las muestras en las dos ecozonas, se definió tres clases para el 2018: Bosque, No Bosque y Pérdida (figura 14).

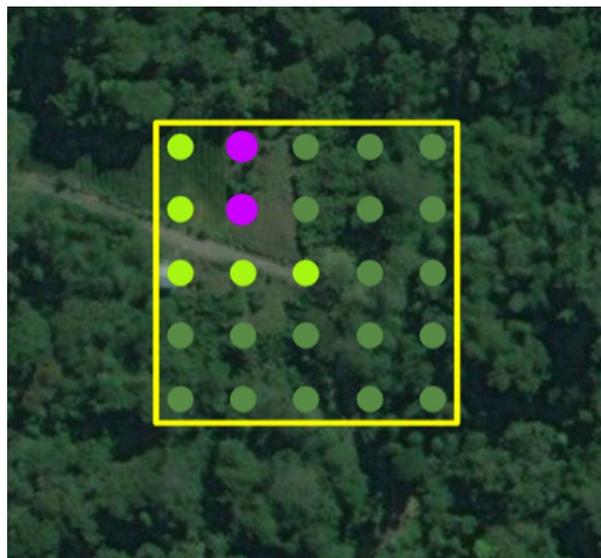


Figura 14. Parcela interpretada visualmente al 2018 a partir de puntos de No bosque (verde claro), pérdida (lila), y Bosque (verde)

Basados en estos resultados, se encontró que la cantidad de muestras necesarias para la intensificación de la ZH y SADA se reflejaba a partir de un marco de equidistancia de 500 m, y a partir de este marco y con un código de Python⁴², se seleccionaron de manera aleatoria los puntos requeridos para intensificar cada clase de interés.

Para la intensificación en ZH y SADA se distribuyó la muestra entre los estratos, siguiendo la asignación de Neyman (1934). El proceso de cálculo se detalla en la plantilla TAMAÑO MUESTRA_2021.xlsx⁴³. Para la ZH se requería 3212 muestras adicionales (1395

⁴² Disponible en: https://drive.google.com/file/d/1ivNQcAcAncixjkeE7OeV-_OT6RnapqH/view?usp=sharing

⁴³ Disponible en:



para Pérdida y 1816 para el área Buffer), de las cuales en la malla sistemática de 5 km X 5 km ya se contaba con 269 muestras interpretadas visualmente y se agregaron 3134 muestras para un total de 3393 muestras para la ZH, superando el tamaño de muestra requerido; caso similar ocurrió para la SADA, donde se requerían 3585 muestras adicionales (362 para No bosque, 2199 para pérdida y 1023 para el área Buffer); para los cuales ya se contaba con la interpretación visual de 792 muestras; y adicionalmente se agregaron 3000 muestras como se detalla en la tabla 13, para un total de 3792 muestras.

Para el caso de SADA, se aclara que con la estimación de muestras adicionales y a partir de su asignación por Neyman, fue posible contar con suficientes muestras para representar la Pérdida y el No bosque, en esta ecozona.

Tabla 13. Número de muestras para intensificar la ecozona ZH y SADA

Clase	Zona Hidromórfica			Selva Alta de Dificil Acceso		
	Muestras requeridas (Neyman)	Muestras de malla sistemática 5 km X 5 km	Muestras Intensificadas	Muestras requeridas (Neyman)	Muestras de malla sistemática 5 km X 5 km	Muestras Intensificadas
No Bosque				362	271	100
Pérdida	1 395	94	2 422	2 199	217	2 133
Buffer	1 816	165	712	1 023	304	768
TOTAL	3 211	269	3 134	3585	792	3 000

Finalmente, el total de parcelas interpretadas visualmente por cada ecozona, a partir de la equidistancia de 5 km x 5 km, la intensificación del muestreo y 1 119 parcelas del INFFS, fue de 38 538 parcelas (figura 15, tabla 14), sobre las cuales se diseñó un proyecto

en CEO, donde a través de un formulario se consignó información de las superficies anuales de los usos y cobertura de la tierra, que posteriormente se asocian al análisis del periodo histórico de 10 años (2010-2019) (tabla 14).

Se aclara también que las 1 119 muestras del INFFS corresponden espacialmente al centroide de las parcelas de campo del INFFS, y toman la misma forma de las parcelas de 1 ha de todo el muestreo sistemático. Estas parcelas, al estar distribuidas de manera aleatoria en la Amazonía peruana, hizo que se generaran proyectos separados en CEO, de manera tal que su inclusión en el NREF permita aumentar el tamaño de la muestra reduciendo la incertidumbre en cada ecozona, se pueda monitorear las parcelas para analizar sus cambios, y además, permita un análisis de áreas consistente, al tener un mismo diseño de parcela para todo el muestreo.

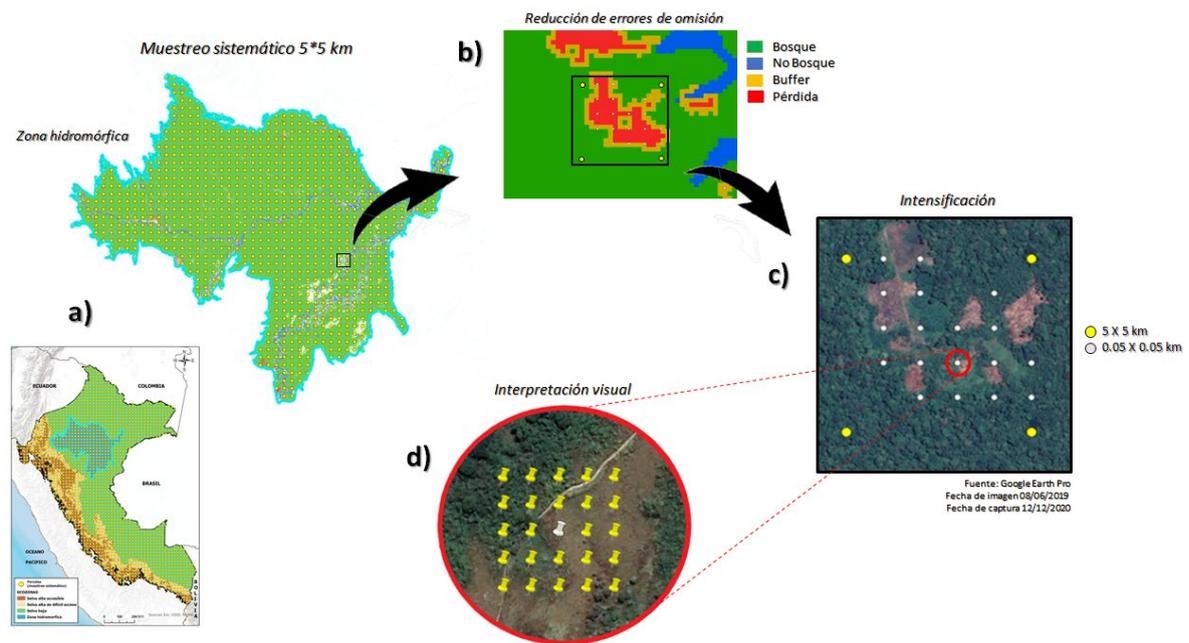


Figura 15. Esquema de desarrollo del muestreo sistemático intensificado en la Amazonía peruana. a) Distribución de malla sistemática a partir de equidistancia de 5x5 km en la Amazonía y ZH, b) Reducción de errores de omisión a partir de la inclusión de área buffer sobre las áreas de pérdida, c) Ejemplo de intensificación a 500 m de la malla sistemática en imagen de alta resolución, d) Parcela de 1 ha sobre la cual se desarrolla la interpretación visual

Tabla 14. Distribución de parcelas en la Amazonía peruana

Ecozonas	Muestreo 5*5	Intensificación 500m	INFFS	Total
SAA	4 372		244	4 616
SADA	4 457	3 000	97	7 554
SBN*	11 110		690	19 662
SBS*	7 862			
ZH	3 484	3 134	88	6 706
Total	31 285	6 134	1 119⁴⁴	38 538

** La selva baja (SB) se dividió en Selva Baja Norte (SBN) y Selva Baja Sur (SBS) debido a la capacidad del CEO en el número de muestras para analizar.*

4.1.1.2. Diseño del formulario “Proyecto Perú” en CEO

Una vez definido el tamaño de la muestra y su distribución en las ecozonas, fue necesario evaluar la forma en que se levantaría la información en cada punto de muestreo. Para ello, se empleó la plataforma CEO, el cual es un sistema de interpretación de imágenes satelitales de código abierto y personalizado desarrollado por la red SERVIR, NASA, FAO y USAID, en asociación con organizaciones técnicas regionales de todo el mundo, como herramienta para uso en proyectos que requieren información de uso y cobertura de la tierra. A partir de la plataforma CEO, varios usuarios pueden recopilar información simultáneamente, sin recurrir a la instalación de programas y gestión de datos, ya que todo funciona en línea y de manera gratuita.

El análisis en CEO permite un enfoque basado en muestras, a partir de una interpretación visual de la cobertura, usos y cambios de uso de la tierra en imágenes satelitales disponibles a través de Google Earth Engine (GEE)⁴⁵ y Google Earth⁴⁶ de forma gratuita y categorizadas en imágenes de mediana Resolución (Landsat 5/7/8 ~ 30m), alta resolución (Planet ~ 30m) y muy alta resolución como BingMaps, MapBox junto a imágenes disponibles en Google Earth (WorldView – 1/2/3 de Digital Globe, GeoEye-1 y Pleiades de Airbus ~ 0.3 y 0.5m).

Para una buena discriminación de las categorías de uso y cobertura de la tierra, en el Proyecto Perú se incorporó además de las imágenes de alta resolución, los mosaicos anuales Landsat (2007-2019), Sentinel (2016-2019), Planet (2018-2019), RapidEye (2011-2012), la serie de tiempo del NDFI (2007- 2019), además, es posible acceder a los mosaicos generados en CEO por defecto, y tener información histórica de las tres misiones de Landsat: Landsat 5 (1984-2000), Landsat 7 (2000-2019) y Landsat 8 (2013-2019), así como datos Sentinel 2 (2017-2019). Por otro lado, CEO también nos proporciona por defecto información de series de tiempo de Landsat, Sentinel y MODIS, las cuales pueden apoyar la interpretación y análisis históricos⁴⁷ (tabla 15).

⁴⁴ La parcela 417 (-77.07721 -8.282759462) se eliminó del análisis, porque el centroide no cae en la Amazonía.

⁴⁵ <https://earthengine.google.com/>

⁴⁶ <https://www.google.com/intl/es/earth/>

⁴⁷ https://collect.earth/downloads/CEO_Manual_DataCollector_20201115.pdf

Tabla 15. Imágenes satelitales utilizadas en la fotointerpretación

Imágenes	Periodo	Descripción	Resolución (m)
Planet NICFI	2017 al 2019	Imágenes utilizadas en la interpretación de la cobertura y/o usos de la tierra en el año 2017, 2018 y 2019.	5
RapidEye	2011-2012	Imágenes utilizadas en la interpretación de la cobertura y uso de la tierra del año 2011, así como el cambio de uso en el periodo 2019-2011.	5
Sentinel 2	2017 al 2019	Imágenes utilizadas en la interpretación de coberturas y usos de la tierra de forma anual desde el 2017.	10
Landsat 5, 7 y 8	2007 al 2019	-Imágenes utilizadas desde el 2007 hasta el 2019 para una interpretación visual mediante los criterios de color, textura, agrupación y contexto de las muestras. -Serie de tiempo en base al índice NDFI para el análisis multitemporal a través de valores promedios de la parcela de muestreo.	30
BingMaps	Varios	Plataformas con imágenes de alta resolución utilizadas de forma complementaria a la interpretación visual. Tiene la limitante que no tiene el registro de fecha de toma de las escenas.	Varios
MapBox			
Here/Yandex			
Google Earth	Varios	Plataforma complementaria que cuenta con un repositorio histórico de imágenes de muy alta resolución para la interpretación visual de coberturas y usos de la tierra.	Varios

Toda esta información satelital se puso a disposición del NREF a través de la creación del “Proyecto Perú” en CEO (figura 16), donde a través de códigos en JavaScript y Python se realiza peticiones a los servidores de GEE, para realizar procesamientos geoespaciales orientados principalmente a acceder información disponible en la nube, pero principalmente para generar mosaicos anuales libres de nubes y sombras para toda la Amazonía peruana en el periodo histórico 2010-2019.

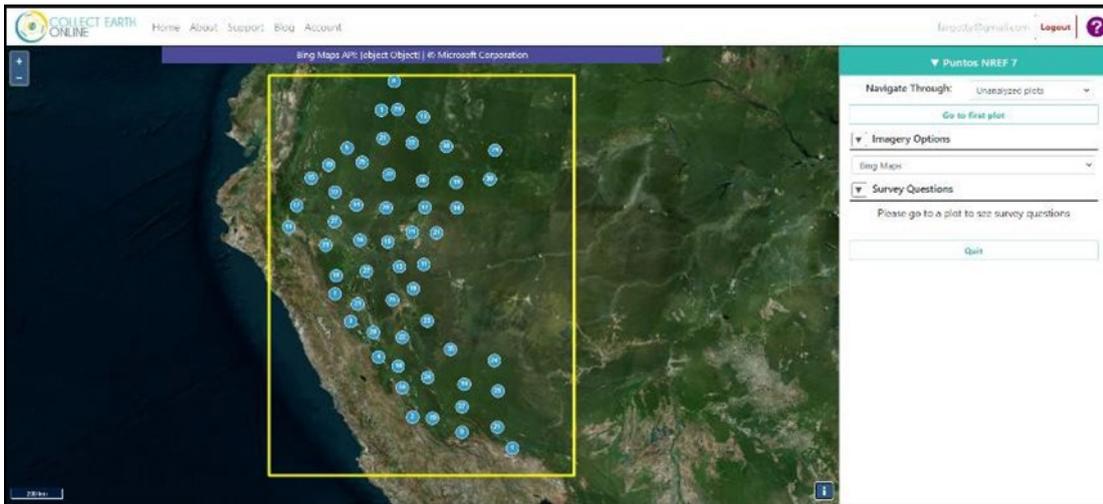


Figura 16. Interfaz del Proyecto Perú en CEO

Dentro de todo el repositorio de imágenes satelitales que actualmente existen, la misión Landsat representa un hito en el uso de imágenes satelitales multispectrales para el estudio de la Tierra, ya que representa el registro histórico de imágenes más antiguo (desde 1972 hasta la actualidad), convirtiéndose por estas características, en la misión satelital de observación de la Tierra más utilizada. El poder contar con toda la colección de datos Landsat y acceder a él a través de CEO, fue posible gracias a GEE, lo cual permitió acortar enormemente el tiempo de procesamiento debido a su enorme capacidad de cómputo, y también poder hacer consultas sobre los metadatos de las imágenes para el desarrollo de los mosaicos.

Con esta información, fue posible rastrear los cambios de la cobertura forestal a lo largo de un período de 10 años (2010-2019) y producir datos de referencia precisos y completos. Debe señalarse, además, que los mosaicos Landsat se construyen con un código único, utilizando imágenes de reflectancia de la superficie, a partir del valor del medioide del mejor píxel anual (1 de enero a 31 de diciembre), modificando únicamente el año de análisis. Asimismo, en GEE se cargó 1557 *tiles* de imágenes RapidEye (2011-2012), para apoyar la interpretación visual del 2011, con mejor resolución espacial y cuyo peso aproximado es de 255,3 GB, con cobertura total de la Amazonía.

Insumos adicionales como el mapa de ecozonas, mapa de ecosistemas y el mapa de división político-administrativa; fueron agregados al Proyecto Perú en la plataforma CEO, con el propósito de dar claridad al intérprete sobre la ubicación de la parcela y el ecosistema analizado; en caso de encontrar dificultades en la interpretación, se hace la consulta en la memoria descriptiva del mapa nacional de ecosistemas (MINAM, 2018), donde se encuentra la definición detallada para cada uno de estos ecosistemas.

Por las razones anteriores, el MINAM vio como una oportunidad valiosa y útil en la actualización del NREF, la integración de imágenes de alta resolución con CEO y su interpretación visual, para analizar también el cambio de uso y la cobertura de la tierra de manera anualizada, permitiendo un monitoreo más exacto y consistente a través del tiempo.

Este proceso toma en consideración las clases de los mapas de uso de suelo generadas

por el PNCBMCC, y que pueden ser interpretadas visualmente. Asimismo, y a partir de intereses compartidos con especialistas de Serfor, se vincula en el formulario algunas clases importantes para el país y también se discriminan los árboles fuera del bosque, por su papel en pro de opciones de desarrollo sostenible, como un recurso potencial que puede ser clave en esfuerzos de mitigación en espacios de uso humano intensivo.

El NREF considera las categorías IPCC, las cuales están pensadas para que puedan ser identificadas mediante el uso de métodos para representar el uso y cobertura de la tierra, siendo sólidas, como base para la estimación de las emisiones y absorciones, aplicables, y completas, en el sentido en que todas las superficies de tierra de un país pueden clasificarse en estas seis categorías sin que exista duplicidad de la información. Además, se convierte en información base para los reportes a la CMNUCC, donde el país mediante el monitoreo puede actualizar los INGEI, RAGEI y BUR con sus anexos técnicos REDD+ para pago por resultados.

Es de aclarar que la información reportada en el NREF llega a nivel 1 (categorías IPCC), mientras que la información de interpretación visual con clases más detalladas de uso de la tierra (nivel 2) [tabla 5], será usada por el país para cumplir diferentes propósitos de planificación, establecer estrategias de manejo y gestión de las políticas públicas de mitigación y adaptación al cambio climático desde el sector forestal.

4.1.1.3. Interpretación visual de la deforestación, cambio de uso del suelo y validación

Cada parcela de 1 ha, fue analizada a partir de la interpretación visual de cada punto (25 puntos totales), para cada año del período histórico por especialistas en teledetección, analizando los usos y cobertura de la tierra entre 2019, 2011 y 2007 y los cambios anuales y permanencias ocurridos en el período histórico 2007- 2019 en el “Proyecto



Perú”. Los años de referencia (2019, 2011 y 2007) seleccionados tienen relación con la disponibilidad de imágenes de alta resolución, lo cual a futuro puede adaptarse en análisis más detallados (ej. degradación forestal).

La interpretación visual en CEO, empieza por el año más reciente (2019), dada una mayor posibilidad de acceder a imágenes de alta resolución (BingMaps, Mapbox, Planet, RapidEye y todo el catálogo de imágenes de Google Earth) y con ello discriminar mejor las categorías. Una vez identificada la categoría con imágenes de alta resolución, se asocia a la gama de colores de Landsat en ese año y se relaciona el comportamiento histórico de esa parcela a través de los mosaicos anuales y la serie de tiempo Landsat, dispuestos en la interfaz de Geo-Dash (figura 17).

Inicialmente se analiza anualmente las parcelas y sus 25 puntos en retrospectiva del 2019 al 2011, posteriormente se analiza 2011 con 2007 en mediana resolución, siguiendo la misma lógica de interpretación visual que el periodo 2019-2011. Se recalca que el análisis se realizó en un periodo mayor al periodo histórico (2007-2019), dada la necesidad del MINAM de tener datos continuos para conocer la tendencia histórica de la deforestación y apoyar el diseño y evaluación de las políticas públicas en el sector forestal.

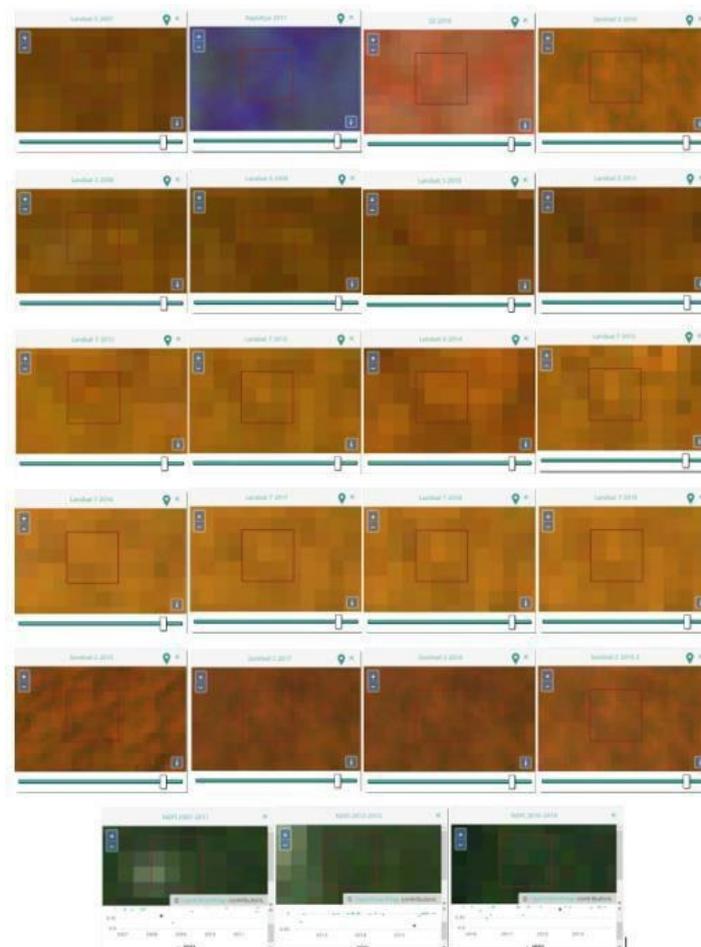


Figura 17. Interfaz del Geo-Dash en CEO

Los detalles del formulario “Proyecto Perú”, así como el proceso de interpretación, se encuentran en el documento: *Protocolo de Clasificación de Usos de la Tierra en Collect Earth Online para el NREF del Perú* (MINAM, 2021a). El “Proyecto Perú” toma en consideración a nivel de parcela su diseño, tamaño y número de puntos por parcela. A nivel de formulario detalla la definición y caracterización de Bosque, No bosque, período de referencia, imágenes satelitales disponibles a usar, criterios para caracterizar los cambios y control de calidad.

La unidad de muestreo de cada punto se definió como una parcela de 100 x 100 m (1 ha), con una cuadrícula interna de 25 puntos separados con una distancia de 20 m entre puntos (figura 18). El Perú evita perder información de los usos y cambios de la tierra mediante análisis basado en los 25 puntos dentro de la parcela de 1 ha. Cada punto de la cuadrícula interna tiene un peso de 4 % de la parcela (0.04 ha).



Figura 18. Diseño de la unidad de muestreo

Debe señalarse que, para estimar las áreas de las clases, el número de puntos afecta poco el error total, ya que hay un efecto mínimo en la varianza dentro de las parcelas, siendo recomendable desde el punto de vista estadístico, entre 9 y 25 puntos.

Respecto a los usos y cobertura de la tierra, el Proyecto Perú permite mezclar cobertura y uso para satisfacer los requerimientos y necesidades de información del país, siempre teniendo en consideración la definición de Bosque para el presente NREF.

Interpretación a partir del contexto

Uno de los puntos clave en el proceso de interpretación visual, fue tener claridad sobre la definición operativa de las tierras forestales (bosque). De acuerdo con el contexto institucional y propósito para el cual estas definiciones han sido formuladas, la definición de bosque para la Amazonía adoptada en el NREF guarda consistencia con la definición oficial de bosque de la ley forestal y su reglamento para la gestión forestal en su artículo 5, y la definición del INFFS.

En ese sentido es importante aclarar que la definición de bosque del NREF 2015 difiere en el umbral de área mínima, la cual fue reportada a nivel de pixel Landsat (30m) [figura 19] (Potapov *et al.*, 2014). Esta definición se da por las especificaciones técnicas de la cadena de procesamiento de los datos de actividad y captura los patrones espaciales y temporales de los eventos de deforestación de pequeña escala. Sin embargo y dado el enfoque metodológico empleado, esta definición se modifica a ≥ 0.5 ha por varias razones:

- La definición de bosque del NREF 2015 no es operativa técnicamente con la interpretación visual de bosque, adoptada en el NREF 2021.
- La metodología de interpretación visual sobre un paisaje forestal permite definir el bosque a partir del contexto (parches de bosque ≥ 0.5 ha y no a partir de un pixel Landsat (0.09 ha).
- Un análisis de deforestación y degradación forestal sobre píxeles aislados aumenta la incertidumbre, generando limitaciones metodológicas al analizar fragmentos de bosque.
- El análisis de interpretación visual sobre imágenes Landsat, se centra en grupos de al menos 6 píxeles Landsat (0.54 ha), lo cual representa áreas con mayor certidumbre de ser clasificadas como bosque.
- Los resultados del análisis de series de tiempo sobre “grupos de píxeles” son más consistentes.
- El monitoreo de las áreas de pérdida actual (a través de mapas), permite contabilizar solamente las áreas deforestadas en un periodo determinado que se encuentran dentro de un área clasificada como “Bosque” al principio del período de medición y no toma en cuenta el área forestada/reforestada o regenerada naturalmente en el mismo período y tampoco las pérdidas de las áreas forestadas/reforestadas o regeneradas en el mismo período, lo cual a nivel de píxeles aislados se convierte en un desafío metodológico importante.
- Acciones de gestión y manejo de los bosques, requiere cuantificar los hábitats de manera precisa, por esta razón, es más consistente desarrollar estas acciones sobre grupos de píxeles que representan bosques que hacer análisis sobre píxeles dispersos.

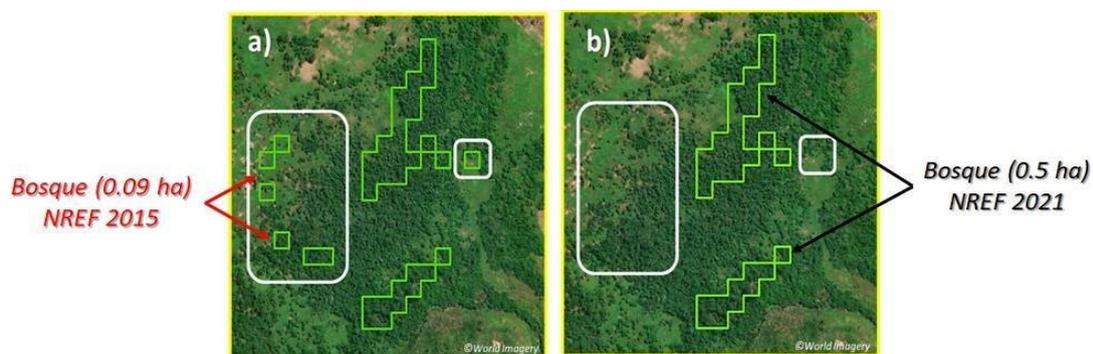


Figura 19. Representación espacial de “áreas de bosque” (color verde) de acuerdo con la definición del NREF 2015 (≥ 0.09 ha) y NREF 2021 (≥ 0.5 ha)

Este criterio permite identificar áreas que tienen presencia de árboles, pero no cumplen el criterio de ser categorizadas como Bosque, así como áreas boscosas que, a pesar de ocupar pequeñas áreas dentro de la parcela, son consideradas como Bosque, dado el contexto de clasificación empleado. De este modo, la distribución de las parcelas en la Amazonía no tiene influencia sobre la cobertura existente y, al contrario, permite reflejar mejor las categorías de uso y cobertura de la tierra en el paisaje. Asimismo, el tamaño de la parcela (1 ha) tampoco tiene influencia sobre la definición de Bosque utilizada (≥ 0.5 ha), dado que es el contexto del paisaje el que define si una tierra puede ser categorizada como Bosque o No Bosque.

Control de calidad

El método de estimación de superficies por medio de proporciones bajo el enfoque de muestreo sistemático es sensible a errores de interpretación en las parcelas, lo cual está sujeto a subestimaciones o sobreestimaciones, por lo que fue necesario realizar controles de calidad a diferentes niveles y donde se destacan:

Control de calidad en la interpretación

El análisis de las categorías y sus cambios (empleando el formulario “Proyecto Perú” desarrollado por el equipo técnico del NREF en la herramienta CEO) fue implementado por 22 intérpretes pertenecientes a diferentes instituciones en el país (Serfor, IIAP, Osinfor y MINAM). Los especialistas fueron capacitados en la homologación de criterios de interpretación y en el uso del formulario, recibiendo un acompañamiento continuo en todo el proceso.

Asimismo, y dada la dinámica de la Amazonía y el contexto de la situación en el Perú con las medidas sanitarias de la pandemia SARS-COVID19, se consideró como una buena práctica, generar insumos adicionales (videos demostrativos, imágenes con las categorías analizadas, protocolo de interpretación visual, etc.), asegurando la calidad, permitiendo al intérprete tener mejor claridad sobre los usos analizados, sus cambios, y respaldando el principio de transparencia al documentar claramente el proceso de interpretación visual, lo cual facilita su replicabilidad.

Adicionalmente, hubo un proceso permanente de revisión y discusión de parcelas con diferentes interpretaciones para calibrar los criterios de los intérpretes y tener consenso general, concentrado principalmente en parcelas de difícil interpretación y mejor toma de decisiones, acorde con la información disponible.

Uno de los componentes más importantes en el control de calidad y con el objetivo de reporte, fue el análisis de 50 parcelas al azar, las cuales fueron interpretadas por todos los especialistas, y a partir de los resultados, se seleccionó el grupo de intérpretes que tuvieron mayor discrepancia con respecto a la interpretación real de la parcela. Se llevaron a cabo reuniones donde se explicó en detalle las principales diferencias encontradas y se llegó a consensos, que se fueron revisando de manera periódica por el equipo técnico del NREF, quien hizo un acompañamiento permanente.

Posteriormente, la compilación, integración y control de calidad del proceso de interpretación visual fue coordinado por los especialistas del equipo técnico del NREF, quienes llevaron el control de avance y resolución de dudas en la interpretación y desarrollo del formulario de manera semanal, revisando parcelas aleatorias de los intérpretes a su cargo (entre tres y cuatro), para garantizar que todo el proceso anterior había logrado tener consenso en la interpretación final. En esta etapa se revisaron 1410 parcelas de cambio y de no existir consenso entre los tres intérpretes, el especialista del equipo técnico NREF hacía una validación cruzada a partir de su interpretación, garantizando mayor consistencia en los resultados. El trabajo de interpretación del muestreo sistemático inició en agosto 2020 y concluyó en diciembre de 2020.

Control de calidad de los cambios

El control de calidad de los cambios se detalla en el Protocolo de clasificación de usos de la tierra (MINAM, 2021a). Cabe aclarar que las parcelas que presentaron algún cambio durante el periodo 2010-2019, fueron rectificadas y validadas por el equipo técnico del NREF, con el objetivo de detectar falsos cambios y la fecha de cambio correcta.

Una de las principales observaciones al hacer el control de calidad, fue el hecho de encontrar diferencias en las fechas de detección de cambios de los mosaicos anuales con respecto a la serie de tiempo. Para garantizar la consistencia de los resultados, se adoptó que la serie de tiempo es la herramienta que define la fecha del cambio, dado que contiene todas las escenas Landsat disponibles junto a su fecha de emisión durante el periodo histórico.

Todas las parcelas con vacíos de información e inconsistencias fueron validadas, reinterpretadas y actualizadas en la base de datos para su análisis correspondiente. Toda la información relacionada con el formulario “Proyecto Perú”, está almacenada en el siguiente enlace:

<https://drive.google.com/drive/folders/15d39bTvYtmr8VxVIANQAAHqEe1vRG5hq?usp=sharing>

4.1.1.4. Preparación de bases de datos y análisis de la deforestación

El área de contabilidad del NREF tiene una escala subnacional e incluye toda la Amazonía peruana. La malla sistemática cubre 38 538 parcelas de muestreo, que se distribuyen en todas las ecozonas y sus ecosistemas, coberturas vegetales y usos de la tierra del bioma amazónico (tabla 16). Si bien el NREF se enfoca en el análisis de la deforestación, los resultados de la interpretación visual de la malla sistemática son más amplios, y captan otras transiciones de interés para el MINAM, puesto que se considera al muestreo sistemático, un eje articulador y multipropósito que apoyará diferentes esfuerzos de las instituciones en el país.

Tabla 16. Área total y número de parcelas en las cuatro ecozonas de la Amazonía

<i>Ecozona</i>	<i>Área (ha)</i>	<i>Número de parcelas</i>
Selva Baja	47 472 740,55	19 662
Selva Alta Difícil Acceso	11 132 433,90	7 554
Selva Alta Accesible	10 972 886,67	4 616
Zona Hidromórfica	8 730 739,62	6 706
Total	78 308 800,74	38 538

La estratificación en ecozonas permite, como parte de un enfoque escalonado, mejorar la eficacia de las estimaciones de precisión y de área, desde el punto de vista estadístico y espacial (GFOI, 2020; IPCC, 2006). La estimación de la deforestación y la dirección de su cambio (transiciones), se realizó siguiendo el enfoque de superficies por medio de proporciones indicado en las Directrices del IPCC (2006), a partir del cual se requiere conocer la superficie total del área de contabilidad, incluidas las superficies de las diferentes categorías de uso de la tierra, que serán utilizadas como estratos, basándose en las evaluaciones de las proporciones de la superficie a partir de puntos de muestra.

Se generó una matriz que integra la información de las áreas de las categorías IPCC de las 38 538 parcelas que representan 963 450 puntos con información de las superficies anuales de los usos y cobertura de la tierra anual, que posteriormente se asocian al análisis del periodo histórico de 10 años (2010- 2019).

Una vez terminada la interpretación visual y el control de calidad sobre las parcelas, se procede a descargar los formularios desde CEO. Cabe mencionar que se generaron 12 proyectos, con el propósito de organizar la información y los resultados:

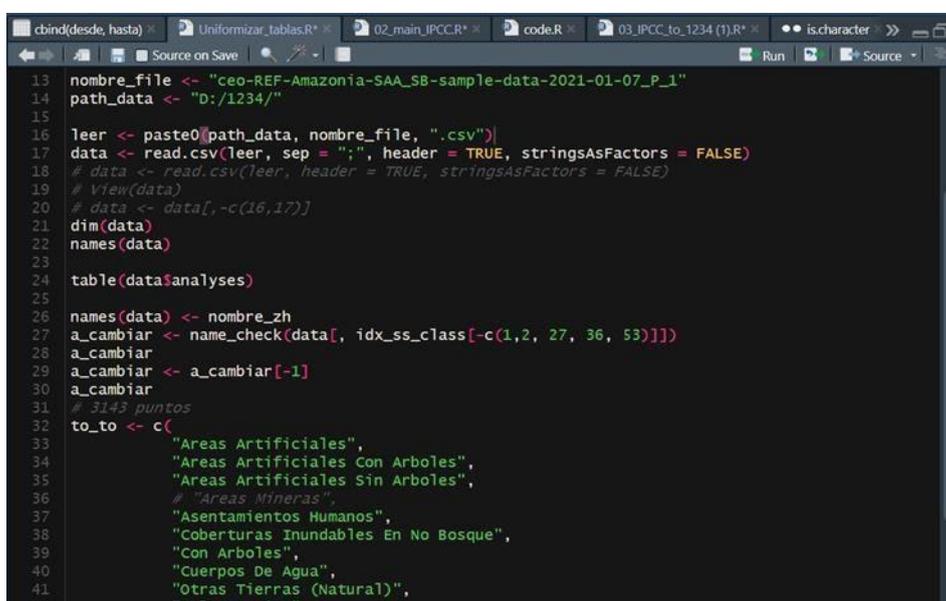
- Proyecto Selva Baja Norte
- Proyecto Selva Baja Sur
- Proyecto Selva Alta Accesible
- Proyecto Selva Alta de Difícil Acceso
- Proyecto Selva Alta de Difícil Acceso - intensificación
- Proyecto Zona Hidromórfica
- Proyecto Zona Hidromórfica-intensificación
- Proyecto Inventario Nacional Forestal, Selva Baja Norte
- Proyecto Inventario Nacional Forestal, Selva Baja Sur
- Proyecto Inventario Nacional Forestal, Selva Alta Accesible
- Proyecto Inventario Nacional Forestal, Selva Alta de Difícil Acceso
- Proyecto Inventario Nacional Forestal, Zona Hidromórfica

La plataforma CEO genera dos tipos de reporte: a nivel de parcela y a nivel de puntos dentro de la parcela (25 puntos por parcela). Como se detalló en el apartado anterior, para evaluar las superficies a partir de proporciones, el registro de cada parcela se realizó a nivel de punto, generando un archivo .csv por proyecto con información multitemporal a ese nivel.

El detalle de los usos y cobertura de las tierras interpretadas, los años estudiados y el análisis de los cambios, se encuentra detallado en el Protocolo de clasificación de usos de la tierra (MINAM, 2021a).

En el diseño del formulario y sus consultas se obtuvo información resumida en 79 columnas, las cuales se analizaron a partir de tres códigos en R, para obtener las categorías de uso y cobertura anualizadas, pero principalmente, generados para obtener las categorías IPCC para el reporte del NREF. El número de columnas depende de la cantidad de consultas que hace el usuario en el formulario y se pone a disposición en la plataforma CEO para su interpretación visual.

El primer procesamiento de la información utilizó un código que lee el archivo .csv y uniformiza los caracteres que no son reconocidos (tildes, signos de interrogación, ñ, entre otros), y que generan confusión en la ejecución del código (figura 20).



```

13 nombre_file <- "ceo-REF-Amazonia-SAA_SB-sample-data-2021-01-07_P_1"
14 path_data <- "D:/1234/"
15
16 leer <- paste0(path_data, nombre_file, ".csv")
17 data <- read.csv(leer, sep = ";", header = TRUE, stringsAsFactors = FALSE)
18 # data <- read.csv(leer, header = TRUE, stringsAsFactors = FALSE)
19 # View(data)
20 # data <- data[,-c(16,17)]
21 dim(data)
22 names(data)
23
24 table(data$analyses)
25
26 names(data) <- nombre_zh
27 a_cambiar <- name_check(data[, idx_ss_class[-c(1,2, 27, 36, 53)]]
28 a_cambiar
29 a_cambiar <- a_cambiar[-1]
30 a_cambiar
31 # 3143 puntos
32 to_to <- c(
33   "Areas Artificiales",
34   "Areas Artificiales Con Arboles",
35   "Areas Artificiales Sin Arboles",
36   # "Areas Mineras",
37   "Asentamientos Humanos",
38   "Coberturas Inundables En No Bosque",
39   "Con Arboles",
40   "Cuerpos De Agua",
41   "Otras Tierras (Natural)",
42   "Palma Aceite"

```

Figura 20. Uniformización de caracteres para definir los usos de suelo

Un segundo código permite rellenar la información de toda la base de datos, complementando con los usos y cobertura de la tierra interpretadas. Es importante señalar que, dada la disponibilidad de imágenes de alta resolución en años recientes, las preguntas del formulario inician con la interrogante de clasificación del 2019 y detección de cambios en el 2011 y 2007, siendo una de las principales funcionalidades del código generar la categorización en orden lógico de 2007 al 2019 para poder comprender mejor los cambios.

Para buscar consistencia con la interpretación visual, se hizo un control de calidad respecto a los usos que presentaron algún cambio en la serie histórica y que visualmente puede conllevar a generar procesos de mala clasificación y/o falsas recuperaciones y conversión de usos. En este proceso se toma en consideración los cinco años que se han establecido en la interpretación visual, para poder discriminar si una parcela se encuentra en proceso de recuperación o el cambio de uso es permanente.

Esta recuperación o “empurme”, se da sobre la base de tierras abandonadas o tierras que fueron utilizadas en actividades agrícolas y que se encuentran en descanso para la recuperación de los suelos (IIAP 2001). Se utilizó los cinco años como un criterio que apoya la interpretación del uso y cobertura de la tierra, que permite guardar consistencia con la serie temporal y que justifica entender mejor la vegetación presente en la Amazonía y en ese sentido, se asegura que en el periodo observado los cambios son permanentes.

El criterio de un período de 5 años para clasificar un punto como "recuperación" parte de experiencias nacionales e internacionales que han buscado caracterizar a los bosques secundarios a partir de las dinámicas de los bosques como los estados sucesionales [Budowski *et al.* (1970); Chazdon (2008, 2014); Finegan (1996), Gómez y Vásquez (1974)]. De acuerdo con la dinámica de recuperación, durante los primeros 5 años seguidos al evento de la deforestación, un bosque en su estadio inicial de recuperación es considerado como "purma"; a partir del año 6 hasta el año 20, "bosque secundario joven", y a partir del año 20, "bosque secundario maduro". Esta clasificación basada en series de tiempo y trabajada en CEO, permitió identificar los puntos en recuperación, cuando a partir del año que se detecta un cambio, se identifica una tendencia ascendente en la serie de tiempo y después de los 5 años considerados como referencia, y con ayuda de las imágenes de alta resolución, fue posible determinar que dichos puntos podrían corresponder a la clase "bosque".

Este criterio permite detectar el año de cambio, identificar si hay un proceso de recuperación y evitar inconsistencias con la interpretación visual al confirmar que realmente el área se está recuperando. Además, se evitan inconsistencias relacionadas con errores en la interpretación, al considerar condiciones imposibles de presentarse (por ejemplo, pasar de tierras agrícolas (TA) a tierras forestales (TF) de un año a otro.

La recuperación de bosque se presenta en parcelas que en el periodo inicial (2007 o 2011) se identificó una cobertura/uso de suelo como tierras agrícolas, praderas y/o asentamientos humanos y para el siguiente periodo (2011 o 2019) se determinó como TF. Asimismo, es posible encontrar TF que en el periodo inicial (2007 o 2011), tuvieron una pérdida y que posteriormente se recuperaron.

Para consolidar la base de datos en el análisis, fue necesario evaluar todas las parcelas de cambio y revisar que no existía inconsistencia en el periodo establecido de los 5 años (figura 21). Las parcelas con inconsistencias se revisaron nuevamente en CEO y se resolvió las dudas con el intérprete responsable de la parcela en cuestión.

pl_plotid	year_2007	year_2008	year_2009	year_2010	year_2011	year_2012	year_2013	year_2014
469	Bosque Natural	Praderas	Praderas	Praderas				
469	Bosque Natural	Bosque Natural	Bosque Natural	Praderas	Praderas	Praderas	Praderas	Bosque Natural
469	Bosque Natural	Bosque Natural	Bosque Natural	Praderas	Praderas	Praderas	Praderas	Bosque Natural
469	Bosque Natural	Praderas	Praderas	Praderas				
469	Bosque Natural	Praderas	Praderas	Praderas				
469	Bosque Natural	Praderas	Praderas	Praderas				
469	Bosque Natural	Bosque Natural	Bosque Natural	Praderas	Praderas	Praderas	Praderas	Bosque Natural
469	Bosque Natural	Bosque Natural	Bosque Natural	Praderas	Praderas	Praderas	Praderas	Bosque Natural
469	Bosque Natural	Praderas	Praderas	Praderas				
469	Bosque Natural	Praderas	Praderas	Praderas				
469	Bosque Natural	Praderas	Praderas	Praderas				
469	Bosque Natural	Praderas	Praderas	Praderas				
469	Bosque Natural	Bosque Natural	Bosque Natural	Praderas	Praderas	Praderas	Praderas	Bosque Natural
469	Bosque Natural	Bosque Natural	Bosque Natural	Praderas	Praderas	Praderas	Praderas	Bosque Natural
469	Bosque Natural	Praderas	Praderas	Praderas				
469	Bosque Natural	Praderas	Praderas	Praderas				
469	Bosque Natural	Praderas	Praderas	Praderas				

Figura 21. Inconsistencia con el periodo de recuperación del bosque

Una vez consolidada la base de datos, se ejecuta el tercer código en R, que categoriza los usos y coberturas en categorías IPCC de manera anual y en toda la serie histórica para el reporte. Para la estimación de superficies por medio de proporciones, se cuenta con 12 bases de datos con la información de las categorías IPCC interpretadas en las ecozonas (cinco bases de datos), su intensificación (dos bases de datos) y las parcelas del INFFS distribuidas en las ecozonas (cinco bases de datos) [tabla 17].

En cuanto a la base de datos del INFFS, se recibieron de parte de Serfor un total de 1120⁴⁸ parcelas de las 1 288 UM estimadas en el diseño muestral, distribuidas en 313 evaluadas, 82 no evaluadas y 725 no programadas para evaluación. Las parcelas que no fueron entregadas suman 168 y se distribuyen en territorio PIACI (Pueblos Indígenas u Originarios de Aislamiento o en situación de Contacto Inicial) y en no bosque. Esta diferencia explica por qué se utilizaron solo 1 119 de 1 288 UM del INFFS

Tabla 17. Número de parcelas y puntos interpretados en CEO.

Ecozonas	Muestreo 5x5*	Puntos interpretados**	Intensificación 500m*	Puntos interpretados **	INFFS*	Puntos interpretados **	Total parcelas
SAA	4 372	109 300			244	6 100	4 616
SAD	4 457	111 425	3 000	75000	97	2 425	7 554
SBN	11 110	474 300			690	17 250	19 662
SBS	7 862						
ZH	3 484	87100	3 134	78350	88	2 200	6 706
Total	31 285	782 125	6 134	153 350	1 119	27 975	38 538

*Número de parcelas

**Número de puntos interpretados en la base de datos

Cada base de datos cuenta con 19 columnas y 963 450 registros (puntos interpretados), distribuidos en las 12 bases de datos y que corresponden a cada uno de los puntos

⁴⁸ La parcela 417 (-77.07721 -8.282759462) se eliminó del análisis, porque el centroide no cae en la Amazonía.

muestreados (25 filas por parcela). Las columnas de la base de datos contienen la identificación de la parcela, coordenadas y categoría IPCC interpretada:

- **Columna 1:** Plot_id, contiene la numeración de cada parcela asignada por CEO.
- **Columna 2:** Sample_id, indica la numeración de cada uno de los 25 puntos de la parcela.
- **Columna 3:** lat, indica la coordenada latitud de cada punto del sample_id.
- **Columna 4:** lon, indica la coordenada longitud de cada punto del sample_id.
- **Columna 5:** pl_plot, contiene la numeración asignada por el operador al momento de ingresar el formulario al CEO (numeración por parcela, es único).
- **Columna 6 - 18:** contiene la categoría IPCC de la serie histórica 2007 – 2019.
- **Columna 19:** contiene la información de los cuatro estratos utilizados para la intensificación del muestreo.

Con esta base de datos fue posible identificar la dinámica de los cambios entre las categorías del IPCC de permanencia, parcelas que cambiaron de uso, pérdida de bosque de origen natural y parcelas que se recuperaron, entre otros cambios de usos de la tierra que dan un total de 36 tipos de clases de cambio y su dinámica (tabla 18). La dinámica completa de las categorías IPCC que se identifica y cuantifica su área, se encuentra descrita en el Protocolo de clasificación de uso de la tierra (MINAM, 2021a).

Tabla 18. Dinámica de cambio en las tierras forestales en las categorías del IPCC cuantificadas en el NREF.

Tipo de cambio	Dinámica	Clases de cambio
Tierra forestal a Tierra forestal	Permanencia	TF-TF
Tierra forestal a Tierra agrícola, Praderas y Asentamientos humanos	Deforestación	TF-TA, TF-P y TF-AH
Tierra forestal a Humedales y Otras tierras	Pérdida natural de bosque	TF-H y TF-OT
Tierras agrícolas, Praderas, Asentamientos humanos, Humedales y Otras tierras a Tierras forestales	Recuperación de bosque	TA-TF, P-TF, AH-TF, H-TF, OT-TF
Otros Cambios de uso de tierra	Permanencias, pérdidas y cambio de clases no forestales	TA-TA, P-P, AH-AH, H-H, OT-OT, TA-P, TA-AH, TA-H, TA-OT, P-TA, P-AH, P-H, P-OT, H-TA, H-P, H-AH, H-OT, AH-TA, AH-P, AH-H, AH-OT, OT-TA, OT-P, OT-A y OT-H

El objetivo del NREF es reportar las emisiones asociadas a la deforestación, por lo que todas las recuperaciones y otras clases de cambio, se incluyen y cuantifican su área, pero no se reportan para efectos del presente NREF. Para el supuesto de considerar bosque a partir de los 5 años, se considera que es un criterio que debe ser analizado con mayor detalle técnico y su implementación en el cálculo podría conllevar a problemas relacionados con la contabilidad, dado que: (i) técnicamente es complejo identificar correctamente el año específico de recuperación ya que (ii) el tiempo promedio de

recuperación puede oscilar entre 3 a 10 años, dado que el proceso de sucesión puede verse afectado por el tipo, intensidad y grado del disturbio, el grado de fragmentación, así como la vegetación remanente, entre otros factores.

Las 12 bases de datos que suman 963 450 registros, categorizados y traducidos a categorías IPCC en el periodo 2007 al 2019, ayudan a simplificar el proceso de estimación. Con esta información histórica, fue posible identificar las parcelas que permanecieron con el mismo uso, las que presentaron cambio y su respectiva dirección de cambio. Las parcelas con la misma categoría IPCC entre el año 2007 y el 2019 fueron consideradas como “permanencias”, mientras que aquellas que presentaron diferente categoría IPCC entre el año 2007 y el 2019 se consideraron como “cambios”, asociados a pérdida, deforestación y recuperación, como se detalla en la tabla 18.

Las fechas de los diferentes eventos de cambio, consideradas por los intérpretes a partir de la información satelital anual en CEO y ajustadas a los requerimientos de análisis de superficies en una base de datos, son la base para registrar la evolución de los cambios en toda la serie histórica 2007- 2019. En ese sentido las 12 bases de datos se mantienen independientes y se fusionan a través de un código en R para las estimaciones de superficies por ecozona y finalmente se agregan para el estimado de la Amazonía.

4.1.1.5. Métodos de estimación de áreas e incertidumbre asociada

Mediante el enfoque de estimación de superficies a partir del muestreo sistemático de parcelas por medio de proporciones, detallado en el capítulo 3 del volumen 4 de las Directrices del IPCC (2006), se cubrió el área de cada ecozona con un determinado número de parcelas de muestreo (ver capítulo 4.1.1.1) conformada por 25 puntos de evaluación. En cada uno de estos puntos se determinó el uso de la tierra (categorizado finalmente a categorías IPCC).

En la tabla 16, se reporta la cantidad de parcelas muestreo evaluadas en cada ecozona, así como la información de la intensificación de la muestra. Para el cálculo de las áreas de cada categoría IPCC en cada ecozona, se generaron dos códigos en R (R Core Team, 2020) y las rutinas se ejecutan en dos etapas:

El primer código, toma la información de la base de datos resultado del análisis de interpretación visual depurada para cada una de las ecozonas, y determina las transiciones ocurridas para cada punto entre dos años consecutivos. Es decir, se relaciona la información de la categoría IPCC para un mismo punto en dos años consecutivos y se define la transición ocurrida. Las transiciones de dos años consecutivos pueden mostrar cambios y permanencias de categorías IPCC. Una vez definida las transiciones para todos los puntos en el horizonte temporal 2007-2019, se procedió a realizar los cálculos para estimar el área total por transición por ecozona.

El primer paso fue calcular la proporción de cada una de las transiciones dentro de una parcela por estrato y ecozona. Es importante recordar que, para el caso del Perú, se intensificó la muestra en la ecozona ZH y SAD para lo cual fue necesario estratificar en cuatro estratos (Pérdida, Bosque, No Bosque y Buffer) definidos por el mapa de Geobosques (ver capítulo 4.1.1.1).

La proporción de cada transición por parcela fue estimada como el número de puntos presentes dentro de una parcela de una transición determinada sobre el total de puntos que componen la parcela. Una vez calculada la proporción de cada una de las transiciones dentro de una parcela por estrato y ecozona, se calculó la media de la proporción de las transiciones por estrato por ecozona y su varianza. Para esto se utilizó la siguiente ecuación.

$$\bar{X}_{gd} = \frac{\sum_i^n x_{igd}}{n_g}$$

Donde:

- \hat{X}_{gd} = Media de la proporción de la d-ésima transición y el g-ésimo estrato (bosque, no bosque, pérdida y Buffer)
- x_{igd} = Proporción de la d-ésima transición en la i-ésima parcela del g-ésimo estrato
- n_g = Número de parcelas dentro del g-ésimo estrato

La varianza de la media de la transición por estrato es estimada como:

$$v(\bar{X}_{gd}) = \frac{\sum_i^n x_{igd}^2 - n\bar{X}_{gd}^2}{n_g(n_g - 1)}$$

Donde:

- $v(\bar{X}_{gd})$ = Varianza de la d-ésima transición del g-ésimo estrato
- \bar{X}_{gd} = Media de la proporción de la d-ésima transición y el g-ésimo estrato
- x_{igd} = Proporción de la d-ésima transición en la i-ésima parcela del g-ésimo estrato
- n_g = Número de parcelas dentro del g-ésimo estrato

Una vez calculada la media de la proporción por transición y estrato y su varianza, se agregó el área de cada estrato para poder calcular el área total por transición y estrato, así como su varianza.

$$\hat{X}_{gd} = A_g \times \bar{X}_{gd}$$

Donde:

- \hat{X}_{gd} = Área total de la d-ésima transición en el g-ésimo estrato
- A_g = Área del g-ésimo estrato
- \bar{X}_{gd} = Media de la proporción de la d-ésima transición y el g-ésimo estrato

$$v(\hat{X}_{gd}) = A_g^2 \times v(\bar{X}_{gd})$$

Donde:

- $v(\hat{X}_{gd}) = \text{Varianza del área total de la } d\text{-ésima transición } g\text{-ésimo estrato}$
- $A_g = \text{Área del } g\text{-ésimo estrato}$
- $v(\bar{X}_{gd}) = \text{Varianza de la media de la proporción de la } d\text{-ésima transición } g\text{-ésimo estrato}$

Con la información estimada, y para llegar a nivel de ecozona y transición, se suman las áreas que pertenecen a cada transición y se obtiene su varianza.

$$\hat{X}_d = \sum_g^G A_g \times \bar{X}_{gd}$$

Donde:

- $\hat{X}_d = \text{Área total de la } d\text{-ésima transición}$
- $A_g = \text{Área del } g\text{-ésimo estrato}$
- $\bar{X}_{gd} = \text{Media de la proporción de la } d\text{-ésima transición y el } g\text{-ésimo estrato}$

$$v(\hat{X}_d) = \sum_g^G v(\hat{X}_{gd}) = \sum_g^G A_g^2 v(\bar{X}_{gd})$$

Donde:

- $A_g = \text{Área del } g\text{-ésimo estrato}$
- $v(\hat{X}_d) = \text{Varianza de la media de la proporción de la } d\text{-ésima transición } g\text{-ésimo estrato}$

Con esta información se tiene estimada el área total de cada transición por ecozona. La siguiente etapa consiste en determinar clases de interés para el cálculo de deforestación. Para ello, se consideraron tres clases:

- Pérdida de bosque total: todas las transiciones desde Tierra forestal: “Tierra forestal a Praderas”, “Tierra forestal a Tierras agrícolas”, “Tierra forestal a Asentamientos humanos”, “Tierra forestal a Humedales” y “Tierra forestal a Otras tierras”.
- Deforestación: Se consideró tres transiciones: “Tierra forestal a Praderas”, “Tierra forestal a Tierras agrícolas”, “Tierra forestal a Asentamientos humanos”.
- Pérdida natural de bosque: Las transiciones de “Tierra forestal a Humedales” y “Tierra forestal a Otras tierras (natural)”.

Seguidamente, se suman las áreas de cada transición perteneciente a las clases de interés (pérdida de bosque total, deforestación y pérdida natural) por ecozona y se calculan sus varianzas. Cada resultado de las clases de interés es independiente y correspondiente a las transiciones mencionadas en el párrafo anterior.

$$\hat{X}_{ih} = \sum \hat{X}_{dh}$$

Donde:

- \hat{X}_{ih} = Área total de la *i*-ésima clase de interés en la *h*-ésima ecozona
- \hat{X}_{dh} = Área total de la *d*-ésima transición que compone la clase de interés de la *h*-ésima ecozona

$$v(\hat{X}_{ih}) = \sum v(\hat{X}_{dh})$$

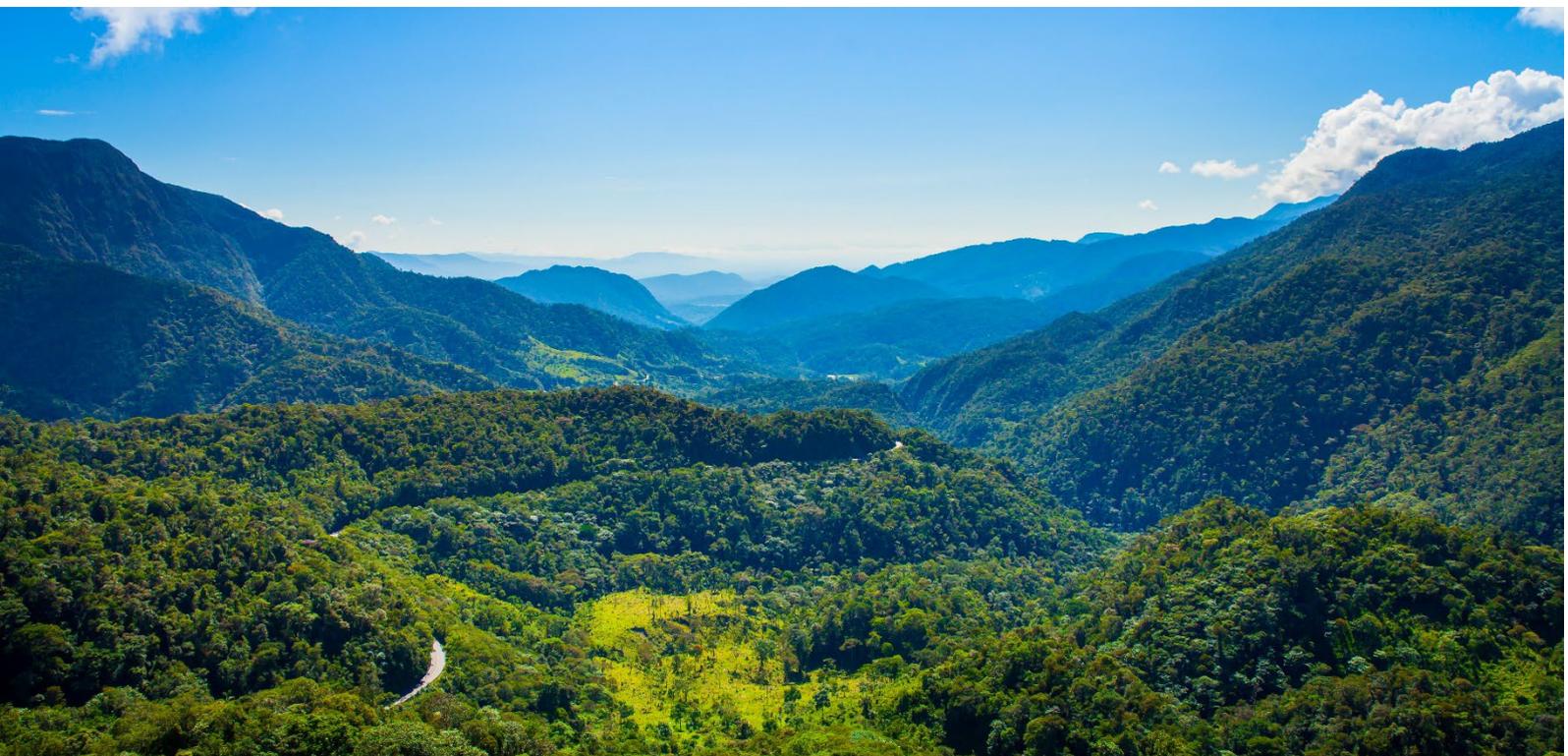
Una vez hechas las estimaciones a nivel de clases de interés, se procede a hacer el cálculo de las incertidumbres para cada una de las clases por ecozona. Para ello, a partir de la varianza se estimó la desviación estándar, se calculó el límite inferior y superior y finalmente se obtuvo la incertidumbre para las tres clases de interés.

$$SD = \sqrt{v(\hat{X}_{ih})}$$

$$Li = \hat{X}_{ih} - (z_{\alpha} \times SD)$$

$$Ls = \hat{X}_{ih} + (z_{\alpha} \times SD)$$

$$I_{ih} = \frac{(\hat{X}_{ih} - Li)}{\hat{X}_{ih}} \times 100$$



Donde:

- SD = Desviación estándar de las clases de interés dentro de la ecozona
- Li = Límite inferior
- Ls = Límite superior
- z_{α} = Percentil 95 % del modelo de distribución empírico que ajusta los datos (1.96)
- I_{ih} = Incertidumbre de la Deforestación Total de la i -ésima clase de interés h -ésimo estrato

4.1.1.6. Resultados de las transiciones por deforestación y su propagación del error

La actualización del NREF, considera las emisiones por deforestación bruta para el periodo 2010-2019. Los resultados de datos de actividad por deforestación, pérdida natural y deforestación total en la Amazonía peruana se detallan de manera anual en el anexo 1.

La superficie de tierras forestales que permanecen en la Amazonía durante el periodo histórico ha tenido una disminución desde 69 254 723 ha ($\pm 97\,330$ ha) en el año 2010, hasta 68 285 281 ha ($\pm 97\,422$) en el año 2019. Lo anterior implica una pérdida de 969 441 ha en diez años (figura 22).

La ecozona con mayor área de bosques es la SB (64,5 %), registrando su mayor área en 2010 con 44 622 532,3 ha ($\pm 57\,610,1$ ha); seguida por la SADA con un aporte promedio del 15,3 %, mientras que la SAA es la ecozona con menos superficie de bosques en toda la Amazonía, con un aporte promedio de solo el 10 % y un área máxima de bosques en el 2010 de 7 052 025,4 ha ($\pm 56\,613,9$ ha). La ZH por su parte, cuenta también con un área de bosques relativamente baja, en comparación con la SB, alcanzando un área máxima de bosques de 7 030 003,5 ($\pm 48\,635,3$ ha) ha en 2010, aportando en ese año un 10.2 % con respecto al área total de bosques amazónicos.

Cabe resaltar que la SB perdió aproximadamente 500 000 ha en 10 años, mientras que la SAA lo hizo a un ritmo de 279 819 ha en el mismo periodo, siendo una ecozona mucho más pequeña, lo cual es un hecho relevante a tomar en consideración, dado que el avance de la deforestación y las amenazas de pérdida de hábitat en esta área impone nuevos retos para la conservación de los bosques de características ecológicas únicas.

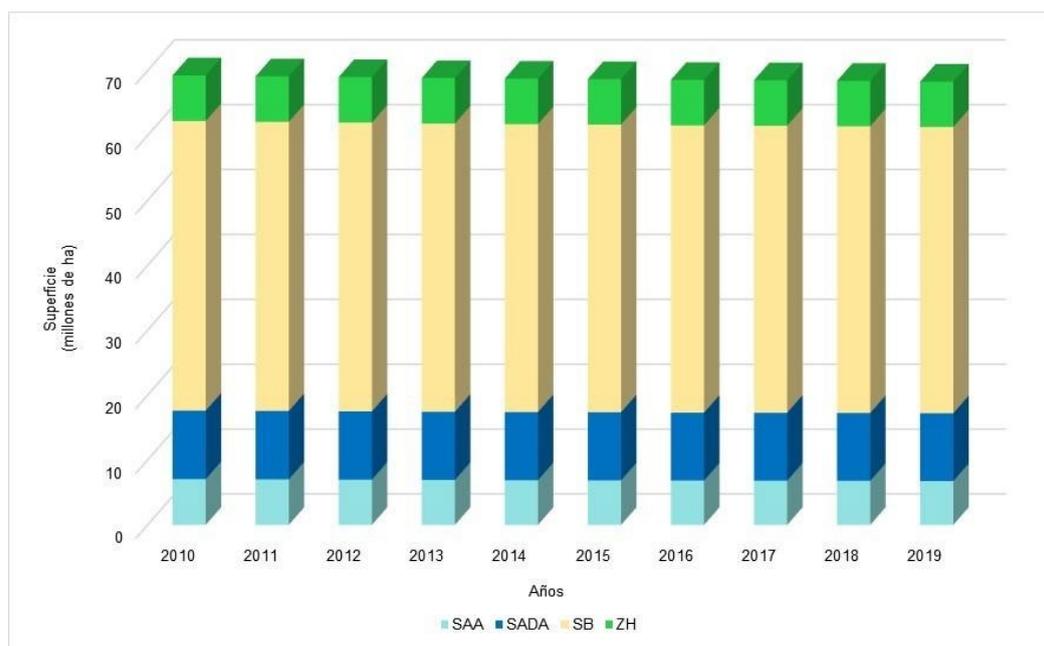


Figura 22. Superficie anual de tierras forestales en las ecozonas de la Amazonía (2010-2019)

Con el fin de facilitar la estimación coherente del uso de la tierra en el tiempo, se describen las transiciones consideradas para estimar la deforestación en el Perú (figura 23). Se consideró utilizar seis categorías superiores para representar la tierra en el país, siendo coherentes con las Directrices del IPCC y los requisitos de los párrafos 3 y 4 del artículo 3 del Protocolo de Kyoto; asimismo, estas categorías son sólidas como base para la estimación de carbono y se complementan con información sobre las características de la vegetación en la Amazonía, logrando ser cartografiables y completas, en el sentido de que todas las áreas de tierra están representadas en estas categorías. La información de las categorías IPCC se encuentra detallada en el capítulo 3.3 y las conversiones en el capítulo 3.5

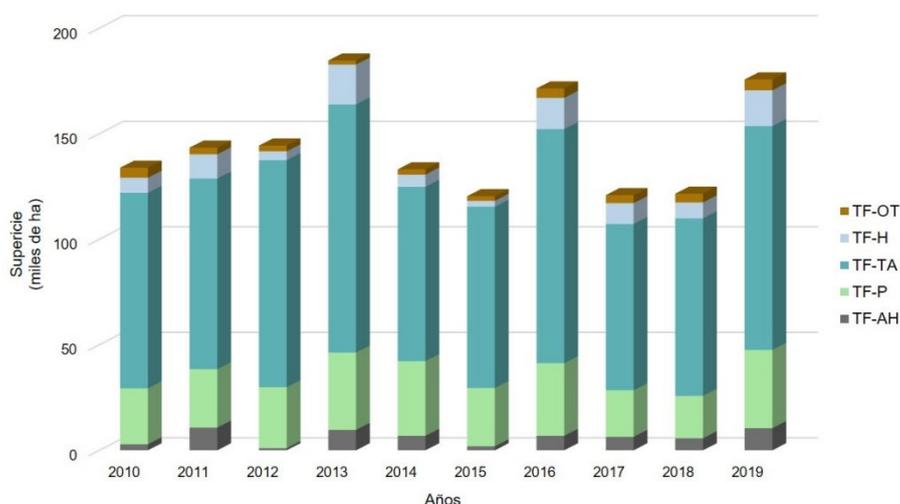


Figura 23. Superficie de cambio de tierras forestales a categorías IPCC

Se entiende como una pérdida natural de bosque, cuando el cambio de uso pasa de tierras forestales a humedales o a otras tierras (figura 24). La pérdida natural es importante identificarla para conocer su dinámica de perturbación, lo cual puede estar

asociado a eventos extremos climáticos como las inundaciones o deslizamientos y derrumbes y cuyo impacto podría resultar en pérdidas de áreas de bosque significativas, lo cual, de no tomarse en consideración, podría afectar los esfuerzos del Perú para reducir la deforestación y en general, el desempeño de las acciones REDD+.

En el periodo del NREF se encontró que, por perturbaciones naturales en bosques, se pierde un promedio anual de 13 427,69 ha, que corresponde al 9 % de la pérdida total de bosques en el bioma Amazónico. Esta pérdida es variable con los años y oscila entre 4 963.82 ha ($\pm 1 461,3$ ha) en 2015, hasta pérdidas muy significativas como sucedió en el 2019 (22 110,5 ha, $\pm 4 730$ ha), superior al 12 % respecto a la deforestación total (anexo 2).

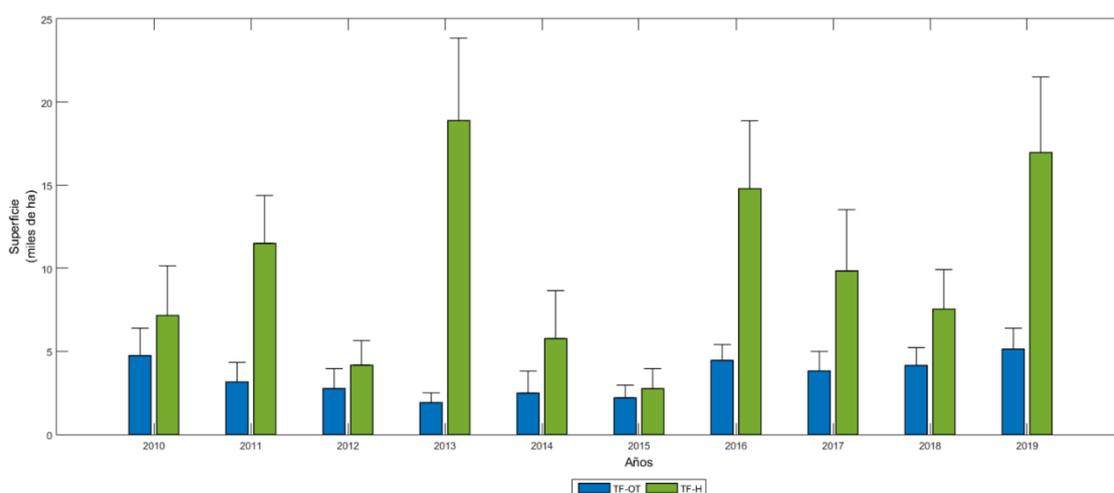


Figura 24. Pérdida de bosque por causas naturales en el periodo 2010-2019

Tierras forestales a Humedales

Los humedales son ecosistemas extremadamente importantes por su rol fundamental en la adaptación y mitigación al cambio climático, al retener cantidades importantes de CO₂, pero además cuenta con diversos valores procedentes de sus servicios ecosistémicos donde se destaca el bienestar humano, una riqueza hídrica relevante, enorme calidad ambiental y hábitat de vida silvestre. Asimismo, se constituyen en recursos de gran valor económico, científico, cultural y recreativo en beneficio de la población local que depende de ellos.

En el Perú se encuentran 13 humedales RAMSAR, reconocidos internacionalmente por su importancia ecológica, nueve de los cuales se encuentran en ocho de las áreas naturales protegidas (ANP) por el Estado.

El área de humedales tiene una representatividad promedio de 4,16 % con respecto al área total de la Amazonía, y su área ha aumentado a un ritmo promedio de 7 313 ha por año durante el periodo histórico del NREF, registrando al 2019 un área de 3 296 219,2 ha ($\pm 69 239,1$ ha) [figura 25].

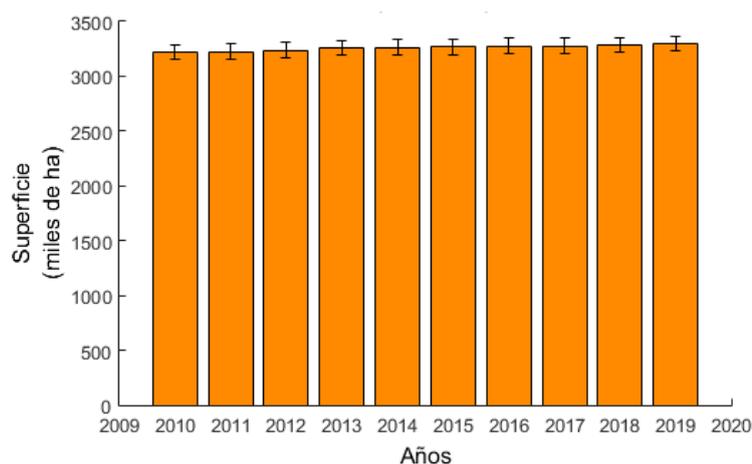


Figura 25. Superficie anual de humedales en la Amazonía peruana (2010-2019)

La transición de tierras forestales a humedales es responsable del 70,5 % de pérdida promedio de bosque por causas naturales, la cual ocurre principalmente en la ecozona de SB (41 %) y ZH (22 %) dadas sus características fisiográficas, además de contar con una gran cantidad de ríos y zonas inundables (figura 10, anexo 2).

Esta transición presenta variaciones en los años, y se ve favorecida por periodos de alta precipitación. El 2013 fue el año que más aportó a la pérdida natural (90,7 %) con 18 886.6 ha ($\pm 4 949$ ha); mientras que, en el 2015, su aporte a la pérdida natural fue del 55,5 % con 2 757,5 ha ($\pm 1 226.4$ ha) [figura 26]. Los cuerpos de agua, principalmente los ríos por su dinámica meándrica son los que generan esta pérdida natural debido a su avance y desbordamientos en eventos de precipitaciones altas, las cuales se registraron en mayor magnitud en el cuarto trimestre del 2013, mientras que los registros para el 2015, fueron valores bajos de precipitación.

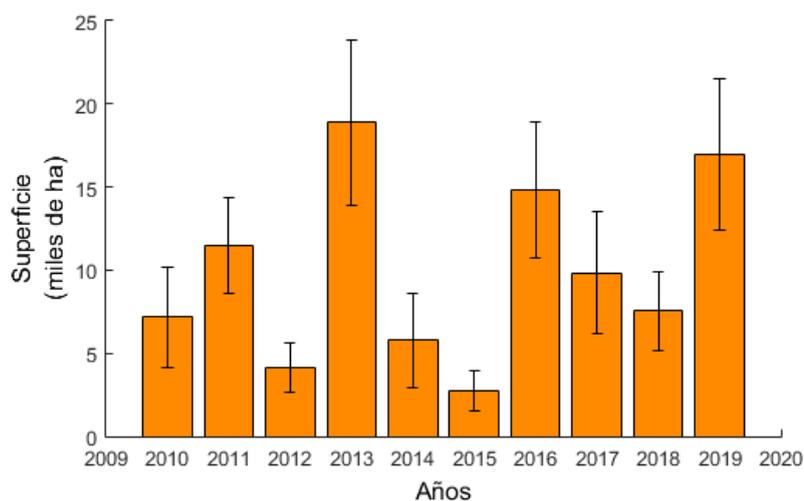


Figura 26. Transición de tierra forestal a humedales en la Amazonía peruana (2010-2019)

Tierras forestales a Otras tierras

El área de otras tierras tiene una representatividad promedio muy baja (0,34 %), con respecto al área total de la Amazonía, registrando al 2019 como el año con mayor área de esta categoría (284 463,7 ha, $\pm 20\ 817,6$ ha) [figura 27].

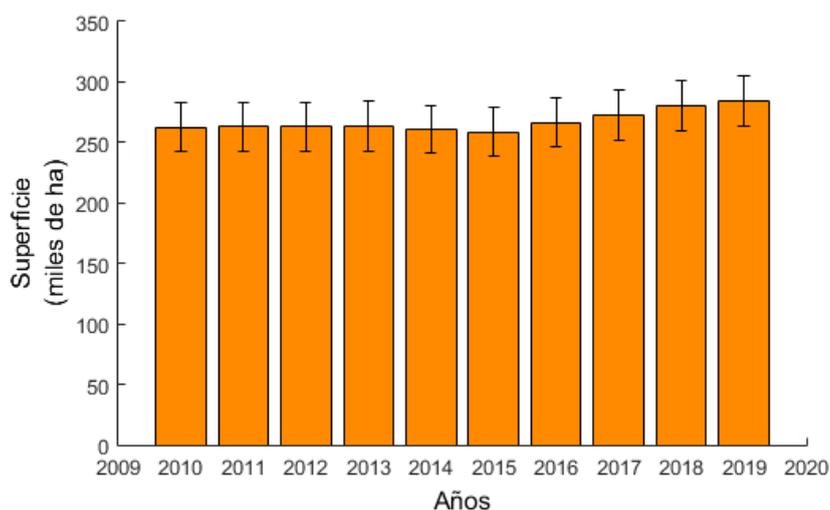


Figura 27. Superficie anual de otras tierras en la Amazonía peruana (2010-2019)

La transición de tierras forestales a otras tierras es el segundo cambio de uso detectado que ocasiona pérdidas naturales y contribuye al 29,5 % en promedio anual (figura 11). Como parte de la dinámica de los ríos, cuando se pierde bosque y por arrastre de sedimentos, quedan bancos de arena en su lugar. Estos cambios fue posible detectarlos a partir de la interpretación visual en las ecozonas de SB y la ZH, aunque con menor peso respecto a la deforestación natural (4 y 0,5 % respectivamente).

Otra pérdida natural es la atribuida a deslizamientos, que sucede casi de manera exclusiva en zonas escarpadas e inestables y frecuentemente en la ecozona de la SADA, la cual aporta en esta transición con el 76,5 %, mientras que, en la ZH, este tipo de transiciones no son frecuentes (2,2 %). En la ecozona SADA, el efecto de los deslizamientos sobre la pérdida natural, fue mayor en 2016 (4 238,3 ha $\pm 946,4$ ha) y 2018 (4 140,9 ha $\pm 1\ 062,5$ ha) [anexo 2].

Los frecuentes deslizamientos de tierra, flujo de lodo y derrumbes se aceleran durante la ocurrencia de lluvias intensas, lo cual se ve favorecido por efecto de la pendiente, arrastrando porciones de bosque y dejando el suelo desnudo (figura 28).

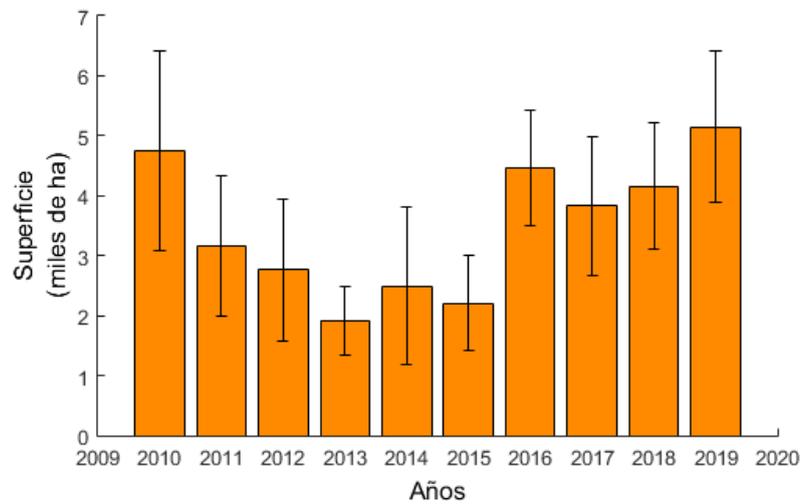


Figura 28. Transición de tierra forestal a otras tierras en la Amazonía peruana (2010-2019)

Considerando que las acciones de mitigación deben abordar solamente la deforestación antrópica, se excluyó las pérdidas naturales de la contabilidad de emisiones, ya que puede llegar a sobreestimaciones anuales (figura 29).

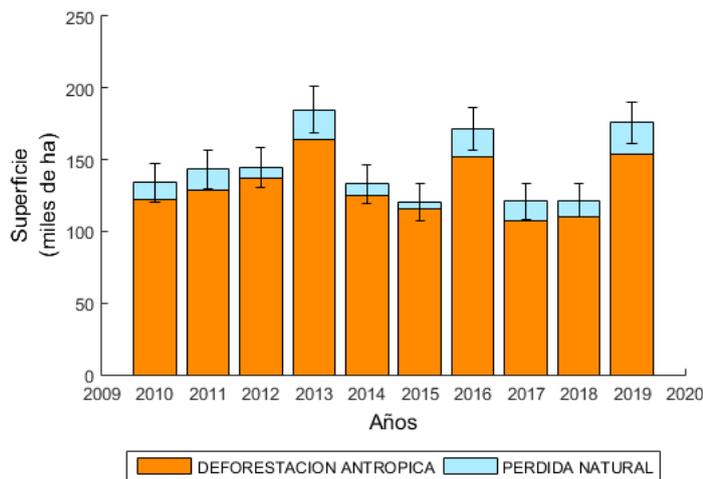


Figura 29. Deforestación antrópica y pérdida natural de bosque en el periodo 2010-2019

La deforestación antrópica entendida y nombrada en este documento como deforestación, ocurre en tres tipos de cambio de uso de la tierra: Tierras forestales hacia tierras agrícolas, praderas y asentamientos humanos. En la (figura 30), se observa la dinámica de estas transiciones para el periodo 2010-2019, evidenciando la importancia de las transiciones hacia tierras agrícolas y praderas principalmente.

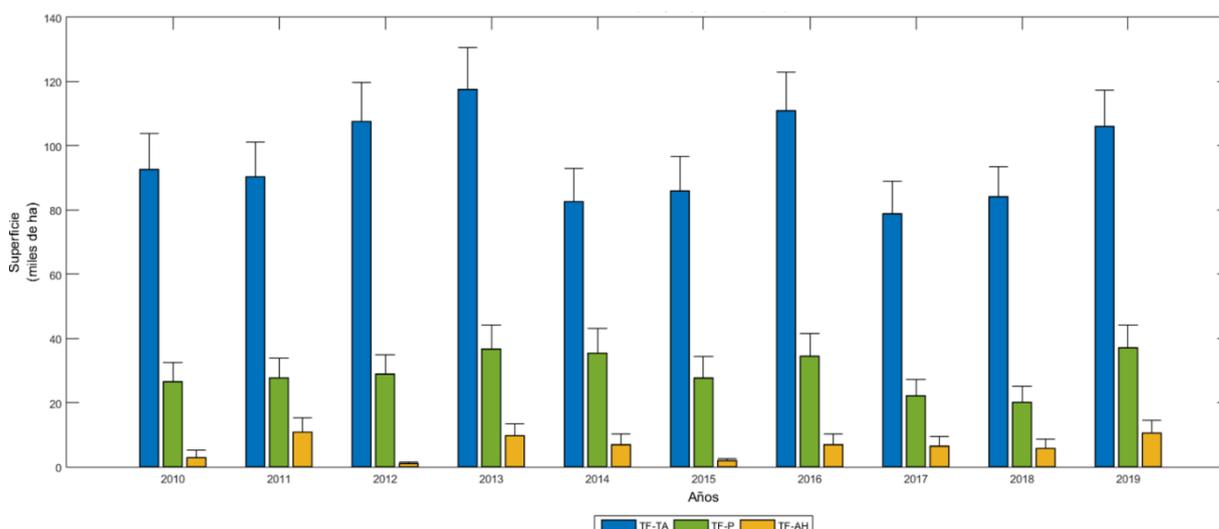


Figura 30. Transición de tierra forestal a tierras agrícolas, praderas y asentamientos humanos en la Amazonía (2010-2019)

Tierras forestales a Tierras agrícolas (TF-TA)

El área de tierras agrícolas tiene una representatividad promedio de 3,86 % con respecto al área total de la Amazonía, y su área ha aumentado a un ritmo de 62 412 ha promedio por año durante el periodo histórico del NREF. Las tierras agrícolas, presentaron un incremento de 624 125.4 ha, contabilizando 2 774 646,3 ha ($\pm 64 584,6$ ha) en el 2010 y 3 398 771.6 ha ($\pm 67 509,6$ ha) en el 2019 (figura 31). Las áreas de permanencia de tierras agrícolas muestran un incremento gradual hacia el 2019, lo mismo que el cambio desde tierras forestales, cuyo aporte va desde 92 610,4 ha ($\pm 11 208,9$ ha) en 2010, hasta 106 024,2 ha ($\pm 11 344,1$ ha) en 2019.

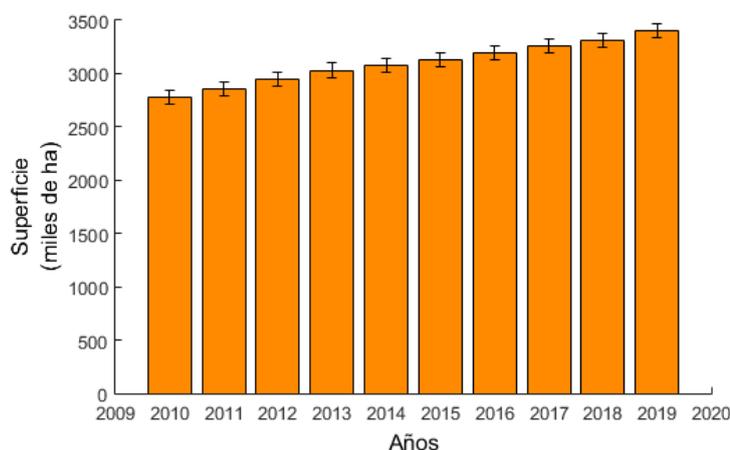


Figura 31. Superficie anual de tierras agrícolas en la Amazonía (2010-2019)

La tendencia decreciente de las tierras forestales contrasta con el incremento de tierras agrícolas para el mismo periodo. En la figura 32 se observa que las tierras agrícolas

también están incrementando su superficie, aunque en menor magnitud. Este comportamiento indica que el incremento de tierras agrícolas junto con praderas está correlacionado con la pérdida de tierras forestales, lo que es consistente con las causas de deforestación en ENBCC (2016).

El cambio a tierras agrícolas es la actividad más frecuente y extendida en la Amazonía, siendo la principal causa directa de la deforestación. En el periodo de referencia 2010 a 2019, esta actividad es la causa del 73 % de la deforestación con una tendencia sostenida en su incidencia relativa por año, (figura 7, anexo 3). El año donde se registró la mayor transición hacia tierras agrícolas fue 2013 con 117 522,2 ha ($\pm 12 959,4$ ha), alcanzando un 91.14 % de importancia con respecto a la deforestación antrópica. Por otro lado, el año con menor área de transición hacia tierras agrícolas en el periodo histórico fue el 2017 con 78 765,1 ha ($\pm 10 190,5$ ha); sin embargo, su importancia con respecto a la deforestación antrópica sigue siendo alta (65.2 %), corroborando la relevancia de esta transición, como uno de los principales cambios presentes en la Amazonía peruana.

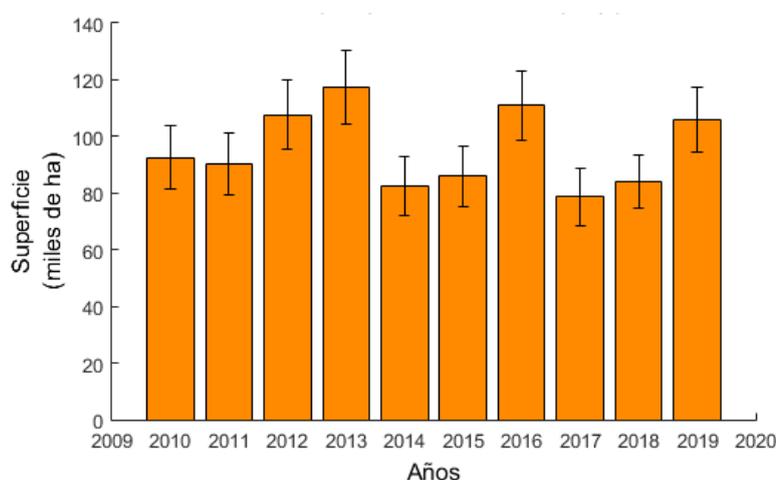


Figura 32. Transición de tierra forestal a tierras agrícolas en la Amazonía (2010-2019)

La transición hacia tierras agrícolas se presenta en mayor magnitud en la SB (44,6 %), donde el año con mayor área de cambio fue 2013 (59 119,5 ha, $\pm 9 864,3$ ha). La SAA le sigue en importancia de conversión (39,3 %), registrando el 2014 como el año de mayor pérdida (50 408,5 ha, $\pm 8 939,7$ ha). La transición de tierras forestales hacia tierras agrícolas reportó su mayor concentración en estas dos ecozonas (84 %).

Tierras forestales a Praderas (TF-P)

El área de praderas tiene una representatividad promedio de 3,35 % con respecto al área total de la Amazonía. Con respecto al periodo histórico, se registró un incremento en el área de praderas de 132 054,4 ha, contabilizando 2 569 687,9 ha ($\pm 64 279,7$ ha) en el 2010 y 2 701 742,3 ha ($\pm 65 741,1$ ha) en el 2019 (figura 33).

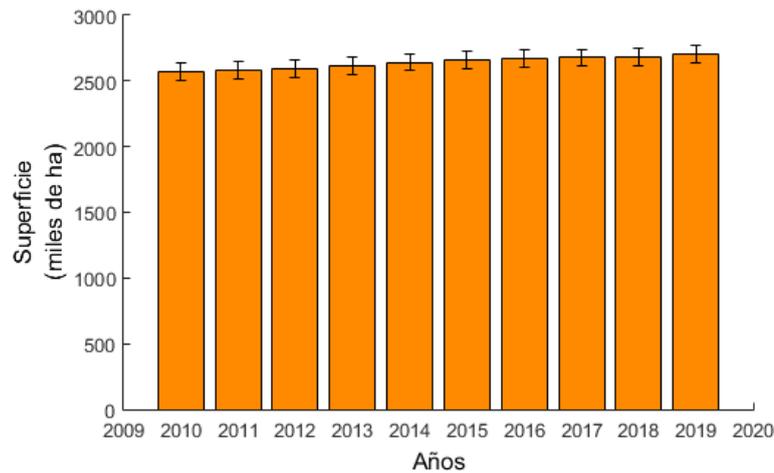


Figura 33. Superficie anual de praderas en la Amazonía peruana (2010-2019)

La conversión de tierra forestal hacia praderas también es una causa directa de expansión agropecuaria. En el periodo de NREF de 2010 a 2019, es la segunda causa que contribuye a la deforestación antrópica con un 22,9 % en promedio (figura 34, anexo 3).

Al igual que para el caso de tierras agrícolas, las áreas de permanencia de praderas, muestra un incremento gradual no muy acelerado hacia el 2019; sin embargo, se destaca que además de la mayor importancia de la transición de tierra forestal hacia praderas, la transición de humedales y tierras agrícolas hacia praderas, toman relevancia, siendo áreas con probabilidad de encontrarse en periodo de recuperación.

El año donde se registró la mayor transición de tierras forestales hacia praderas fue 2019 con 37 076,7 ha ($\pm 7 096,9$ ha), mientras que el año con menor área de transición hacia praderas en el periodo histórico se registró en 2018 con 20 089,6 ha ($\pm 4887,8$ ha) [figura 34].

La transición hacia praderas se presenta en mayor magnitud en la SB (78,3 %), donde el año con mayor área de cambio fue 2019 (32 417 ha, $\pm 6 914,5$ ha). En esta ecozona, esta transición es mucho más importante en términos porcentuales, que la transición de tierras forestales hacia tierras agrícolas. La SAA le sigue en importancia de conversión (15,2 %), registrando el 2014 como el año de mayor pérdida (10 433,1 ha, $\pm 4 395,1$ ha). La ZH por su parte, no tiene gran relevancia en la transición de tierras forestales a praderas (1,7 %).

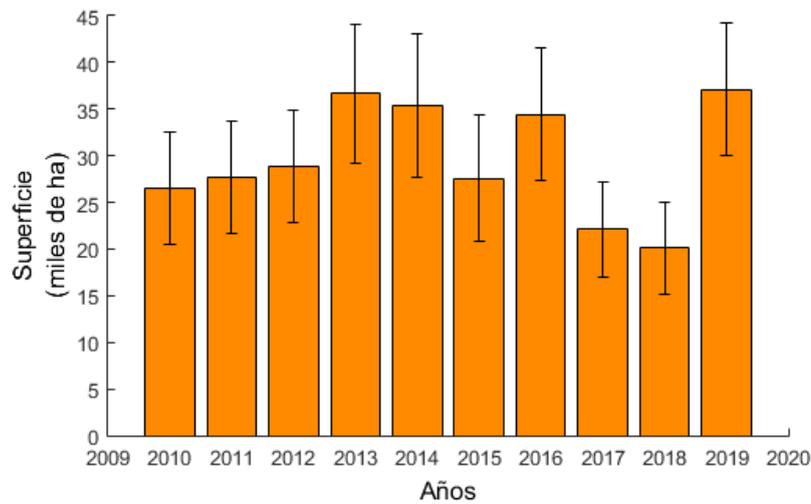


Figura 34. Transición de tierra Forestal a praderas en la Amazonía peruana (2010-2019)

Tierras forestales a Asentamientos humanos

El área de asentamientos humanos tiene la representatividad promedio más baja de todas las categorías, con 0,32 % respecto al área total de la Amazonía, registrando en el 2019, la mayor área de esta categoría (303 034,8 ha, $\pm 20 965,4$ ha) [figura 35].

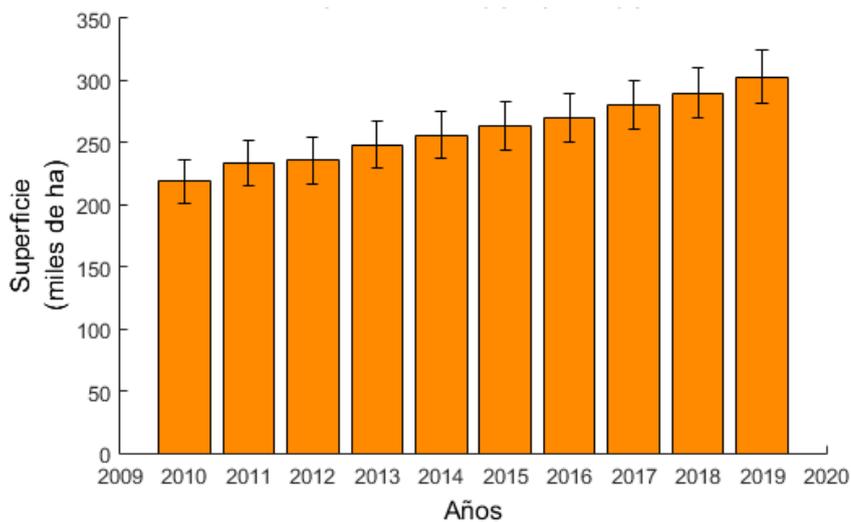


Figura 35. Superficie anual de asentamientos humanos en la Amazonía peruana (2010-2019)

Este tipo de cambio de uso se relaciona con la expansión de infraestructura, centros poblacionales, comunicación y actividades extractivas ilegales e informales (figura 36). En el periodo histórico del NREF, la transición de tierra forestal hacia asentamientos humanos es la tercera causa que contribuye a la deforestación antrópica con un 4,7 % en promedio.

El año donde se reportó la mayor área de deforestación, debida a los asentamientos humanos, fue en 2011 con 10 770,3 ha ($\pm 4 491,1$ ha), valor que representó el 8.4 % de peso en ese año respecto a la deforestación antrópica; sin embargo, en esta transición,

no existe una tendencia marcada que demuestre un incremento anual, siendo oscilante durante el periodo histórico (figura 36).

La transición hacia asentamientos humanos se presenta en mayor magnitud en la SB (76,5 % en promedio), donde el año con mayor área de cambio fue 2011 con 10 185,7 ha ($\pm 4 483,9$ ha). Asimismo, en las ecozonas SADA y la SAA, también se registraron áreas importantes de transición, logrando representatividad de 13,1 % y 7,2 % respectivamente.

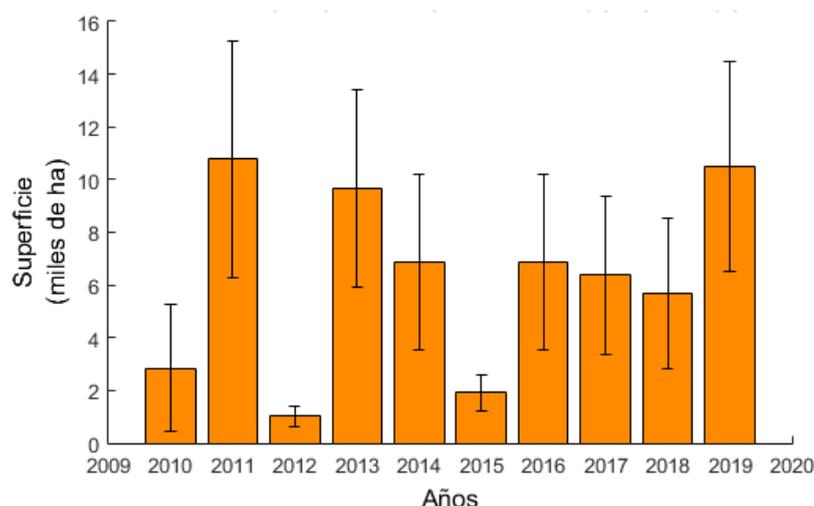


Figura 36. Transición de tierra forestal a asentamientos humanos en la Amazonía peruana (2010-2019)

De manera general, la deforestación en el periodo del NREF se ve explicada en un 95,3 % por la conversión de tierras forestales a tierras agrícolas y praderas (figura 37, anexo 3).

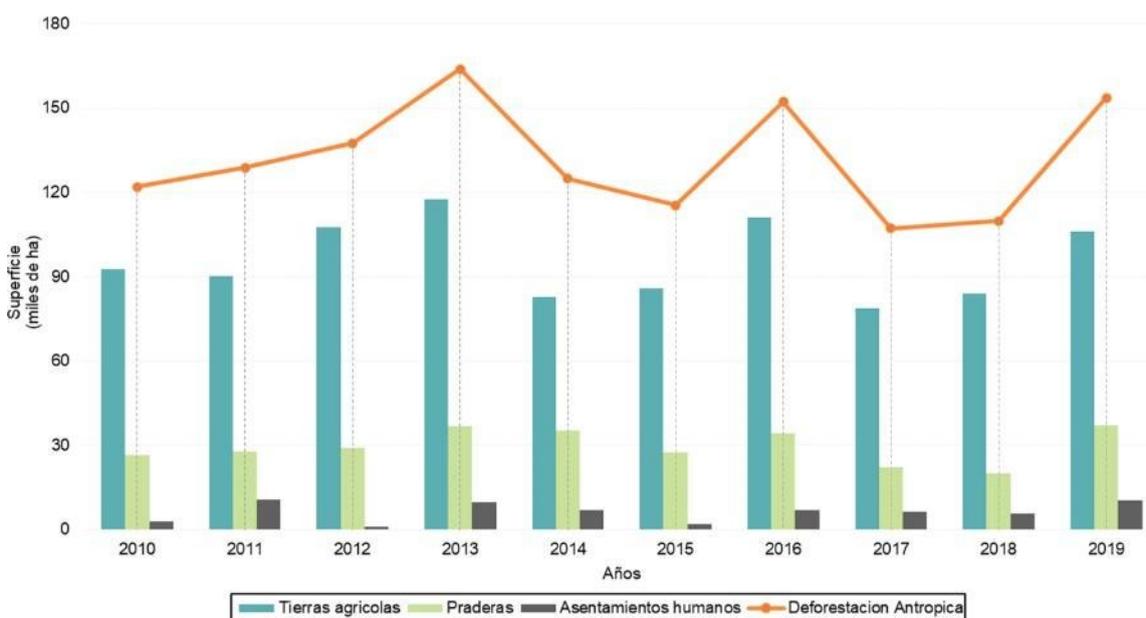


Figura 37. Causas directas de la deforestación en el periodo 2010-2019

La deforestación en la Amazonía representa entre el 87 y 96 % de la deforestación total del bosque, con un promedio histórico de 131 520,79 ha y una incertidumbre de 6,25 %. En el periodo histórico del NREF, el 2017 fue el año con menor deforestación (107 240, 04 ha, $\pm 11 767,3$ ha), mientras que se registró la mayor deforestación en el 2013, a razón de 163 866, 09 ha ($\pm 15 384$ ha); asimismo y dependiendo del año analizado, se presentaron incertidumbres que fluctúan entre 17,8 y 21,5 %. (tabla 17, figura 38).

Tabla 19. Deforestación histórica en la Amazonía (2010-2019)

AÑO	Amazonía	I (%)
2010	121 972,95	20,8
2011	128 742,98	20,0
2012	137 456,84	19,4
2013	163 866,09	18,4
2014	124 839,38	21,0
2015	115 417,59	21,4
2016	152 182,38	18,5
2017	107 240,06	21,5
2018	109 889,62	19,7
2019	153 599,99	17,8

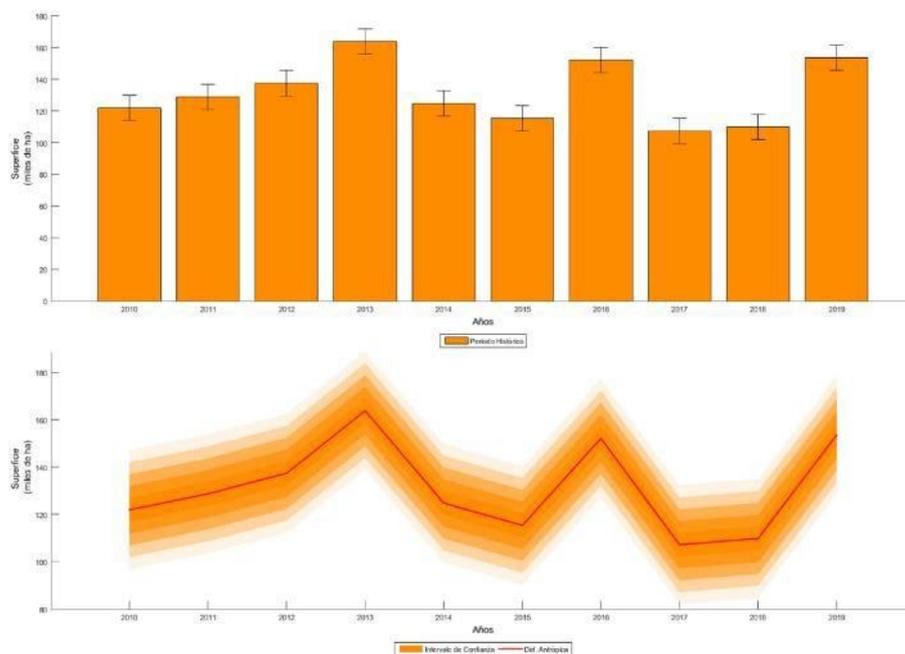


Figura 38. Superficie anual de deforestación en la Amazonía (2010-2019)

La ecozona donde se registró la mayor área de deforestación antrópica fue la SB seguida de la SAA, representando más del 80 % de la deforestación en su conjunto, seguidas por la SADA y la ZH con 12,5 y 3,5 % de deforestación respectivamente (anexo 3). El 2013 fue el año donde hubo mayor deforestación en la SB con 92 800,4 ha ($\pm 12\ 281,5$ ha), asimismo en la SAA también se reportó una alta deforestación para este año con 53 752,3 ha ($\pm 9\ 164,1$ ha), lo cual se ve reflejado en la Amazonía, siendo el año con mayor deforestación en el periodo histórico.

Para la SB, la deforestación más baja en el periodo histórico se registró en el 2018, con 58 007,8 ha ($\pm 8\ 767,2$ ha). La dinámica de la deforestación en la Amazonía sigue la tendencia de la deforestación en la SB, estando estrechamente relacionadas, adicionalmente, la SAA también guarda la tendencia con la deforestación, pero en menor escala (figura 39).

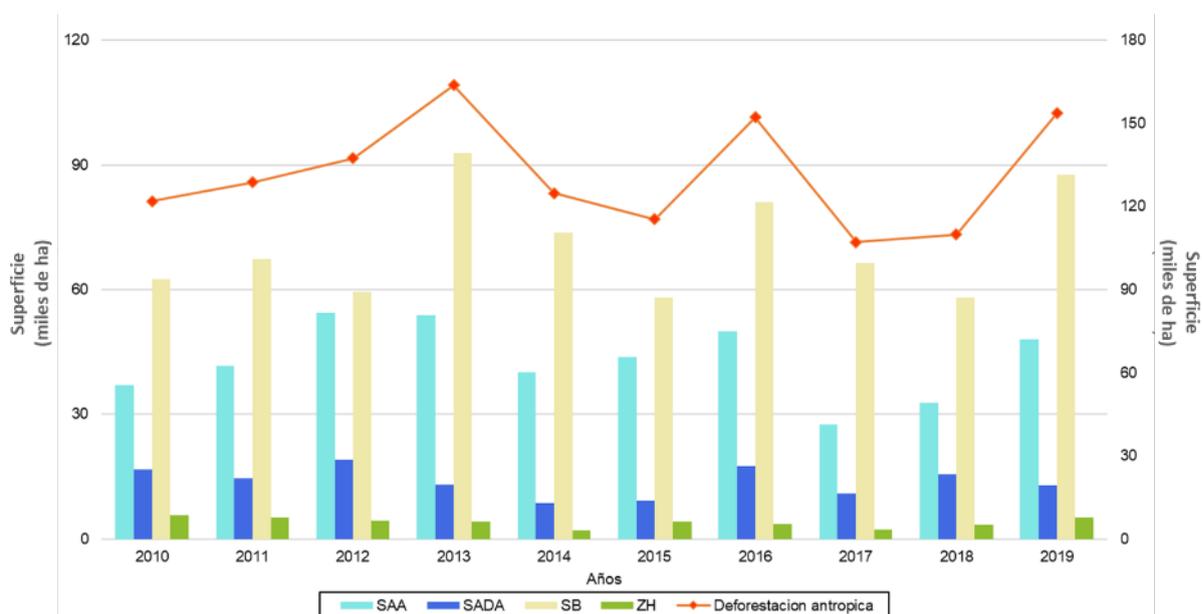


Figura 39. Superficie anual de deforestación y tendencia de la deforestación en las ecozonas de la Amazonía peruana

Con un nivel de confianza al 95 %, SADA tiene una incertidumbre promedio más baja que las demás ecozonas, seguida por SB y SAA, lo cual evidencia una relación inversa entre un tamaño muestral mayor y una incertidumbre más baja, proporcional al área de la ecozona. Asimismo, la incertidumbre es afectada por el tamaño de muestra y la varianza dentro del estrato, siendo la dinámica de los ríos una de las razones posibles para que en la ZH se presente una incertidumbre más alta (47,7 %) [figura 40].

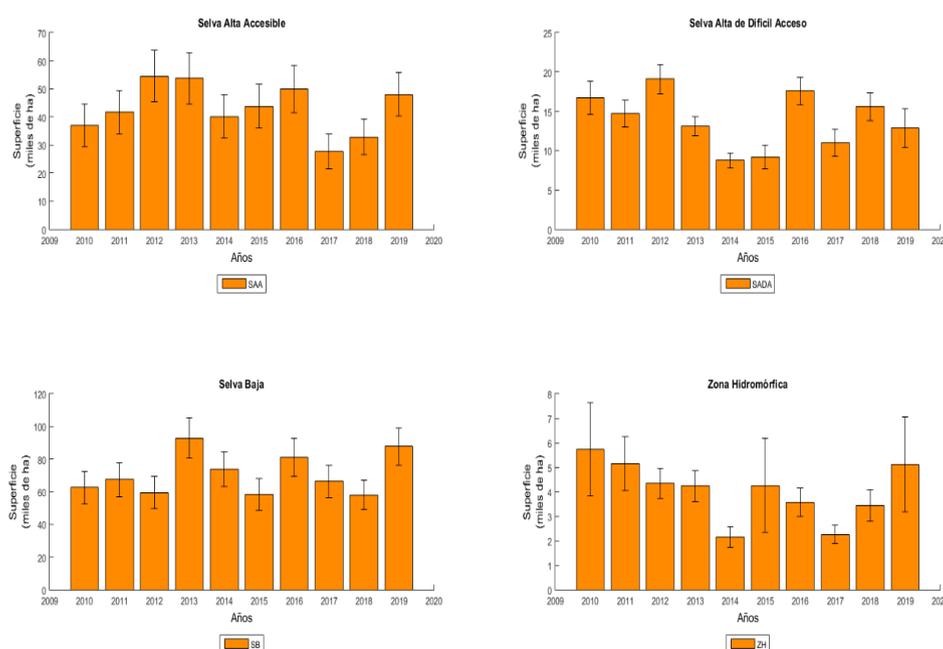


Figura 40. Superficie anual de deforestación en las ecozonas de la Amazonía peruana

4.1.2. Factores de emisión por deforestación

En la estimación de los Factores de Emisión (FE) para la Amazonía peruana se utilizaron datos de país sobre el estado de la estructura y composición de la vegetación, para los diversos bosques que se encuentran en las tierras forestales del bioma amazónico, divididos en las ecozonas definidas por el INFFS (descritas en la Sección 3.1); de SAA, SADA, SB y la ZH.

Las fuentes de información base para el proceso de estimación de las densidades de carbono y sus factores de emisión, fueron proporcionadas por Serfor a partir del INFFS y de la colaboración de diversos investigadores e instituciones académicas, nacionales e internacionales, que realizan investigación científica en el bioma amazónico y comparten su información a través de la plataforma de “ForestPlots.net”⁴⁹. Las instituciones colaboradoras y académicos fueron actores esenciales que dieron mayor solidez a los datos de FE del presente NREF (MINAM, 2021b).

⁴⁹ Disponible en: <https://www.forestplots.net/es>

No todos los depósitos y componentes de carbono fueron evaluados o estaban registrados en las bases de datos de las dos fuentes de información (INFFS y FP). El INFFS fue la única fuente que evaluó y registró información de todos los depósitos y sus componentes que se reportan en este NREF. En el caso de la información proveniente de la plataforma FP, solo se obtuvieron variables sobre los depósitos de biomasa aérea, biomasa subterránea, madera muerta aérea en árboles (árboles muertos en pie y tocones) y madera muerta subterránea (raíces de árboles muertos en pie y tocones).

De manera general, para la estimación de los FE, se realizó la sistematización e integración de las bases de datos del INFFS y de la plataforma FP. Se implementaron actividades de control de calidad y estandarización de las bases de datos de las dos fuentes de información, para así preparar una base de datos general para las subsecuentes estimaciones. Para el caso de los depósitos de Madera Muerta yacente (MMY) y Hojarasca, como solo se tenía información sobre estos a partir de la información del INFFS, y además tienen una metodología específica para la estimación de los contenidos de carbono, se crearon bases de datos separadas con sus respectivos controles de calidad por cada uno y se evaluaron como información independiente para ser posteriormente agregados al carbono total por cada ecozona.

Con las bases de datos integradas y preparadas, a nivel de individuos (árboles, palmas, lianas y tocones), de observaciones de troncos medidos sobre el suelo (madera yacente >10 cm de diámetro) y muestras de hojarasca recolectadas en las parcelas, se estimaron los contenidos de carbono en los depósitos y sus componentes de la biomasa aérea (árboles, palmeras y lianas), biomasa subterránea (árboles y palmeras), necromasa aérea (árboles muertos en pie y tocones), necromasa subterránea (árboles muertos en pie y tocones), madera muerta yacente y hojarasca, utilizando la información de las variables disponibles más completas, que representarán mayor confianza (datos dasométricos medidos en campo) y modelos alométricos actuales adecuados para el país.

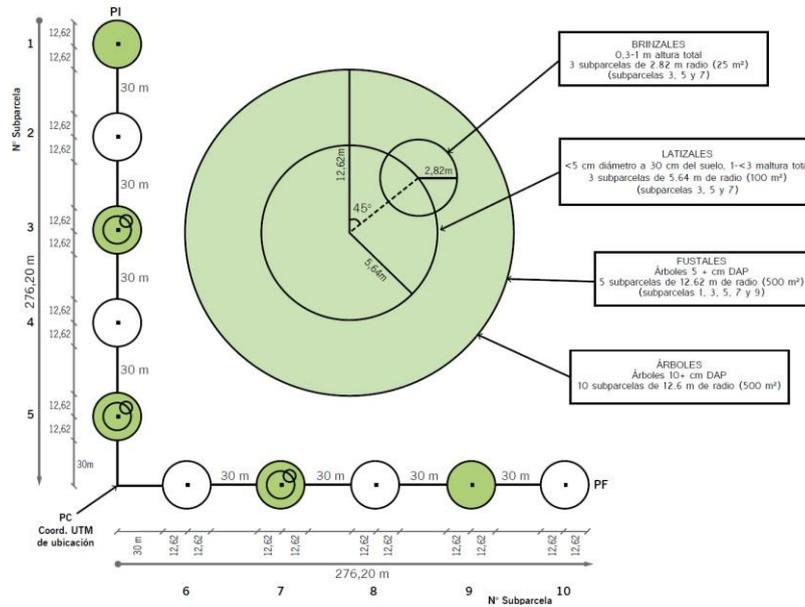
Realizadas las estimaciones a nivel de individuo, se calculó la biomasa y carbono total por componente por parcela y se extrapola a nivel de ha; para ello, se tuvo en cuenta los métodos de obtención del carbono, el diseño y tamaño de la parcela. Una vez estandarizada la estimación de biomasa y carbono por ha, se estimó la biomasa y carbono promedio combinando las dos fuentes de información para el depósito de biomasa y madera muerta del arbolado y tocones, y posteriormente se agregaron los depósitos obtenidos de manera independiente (madera muerta yacente y hojarasca), para obtener un único valor por depósito y componente por ecozona. Finalmente, se sumaron los contenidos de biomasa y carbono de todos los depósitos para estimar en cada ecozona el contenido de biomasa total, las densidades de carbono, el factor de emisión y su incertidumbre asociada (MINAM 2021b). El proceso de estimación general se describe en el diagrama de la figura 41 y se detalla en las siguientes secciones.

Tabla 20. Tamaño de muestra total y UM medidas en las ecozonas del bioma (2013-2019).

Ecozona	Total UM	UM Panel 1	UM Panel 2	UM Evaluadas (árboles, palmas lianas y tocones)	UM Evaluadas MMY/hojarasca
Selva baja	808	127	94	221	154/138
Zona hidromórfica	91	17	15	32	18/17
Selva alta accesible	288	28	21	49	58/55
Selva alta de difícil acceso	101	4	7	11	11/12

Entre los componentes evaluados por el INFFS, los que son de interés para el NREF y que contaban con información disponible son: árboles, palmeras y lianas vivas, árboles muertos en pie, madera muerta yacente y hojarasca. El diseño de la UM es un conglomerado de 10 subparcelas circulares dispuestas en “L”, con un tamaño total de 0.5 ha para todas las ecozonas exceptuando la SB con siete subparcelas de tipo rectangular, con un tamaño total de 0,7 ha. En cinco de las diez subparcelas, se establecen subparcelas anidadas para capturar datos dasométricos en sus diferentes categorías de tamaño y altura del arbolado vivo y muerto en pie, sus lianas y su regeneración. La MMY se mide en dos transectos dispuestos en la “L” sobre la que se establecen las subparcelas, con un total de longitud de 552,4 m, solo para la SB se establecieron transectos de mayor longitud, con un total de 810 m. La hojarasca por su parte se colectó en tres marcos de 1 m² en cada UM (figura 42). Los protocolos utilizados en el diseño metodológico y el muestreo de campo del INFFS del Perú se describen con mayor detalle en el Marco Metodológico del INFFS (Minagri, MINAM y FAO 2016) y el Manual de Campo del INFFS del Perú (Serfor 2019).

a)



b)

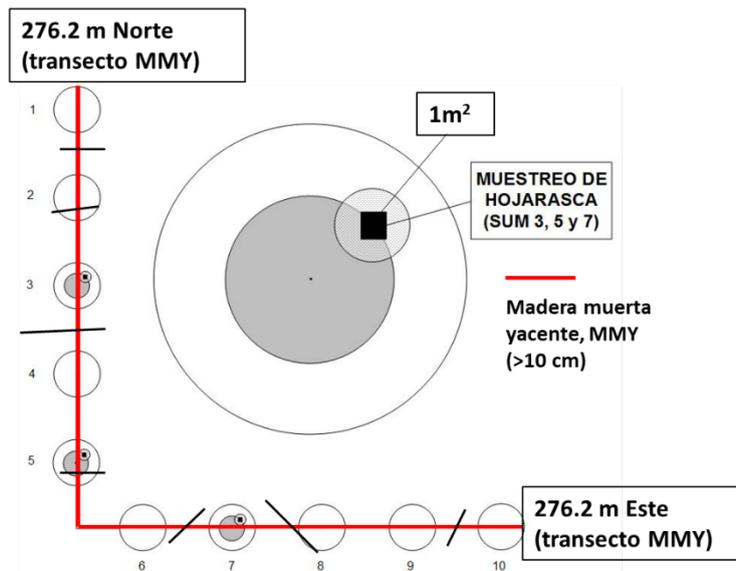


Figura 42. Ejemplo del diseño de la UM para las ecozonas, SAA, SADA y ZH. a) Muestreo de variables del arbolado, palmas, lianas y tocones. b) Muestreo de materia muerta yacente y hojarasca. Fuente: Minagri, MINAM y FAO (2016)

4.1.2.1.2. Recopilación de información de sitios de estudios disponibles en la plataforma de FP

La segunda fuente de datos, complementaria al INFFS, utilizada para estimar los factores de emisión, fue FP⁵⁰. Esta plataforma almacena y maneja la información de más de 4000 parcelas a nivel mundial para bosques tropicales que tienen el propósito de medir, monitorear y estudiar los bosques tropicales del mundo (Lopez-Gonzalez *et al.* 2009,

⁵⁰ Disponible en: <https://www.forestplots.net/es/about-forest-plots>

2011). Algunas de estas parcelas están ubicadas a lo largo de la Amazonía peruana, lo que ofrece al país datos sobre la cuantificación de los cambios a largo plazo en la biomasa de los bosques y su dinámica hasta el presente (Baker *et al.* 2020). En el contexto del NREF, permite al país tener estimaciones más robustas de las densidades de carbono en la Amazonía al complementarse con la información del INFFS que aún se encuentra en proceso de levantamiento de datos y evaluación de sus UM. La autorización del uso de los datos de las parcelas con las que se trabajó en este NREF fue otorgada directamente por los investigadores o instituciones propietarias de la información y compartidos a través de la plataforma FP.

Se tuvo acceso a un total de 573 parcelas para ser analizadas con una distribución diferenciada para cada ecozona. La SB al ser la más extensa tuvo la mayor cantidad de parcelas disponibles con 319 parcelas, seguida de la ZH por ser un lugar con gran interés para la investigación científica por su gran extensión de humedales; con 109 parcelas y con menor número de parcelas están las ecozonas de SAA y SADA, con 83 y 22 parcelas respectivamente.

La mayoría de las parcelas utilizadas en este trabajo siguen los protocolos de instalación propuestos por RAINFOR⁵¹, que busca estandarizar la metodología y protocolos de los inventarios forestales (Phillips *et al.* 2018). Sin embargo, no todas las parcelas cumplen con este diseño y se establecen a partir de una variedad de diseños y tamaños que van de 0,28 ha a 2,25 ha y han sido medidas en diferentes momentos y años; por esta razón, es necesario adelantar un proceso de control de calidad y ponderación estadística para la posterior combinación de la información de estas parcelas con la información del INFFS, en las estimaciones finales del NREF. La información sobre las características de las parcelas usadas y sus fuentes específicas puede consultarse en el “Protocolo para la estimación de los factores de emisión en la Amazonía peruana” (MINAM, 2021b).

4.1.2.1.3. Control de calidad y preparación de base de datos

Control de calidad

Las fuentes de datos del INFFS y las parcelas recopiladas a través de la plataforma FP, cuenta con variables potenciales para la medición de depósitos de carbono; con base en ellas y su disponibilidad en ambas fuentes de información, se determinó qué depósitos de carbono y componentes son posibles de incluir para la estimación de las densidades de carbono para el NREF (tabla 21).

⁵¹ Disponible en: <http://www.rainfor.org/en/manuals/in-the-field>

Tabla 21. Depósitos de carbono incluidos y sus variables disponibles en el INFFS y FP para la estimación de carbono.

Depósitos de carbono	Componente	Variables disponibles en INFFS y FP	Incluido en la estimación
Biomasa aérea	Árboles vivos	Nombres de las especies, forma de crecimiento, diámetro a la altura del pecho (DAP) y alturas	Sí
	Palmeras	Nombres de las especies, forma de crecimiento, diámetro a la altura del pecho (DAP) y alturas	Sí
	Lianas	Nombres de las especies, forma de crecimiento y diámetros	Sí
Biomasa subterránea	Raíces de árboles y palmeras vivos	Nombres de las especies, forma de crecimiento, DAP y alturas	Sí
Materia orgánica muerta	Árboles muertos en pie	DAP y estado de descomposición	Sí
	Tocones	Diámetro, altura y estado de descomposición	Sí
	Madera muerta yacente	Diámetro y estado de descomposición (solo disponible en el INFFS)	Sí
	Hojarasca	Peso fresco y peso seco (solo disponible en el INFFS)	Sí
Materia orgánica del suelo y suelos orgánicos	Carbono orgánico del suelo	No disponible (ver sección 5.2)	No

Con la identificación de estas variables y los depósitos y componentes de carbono, posibles a incluir en la estimación, se llevó a cabo un control de calidad en las bases de datos, con el fin de identificar errores, inconsistencias o valores atípicos que pueden afectar los resultados de las estimaciones de la biomasa y sus incertidumbres. El control de calidad en las bases de datos fue aplicado a nivel de individuos y a nivel de UM para el INFFS y parcela para la recopilación de estudios de la plataforma FP.

A nivel de registro o individuos en las bases de datos, para las variables categóricas, como el nombre científico, se realizó identificando sinonimias y errores tipográficos, y se homogeneizó asignando un nombre científico con un mismo sistema de clasificación taxonómico. A su vez, se estandarizaron variables importantes para la identificación del depósito y componente de carbono, tales como: el estado del individuo (vivo o muerto), hábito de crecimiento (árbol, palmera y liana) y grado de descomposición de la madera muerta. De esta revisión se estandarizaron 78 nombres en las bases de datos del INFFS y 366 para las parcelas de FP principalmente por sinonimias.

Para las variables cuantitativas como los DAP y la altura se identificaron valores inconsistentes de acuerdo con sus metodologías o protocolos de evaluación en campo.

También se estandarizaron variables como DAP, altura, diámetro de las piezas de madera muerta yacente, peso fresco de la hojarasca colectada, peso de la muestra compuesta de la hojarasca, entre otras. Con las variables estandarizadas a nivel de individuo por ecozona, se identificaron datos atípicos que se encontraban entre -3.5 y 3.5 desvíos estándar (en el caso de la variable DAP se identificaron como valores atípicos los registros fuera del rango -4 y 4 desvíos estándar). La ecuación utilizada para la estandarización se presenta a continuación.

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} N(0; 1)$$

Donde:

- Z = Valor en una distribución normal estándar
- X = Valor de la variable respuesta
- μ = Media general de la variable en una especie/estudio dada
- σ = Desviación estándar de la variable en una especie/estudio dada

También se identificaron inconsistencias a partir de relaciones lógicas como: diferencias entre peso seco y fresco de la hojarasca o diferencias entre la altura total y comercial de los árboles y las palmas; y gráficos diagnósticos como diagramas de dispersión e histogramas de frecuencia. Todos los registros identificados como atípicos o inconsistencias, fueron revisados para definir la acción a realizar (corrección, exclusión, eliminación del valor o registro, o conservarlo en la base de datos).

Como resultado del proceso de identificación de inconsistencias o valores atípicos, para la información asociada a los componentes: biomasa aérea, biomasa subterránea, materia orgánica muerta aérea de árboles y materia orgánica muerta subterránea de árboles, se identificaron 6324 registros (9,6 % del total) provenientes de la información del INFFS y 9467 registros (4,5 % del total) provenientes de la información de FP. Los registros identificados como inconsistencias o atípicos fueron revisados y en caso de ser posible corregidos; los registros que no se lograron corregir o verificar fueron excluidos de las estimaciones finales.

En el caso de la información asociada a MMY y hojarasca, se identificaron pocos registros con inconsistencias o atípicos. Todos estos registros, fueron verificados y corregidos con apoyo del personal de Serfor, por lo que no fue necesario excluir o eliminar ninguno de los registros.

Una vez finalizada la depuración a nivel de registro o individuos, se procedió a realizar los cálculos correspondientes y estimar los contenidos de biomasa y carbono, área basal y número de individuos por parcela estandarizado a hectárea; y se realizó el proceso de depuración para la identificación de parcelas atípicas para su correspondiente verificación y corrección o exclusión. Como resultado de la depuración a nivel de parcelas se concluyó, que no fue necesario realizar correcciones o exclusión de información de las parcelas analizadas.

Preparación de las bases del INFFS y de la recopilación de estudios

Una vez realizado el control de calidad de las bases de datos se identificaron las variables prioritarias para su uso en la estimación de los depósitos de carbono de la biomasa aérea (AGB, por sus siglas en inglés), biomasa subterránea (BGB, por sus siglas en inglés) y la materia orgánica muerta (árboles muertos en pie y yacentes, tocones y hojarasca). Estas variables fueron el nombre científico, el DAP, la altura, estado de individuo, hábito de crecimiento, diámetro de troncos intersectados (madera muerta yacente), nivel de descomposición (en el caso de tocones y árboles muertos en pie y yacentes) y peso seco y fresco (en el caso de la hojarasca).

Para la preparación de las bases de datos se revisó a nivel de parcela la completitud de ambas fuentes analizando si sus elementos eran correspondientes a la ecozona en que se encontraban. Se usó como referencia la base de INFFS y el control se realizó únicamente en los estudios recopilados de FP. Se evaluó que la información proveniente de FP fuera compatible con la información proveniente del INFFS, en cuanto a la información asociada a los componentes biomasa aérea, biomasa subterránea, materia orgánica muerta aérea de árboles y materia orgánica muerta subterránea de árboles. Se verificó que las variables necesarias para la estimación a partir de ecuaciones alométricas estuvieran completas y representadas en las mismas categorías en las dos fuentes de información. Una vez finalizado el proceso de preparación de las bases de datos, se pasó de una base de datos con un total de 267 065 registros a 225 318 entre las dos fuentes de datos. La principal razón por la que se excluyó información fue la aplicación del filtro de individuos con $DAP \geq 10$ cm, para estandarizar la información proveniente de FP y los datos del INFFS en cuanto a las categorías diamétricas, ya que ambas fuentes incluyen en su totalidad los individuos arbóreos a partir de este tamaño de DAP.

En total se analizaron 845 parcelas, de las cuales, 533 provienen de FP y 312 del INFFS (tabla 22). Por último, para la preparación de las bases de datos se rectificaron las coordenadas geográficas de las parcelas seleccionadas para la estimación, proyectadas en el mapa de ecozonas para identificar coordenadas erróneas y corregirlas. La ecozona con mayor muestra y que es la más extensa es la SB y la menos representada es la SADA. La ZH, a pesar de ser la de menor extensión, es la segunda mejor representada debido a su interés en estudios científicos.

Para las bases de datos de las variables y parcelas de la madera muerta yacente y hojarasca, no fue necesario realizar ajustes en la preparación de la base de datos, ya que esta información proviene solo del INFFS y no se requería agregar información o variables adicionales para realizar las estimaciones de los contenidos de biomasa y carbono. Para estos componentes se analizaron la totalidad de las 241 y 222 UM que contenían información sobre estos depósitos en el INFFS.

Tabla 22. Número de UM del INFFS y parcelas recopiladas en la plataforma de FP.

Ecozona	FP	INFFS	Total
Selva Alta Accesible	83	48	131
Selva Alta de Difícil Acceso	22	11	33
Selva Baja	319	221	540
Zona Hidromórfica	109	32	141
Total			845

4.1.2.2. Estimación de la biomasa aérea y subterránea a nivel de individuo

Para la biomasa aérea y subterránea de árboles, palmas, lianas y tocones (vivos o muertos) que son los componentes de los depósitos de carbono que exclusivamente se estiman combinando las fuentes de INFFS y FP, se realizó un análisis de las ecuaciones alométricas disponibles para la estimación de biomasa en árboles, palmeras y lianas, se identificaron los parámetros requeridos en cada uno de los modelos evaluados, el rango de distribución de las variables o parámetros, y se realizó un análisis de completitud de las variables de las diferentes fuentes de datos para valorar cuales de los modelos o ecuaciones alométricas era adecuada para su uso en función de la información disponible (MINAM 2021b). Para el caso del INFFS se contaba con la información de DAP y altura para la mayor parte de los registros de árboles y palmeras (vivos y muertos en pie o tocones); pero para el caso de la información proveniente de FP, el 62 % de sus registros no contaban con información de altura. Este fue uno de los determinantes para utilizar modelos alométricos que no requieren el parámetro altura y, de esta manera, conservar la mayor cantidad de información para las estimaciones de biomasa.

Se evaluaron modelos genéricos para árboles de bosques tropicales y modelos para palmas. Este análisis, permitió identificar los modelos más apropiados en función de las características de las especies y los ecosistemas del Perú. La selección de los modelos alométricos se basó en los siguientes criterios:

- Que el modelo se pueda usar con la mayor cantidad de información disponible (p.ej., al usar un modelo que requiere información de altura, éste solo se podría usar para una parte de la base de datos);
- Que, al usar diferentes modelos, se pueda definir si alguno estima más que el otro y cuánto más a partir de sus resultados;
- Que, al hacer las estimaciones con los modelos, se seleccione el que tenga una menor incertidumbre.

La biomasa aérea (AGB) de los individuos en cada parcela fue estimada utilizando modelos alométricos genéricos desarrollados en bosques pantropicales para especies arbóreas (Chave *et al.* 2014), palmeras (Goodman *et al.* 2013) y lianas (Schnitzer *et al.* 2006).

En el depósito de carbono de la biomasa por debajo del suelo (BGB) se utilizaron

modelos vástago/raíz que son una función de la AGB para la estimación de biomasa de las raíces de árboles (Mokany *et al.* 2006) y de palmeras (Cairns *et al.* 1997).

Los modelos alométricos utilizados para estimar la biomasa y madera muerta en pie se resumen en la tabla 23.

Tabla 23. Modelos alométricos y ecuaciones volumétricas utilizados para estimar los reservorios de carbono y sus componentes de árboles vivos y muertos, lianas, palmeras y tocones.

Reservorio	Componente	Modelo	Referencia
Biomasa aérea y madera muerta en pie	Árbol (vivo y muerto)	$AGB_{Best} = \exp(-2.024 - 0.896 \times E + 0.920 \times \log(\rho) + 2.795 \times \log(DAP) - 0.0461 \times [\log(DAP)^2])$	Chave <i>et al.</i> (2014) modificada por Réjou <i>et al.</i> (2017)
	Palmera (viva y muerta)	$\ln(AGB) = -3.3488 + 2.7483 \times \ln(DAP)$	Goodman <i>et al.</i> (2013)
	Liana	$AGB = \exp[-1.484 + 2.657 \ln(DAP)]$	Schnitzer <i>et al.</i> (2006)
Biomasa subterránea y materia orgánica muerta (raíces)	Árbol	$BGB = 0.489 \times AGB^{0.89}$	Mokany <i>et al.</i> (2006)
	Palmera	$BGB = AGB \times 0.24$	Cairns <i>et al.</i> (1997)
Materia orgánica muerta	Tocones	$B_{Tocon} = (Área \times Altura) \times (\rho)$	

En el caso de árboles, palmeras y lianas, el parámetro predictor principal usado por todos los modelos es el DAP. Solo para el modelo alométrico de Chave *et al.* (2014) (tabla 23), incorpora la densidad de la madera (ρ) y el índice de estrés ambiental (E) que permite tener mejores estimaciones de biomasa cuando la altura no está disponible, basándose indirectamente en la potencial productividad primaria donde se encuentran los individuos para ponderar su potencial de tallas en altura en función de sus DAP.

Para la densidad de madera (ρ) de los árboles vivos, se utiliza la base de datos de Zanne *et al.* (2009) que contiene información de 8412 especies tropicales de diferentes regiones del mundo. Para su asignación se tomaron criterios de la región (Sudamérica tropical, extratropical, América Central y México) y su identidad taxonómica a nivel de especie, género y familia. En caso de ser árboles muertos se asignaron valores de densidad de madera en diferentes estados de descomposición según los criterios definidos por el marco metodológico del INFFS (Minagri, MINAM y FAO 2016).

Para obtener el parámetro del índice de estrés ambiental (E), se calculó, mediante la estacionalidad de la temperatura, precipitación y el déficit hídrico climático. A partir de estos datos se construyó un mapa del E para el bioma amazónico, que permite su correcta asignación del índice en función de su posición geográfica para cada individuo en una parcela determinada. Para mayor detalle en el procedimiento de construcción del índice y su mapa, se puede consultar el protocolo para la estimación de los factores de emisión en la Amazonía peruana (MINAM, 2021b) y el mapa generado.

Para la estimación de la biomasa aérea y subterránea y la materia orgánica muerta aérea y subterránea en individuos muertos en pie y tocones, se generó un árbol de decisión con una rutina en el paquete estadístico R⁵², para estimar la biomasa a nivel de individuo con una asignación diferenciada de los modelos alométricos y sus parámetros, en función del hábito de crecimiento (árbol, liana o palmera) y el estado del individuo (vivo, muerto o tocón) para asignar el modelo alométrico adecuado y su densidad de la madera específica para los árboles vivos en función de su identidad taxonómica o para muertos (incluyendo tocones) por su densidad según su grado de pudrición (figura 43).

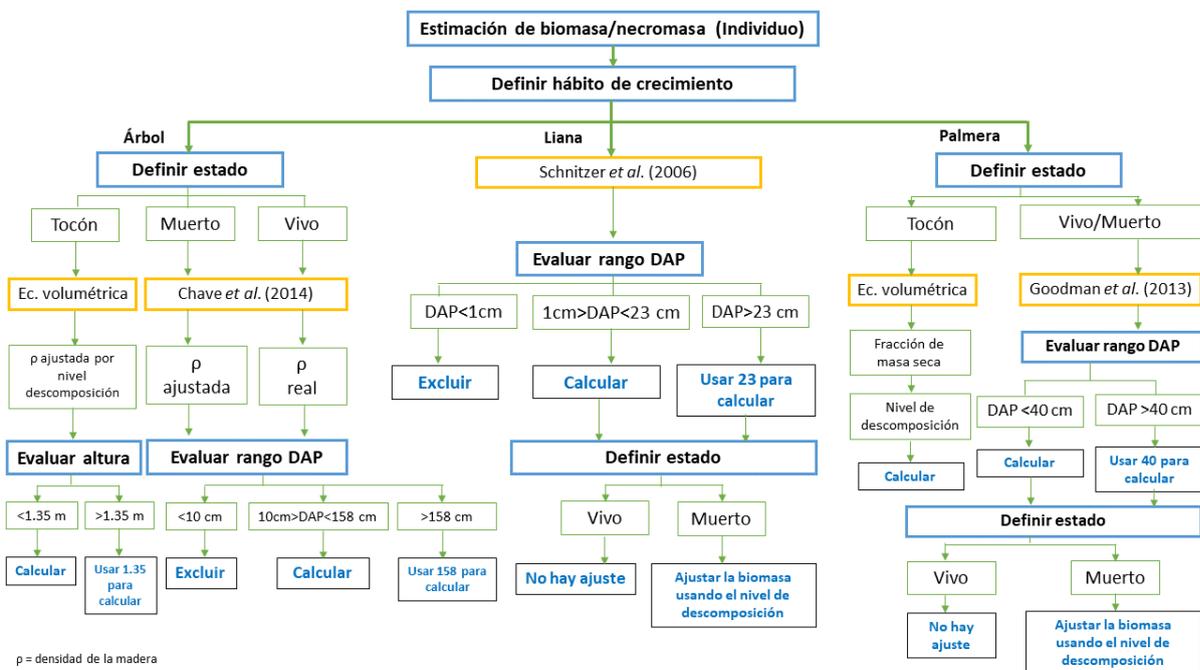


Figura 43. Árbol de decisión para la estimación de biomasa a nivel de individuo por encima del suelo y la madera muerta en pie (árboles muertos y tocones).

Una vez estimada la biomasa aérea por individuo se estimó la biomasa subterránea (BGB) dependiendo de su hábito de crecimiento (árbol o palmera) asignando sus respectivos modelos de relación AGB/raíz o vástago/raíz. Para la estimación de la biomasa en raíces de árboles se utilizó el modelo propuesto por Mokany *et al.* (2006) que utilizan como parámetro de la biomasa aérea estimada, elevada a la 0,89 y multiplicada por 0,489 y en el caso de palmeras el modelo propuesto por Cairns *et al.* (1997) con una relación de 0,24 de su fracción proporcional para bosques tropicales. (tabla 23).

⁵² <https://cran.r-project.org/>

4.1.2.3. Estimación de la materia orgánica muerta

a) *Materia orgánica muerta de árboles, palmeras y tocones*

Para la estimación de la materia orgánica muerta aérea en los individuos muertos en pie (árboles y palmeras), se utilizaron los mismos modelos alométricos propuestos para individuos vivos (tabla 23) a partir de la combinación de las bases de datos del INFFS y FP, solo se realizó una corrección a la densidad de madera en función del nivel de descomposición del individuo (figura 43, tabla 24). Para la estimación de la materia orgánica muerta aérea en los tocones se utilizó el volumen de un cilindro y la densidad de la madera corregida en función del estado de descomposición del tocón.

La densidad de madera asignada a los individuos muertos en pie y tocones se definió según el estado de descomposición y los criterios definidos por el marco metodológico del INFFS (Minagri, MINAM y FAO 2016) [tabla 24].

Tabla 24. Valores de densidad de la madera por nivel de descomposición (Chao et al. 2008)

Nivel de descomposición	Densidad de la madera (WD) (g cm ⁻³)
1 (sólido)	0.55
2 (medio)	0.41
3 (podrido)	0.43

La estimación de la materia orgánica subterránea asociada a las raíces de los individuos muertos en pie y tocones se realizó utilizando los mismos modelos de vástagos/raíz implementados para la estimación de biomasa subterránea (tabla 23).

b) *Madera muerta yacente*

En el caso de los componentes madera muerta yacente (troncos de los árboles caídos sobre el suelo forestal) que solo se estimaron a partir de las bases de datos del INFFS, se utilizó el método de líneas de intersección o intersecciones planares para la cuantificación de material leñoso caído (Van Wagner, 1968, Brown 1974). Este método se ajustó al diseño del INFFS y métodos de estimación específicos de los contenidos de biomasa y carbono, el cual fue proporcionado por Serfor. Para la madera muerta yacente se estimó el volumen de ramas o troncos con un diámetro >10 cm por unidad de área (m³/ha) a partir de la siguiente ecuación (Van Wagner 1982):

$$V_{MY} = \frac{(\pi^2 \sum D^2)}{8L}$$

Donde:

- V_{my} = Volumen de la madera yacente
- D^2 = Diámetro cuadrático de los troncos interceptados (cm)
- L = Longitud del transecto (m)

Posteriormente, la materia orgánica de la madera muerta yacente fue calculada multiplicando el volumen de la madera muerta yacente (V_{my}) por la densidad de madera asignada en función del grado de descomposición (tabla 24) para obtener su masa o necromasa ($t\ m.s\ ha^{-1}$) en cada UM del INFFS.

c) Hojarasca

Para la estimación de la materia orgánica en la hojarasca se establecieron tres marcos de $1\ m^2$ en cada UM, donde se colectó todo el material con un diámetro inferior a 1.5 cm dentro del marco de muestreo, se pesó y se mezcló con el material de los otros dos marcos de muestreo. Posteriormente, se extrajo una muestra compuesta de aproximadamente 250 g que fue llevada al laboratorio para ser secada y estimar el contenido de humedad. La ecuación utilizada para estimar la materia orgánica muerta en la hojarasca se describe a continuación:

$$Bh = P_{ft} \left(\frac{P_{sm}}{P_{fm}} \right)$$

Donde:

- Bh = Necromasa de la hojarasca (Kg)
- P_{sm} = Peso seco de la muestra colectada (Kg)
- P_{fm} = Peso fresco de la muestra colectada (Kg)
- P_{ft} = Peso fresco total por marco (Kg)

4.1.2.4. Estimación de biomasa y carbono a nivel de parcela**a) Biomasa aérea y subterránea**

Debido a las diferencias entre las fuentes de datos (INFFS y FP), para estimación de la AGB y BGB a nivel de Unidades Muestrales (UM), fue necesario utilizar dos métodos de estimación en función del diseño de la UM.

En el caso de la información proveniente del INFFS, para calcular la AGB y BGB por parcela fue necesario primero estimar la AGB y BGB por subparcela. Para ello, se sumaron los valores de todos los individuos presentes en una subparcela ($AGB_{subparcela}$ y $BGB_{subparcela}$), y posteriormente se extrapoló a ha en función del tamaño de la subparcela.

$$AGB_{subparcela} = \frac{\sum AGB_i}{1000} \times F.E$$

$$BGB_{subparcela} = \frac{\sum BGB_i}{1000} \times F.E$$

Donde:

- *AGBi = Biomasa aérea del i-ésimo individuo en la subparcela expresada en kilogramos de materia seca (kg m.s.) y estimada a partir de ecuaciones alométricas.*
- *BGBi = Biomasa subterránea del i-ésimo individuo en la subparcela expresada en kilogramos de materia seca (kg m.s.) y estimada a partir de ecuaciones alométricas.*
- *F.E. = Factor de expansión a ha determinado por el área efectiva de muestreo de la subparcela en función de su diseño por ecozona.*

La sumatoria de la AGB y BGB es dividida en mil para llevar de kilogramos a toneladas

Por último, conforme al diseño de la UM y el número de parcelas que representan la UM, se estimó la media de la $AGB_{subparcela}$ y $BGB_{subparcela}$ de todas las subparcelas que pertenecían a una misma UM para obtener la estimación a nivel de parcela por hectárea. Se utiliza este método debido a que las UM tienen diferente número de subparcelas por las condiciones de acceso a ser medidas, o contener usos de la tierra diferentes a tierras forestales, que no se evaluaron.

También se ajustó en el cálculo de manera diferencial, por el número de subparcelas, ya que las UM del INFFS tienen un número de subparcelas diferentes según la ecozona, en SB se componen de 7 subparcelas y en las ecozonas de SAA, SADA y ZH de 10 subparcelas. Se usó la siguiente ecuación:

$$AGB_{parcela} = \frac{\sum AGB_{subparcela i}}{n}$$

$$BGB_{parcela} = \frac{\sum BGB_{subparcela i}}{n}$$

Donde:

- *$AGB_{subparcela i}$ = Biomasa aérea de la i-ésima subparcela*
- *$BGB_{subparcela i}$ = Biomasa subterránea de la i-ésima subparcela*
- *n = Número de subparcelas que componen la UM evaluada. SB=7 subparcelas y SAA, SADA y ZH=10 subparcelas*

Para el caso de la información proveniente de los estudios recopilados en FP, la parcela fue evaluada por completo y no en subparcelas como fue el caso del INFFS. Para estimar la AGB y BGB a nivel de parcelas, se sumó la AGB y BGB de todos los individuos presentes en una parcela y se aplicó un factor de expansión a la hectárea según el tamaño de la parcela a la que pertenecían los registros.

$$AGB_{parcela} = \frac{\sum AGB_i}{1000} \times F.E$$

$$BGB_{parcela} = \frac{\sum BGB_i}{1000} \times F.E$$

Donde:

- *AGBi = Biomasa aérea del i-ésimo individuo en la subparcela expresada en kilogramos de materia seca (kg m.s.) y estimada a partir de ecuaciones alométricas.*
- *BGBi = Biomasa subterránea del i-ésimo individuo en la subparcela expresada en kilogramos de materia seca (kg m.s.) y estimada a partir de ecuaciones alométricas.*
- *F.E. = Factor de expansión a hectárea determinado por el área efectiva de muestreo de la subparcela.*

La sumatoria de la AGB y BGB es dividida en mil para llevar de kilogramos a toneladas

Una vez estimada la AGB y BGB a nivel de parcela para cada una de las fuentes de información (INFFS y FP), se multiplicó por el factor 0.47 para llevar la estimación de biomasa a carbono.

b) Materia orgánica muerta en individuos muertos en pie y tocones

Se siguió un procedimiento similar a la estimación de la biomasa total en individuos vivos por parcela, sumando la materia orgánica muerta aérea y subterránea de los individuos muertos en pie y tocones, para obtener un valor de materia orgánica total por individuo.

Posteriormente, también se sumaron los contenidos de materia orgánica muerta de todos los individuos pertenecientes a una subparcela (en el caso del INFFS), y se promediaron los contenidos de materia orgánica total entre todas las subparcelas pertenecientes a una misma UM, para obtener las estimaciones a nivel de UM para cada ecozona.

En el caso de la estimación a nivel de parcelas para la información proveniente de FP, se sumaron los contenidos de materia orgánica total de todos los individuos provenientes de una misma parcela y se expandió la estimación a hectárea en función del tamaño de la parcela.

Una vez estimada la materia orgánica total a nivel de parcela o UM para cada una de las fuentes de información (INFFS y FP), se estimó su contenido total de carbono multiplicando la estimación de la materia orgánica muerta total por el factor 0,47 (IPCC, 2006).

c) Madera muerta yacente

Una vez estimada la materia orgánica muerta, de la madera muerta yacente por nivel de descomposición, se sumaron las estimaciones ($t \text{ m.s. ha}^{-1}$) de los tres niveles de descomposición para tener un único valor por UM del INFFS. Posteriormente, se estimó su contenido total de carbono multiplicando la estimación de la materia orgánica muerta por el factor 0,47 (IPCC, 2006).

d) Hojarasca

Una vez estimada la materia orgánica muerta por marco de 1 m^2 , se promediaron los tres valores (tres muestreos) para obtener un promedio de materia orgánica muerta por UM y posteriormente se extrapola la información para llevar a hectárea. Por último, se estimó el contenido de carbono utilizando la fracción 0,47 propuesta por el IPCC (2006).

4.1.2.5. Estimación de carbono y factores de emisión por ecozona y su incertidumbre asociada

Para el bioma amazónico el objetivo fue el de conocer los contenidos de carbono de manera diferenciada por depósito de carbono para cada ecozona, debido a que cada una cuenta con características particulares con respecto a la diversidad de ecosistemas y coberturas vegetales en sus tierras forestales que contiene en cada una (ver sección 3.3) y que se encuentran en correspondencia al diseño del INFFS, instrumento nacional y subnacional que proporciona, como una de su información prioritaria, las existencias de carbono o sus factores de emisión de las tierras forestales.

a) Biomasa y materia orgánica muerta asociada a individuos vivos, muertos en pie y tocones

Obtenido el carbono para los componentes biomasa aérea y subterránea y materia orgánica muerta asociada a individuos muertos en pie y tocones por parcela para cada una de las fuentes de información (INFFS y FP), se procedió también a vincular geográficamente los contenidos de carbono de las parcelas de la recopilación de estudios de FP a su ecozona correspondiente. Esto se realizó a partir de las coordenadas geográficas de las parcelas y su ubicación en el Mapa de las Ecozonas del INFFS del Perú (FAO y Serfor, 2016), asignándole un identificador a cada una de las parcelas (figura 44).

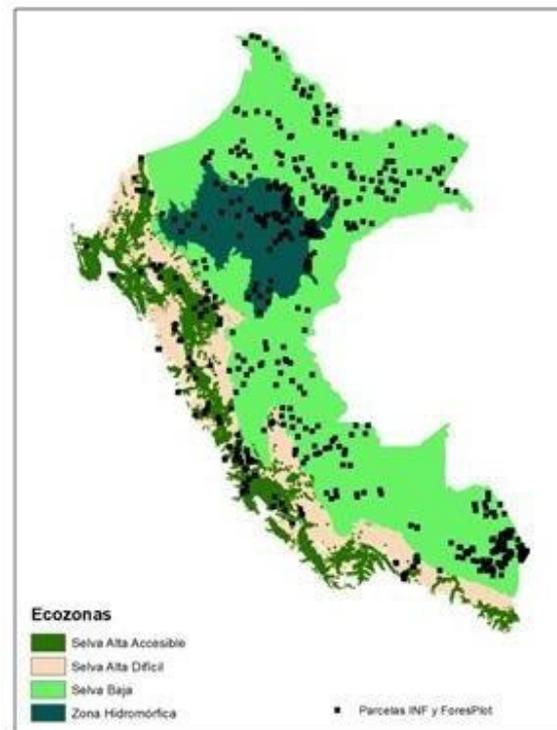


Figura 44. Distribución de las UM del INFFS y FP.

Para la estimación del carbono por depósito y sus componentes a nivel de ecozona, se estimó la media del carbono y el error estándar por ecozona (SB, SAA, SADA e ZH) utilizando la siguiente ecuación:

$$\bar{C}_{hi} = \frac{1}{n_{hi}} \sum_{j=1}^n C_{hij}$$

Donde:

- C_{hi} = Media del carbono de la h -ésima fuente i -ésima ecozona
- n_{hi} = Número de parcelas de la h -ésima fuente i -ésima ecozona
- C_{hij} = Estimación del carbono de la h -ésima fuente i -ésima ecozona j -ésima parcela

$$S.E. = \frac{\sqrt{S^2}}{\sqrt{n}}$$

Donde:

- S^2 = Varianza de la estimación
- n = Número de parcelas

Debido a las diferencias de diseños de muestreo entre el INFFS y de la recopilación de datos de FP y para evitar sesgos relacionados a sus diferentes diseños de muestreo y propósitos, una vez obtenida la estimación de la media y el error estándar a nivel de

ecozona y fuente de datos, se estimó una media general del carbono por ecozona utilizando la metodología de Thomas (1987), donde se propone ponderar la media de cada fuente (INFFS y FP) por el inverso de la varianza. Es decir, la fuente que tenga menor varianza tendrá un peso mayor en la estimación del carbono por ecozona.

Para implementar la metodología propuesta por Thomas (1987), el primer paso fue estimar la varianza para cada ecozona y fuente de datos. Una vez obtenidas la media y la varianza de la muestra se implementó la siguiente ecuación para combinar ambas fuentes de datos.

$$\bar{C} = \frac{\left(\frac{1}{S_{FP}^2} \times C_{FP}\right) + \left(\frac{1}{S_{INFFS}^2} \times C_{INFFS}\right)}{\frac{1}{S_{FP}^2} + \frac{1}{S_{INFFS}^2}}$$

Donde:

- \bar{C} = Media de carbono
- S^2 = Varianza de cada fuente de datos (INFFS y FP)
- C = Estimación de carbono por cada fuente de datos (INFFS y FP)

Para la estimación de la varianza, combinando las dos fuentes de datos, se utilizó la siguiente ecuación propuesta por Thomas (1987):

$$S^2 = \frac{1}{\omega} \left[1 + \frac{4}{\omega^2} + \sum \frac{1}{n_i} (\omega_i \{ \omega - \omega_i \}) \right]$$

Donde:

- ω_i = Varianza inversa de la i -ésima fuente de datos.
- ω = Suma (ω_i)
- n_i = Número de unidades muestrales menos uno de la i -ésima fuente de datos

La estimación de las existencias de carbono o densidades de carbono AGB, BGB, materia orgánica muerta y densidades de carbono total, resultante para cada ecozona por fuente de información, difieren en sus contenidos de carbono, presentando existencias de carbono más altas por ecozona para los sitios recopilados por FP que, en el INFFS, como efecto de la diferencia del tamaño de muestra, los múltiples diseños y propósitos. Para dar mayor claridad al respecto y con el objetivo de asegurar la transparencia, mejorar el procedimiento de cálculo, y su exactitud de los contenidos de carbono totales por ecozona, se presentan las existencias de carbono por depósito de biomasa aérea, subterránea y su madera muerta por ecozona en el anexo 4.

Para ponderar el sesgo de las dos fuentes, se realizó la combinación de las dos estimaciones con el inverso de la varianza y se calculó la densidad de carbono final y su incertidumbre.

Para la estimación de la incertidumbre de los FE por ecozona, se utilizaron los resultados de la ecuación para la estimación de la varianza a partir de distintas fuentes de datos.

Una vez estimada la varianza por ecozona (S^2) se estima la desviación estándar (D.S.), los intervalos de confianza (I.C.) y la incertidumbre para cada ecozona (U %). Siguiendo el procedimiento en las siguientes ecuaciones:

$$D.S. = \sqrt{S^2}$$

Donde:

- $S^2 =$ Varianza del estrato

$$I.C = X \pm (Z^\alpha \times D.S)$$

Donde:

- $I.C =$ Intervalo de confianza al 95 %
- $\chi =$ Media
- $Z^\alpha =$ Valor de Z un nivel de confianza esperado, para este trabajo se utilizó un nivel de confianza del 95 %
- $D.S =$ Desviación estándar

$$I(\%) = \frac{\chi \pm I.C.}{\chi} \times 100$$

Donde:

- $I(\%) =$ Incertidumbre expresada en porcentaje
- $\chi =$ Media de la ecozona
- $I.C. =$ Valor del límite inferior o superior del intervalo de confianza

b) Materia orgánica muerta asociada a madera muerta yacente y hojarasca

Debido a que la información de estos dos componentes proviene únicamente de la información del INFFS, no fue necesario implementar el método del inverso de la varianza para combinar fuentes de información como se explica en la sección anterior. Las estimaciones a nivel de ecozona se realizaron a partir de un promedio de los contenidos de materia orgánica muerta por componente de las parcelas pertenecientes a cada una de las ecozonas. Se calculó el promedio de los contenidos de carbono y su error estándar para posteriormente calcular la incertidumbre utilizando las ecuaciones presentadas anteriormente.

c) Integración de las densidades de carbono y los factores de emisión por ecozona

La estimación de los factores de emisión por ecozona se realizó sumando los contenidos de carbono de cada uno de los depósitos y sus componentes por ecozona. La combinación de las incertidumbres de los componentes de los depósitos por ecozona se realizó utilizando el enfoque 1 de propagación del error y cálculo de incertidumbres del IPCC (2006). Para el cálculo del factor de emisión, se asume la pérdida total de carbono por oxidación después de un evento de deforestación, por lo que se convierte a dióxido de carbono por la fracción de 44/12, que es la proporción molecular entre el carbono y el CO₂.

Las existencias de carbono y factores de emisión por depósitos, componente y su incertidumbre asociada, se resumen en las tablas 25, 26, 27 y 28.

Tabla 25. Biomasa, contenido de carbono, factor de emisión, error estándar, incertidumbre y contribución relativa del total de depósitos de carbono cuantificados, en la ecozona de la SAA

Depósitos (Componente)		n	Biomasa (t/ha)	C t/ha	EE	CO _{2eq}	I (%)	%
Biomasa	Biomasa aérea (árboles vivos)	131	183,68	86,33	3,76	316,54	8,53	62,92
	Biomasa subterránea (raíces)	131	88,64	41,66	1,63	152,76	7,68	30,36
Materia orgánica muerta	Madera muerta (árboles muertos)	131	5,34	2,51	0,33	9,21	25,63	1,84
	Madera muerta (raíces)	131	2,63	1,24	0,15	4,53	23,80	0,90
	Madera muerta (yacente)	58	9,55	4,49	0,64	16,46	27,94	3,27
	Hojarasca	55	2,09	0,98	0,12	3,59	24,00	0,71
Total			291,93	137,21	4,16	503,09	5,95	100,00

Tabla 26. Biomasa, contenido de carbono, factor de emisión, error estándar, incertidumbre y contribución relativa del total de depósitos de carbono cuantificados, en la ecozona de la SADA.

Depósitos (Componente)		n	Biomasa (t/ha)	C t/ha	EE	CO _{2eq}	I (%)	%
Biomasa	Biomasa aérea (árboles vivos)	33	188,74	88,71	6,09	325,27	13,46	60,96
	Biomasa subterránea (raíces)	33	89,94	42,27	2,77	155,00	12,82	29,05
Materia orgánica muerta	Madera muerta (árboles muertos)	33	11,94	5,61	1,08	20,58	37,80	3,85
	Madera muerta (raíces)	33	5,59	2,63	0,46	9,64	34,13	1,81
	Madera muerta (yacente)	11	11,17	5,25	1,44	19,25	53,76	3,61
	Hojarasca	12	2,23	1,05	0,24	3,85	44,80	0,72
Total			309,63	145,53	6,95	533,60	9,36	100,00

Tabla 27. Biomasa, contenido de carbono, factor de emisión, error estándar, incertidumbre y contribución relativa del total de depósitos de carbono cuantificados, en la ecozona de la SB

Depósitos (componente)		n	Biomasa (t/ha)	C t/ha	EE	CO _{2eq}	I (%)	%
Biomasa	Biomasa aérea (árboles vivos)	540	247,82	116,47	2,12	427,07	3,56	62,72
	Biomasa subterránea (raíces)	540	113,41	53,30	0,89	195,44	3,27	28,70
Materia orgánica muerta	Madera muerta (árboles muertos)	540	9,57	4,50	0,29	16,49	12,42	2,42
	Madera muerta (raíces)	540	4,32	2,03	0,12	7,44	11,83	1,09
	Madera muerta (yacente)	154	17,32	8,14	0,50	29,85	12,04	4,38
	Hojarasca	138	2,68	1,26	0,08	4,62	12,44	0,68
Total			395,11	185,70	2,37	680,91	2,50	100,00

Tabla 28. Biomasa, contenido de carbono, factor de emisión, error estándar, incertidumbre y contribución relativa del total de depósitos de carbono cuantificados, en la ecozona de la ZH.

Depósitos (componente)		n	Biomasa (t/ha)	C t/ha	EE	CO _{2eq}	I (%)	%
Biomasa	Biomasa aérea (árboles vivos)	141	167,46	78,70	2,52	288,58	6,28	64,91
	Biomasa subterránea (raíces)	141	73,26	34,43	1,25	126,25	7,13	28,40
Materia orgánica muerta	Madera muerta (árboles tocones muertos)	141	4,68	2,20	0,31	8,06	27,73	1,81
	Madera muerta (raíces)	141	2,19	1,03	0,14	3,78	26,47	0,85
	Madera muerta (yacente)	18	8,40	3,95	0,78	14,48	38,70	3,26
	Hojarasca	17	1,98	0,93	0,16	3,41	33,72	0,77
Total			257,97	121,25	2,95	444,57	4,76	100,00

Haciendo un análisis comparativo de la biomasa aérea con respecto al NREF de 2015, se observan diferencias en los valores e incertidumbres, debido principalmente al número de muestras y al proceso de estimación. El análisis sobre la biomasa aérea obedece principalmente a que es el componente que brinda la información más directa, en comparación con la biomasa subterránea que usa factores de conversión, o estimaciones a nivel de carbono que se calculan a partir de fracciones, o factores de emisión estimados a partir de proporciones; en ese sentido, la inclusión de la mayor información disponible (materia orgánica muerta), así como los métodos utilizados para el cálculo (propagación del error, inverso de la varianza, entre otros), son factores que limitan la comparabilidad con el primer NREF.

En el análisis de la biomasa aérea y de manera general, el NREF 2021 presenta valores más altos de biomasa, excepto en la ecozona SADA, lo cual se debe principalmente a un tamaño de muestra menor que en el NREF 2015, incrementando también su incertidumbre (tabla 29).

Las diferencias también obedecen a las fuentes de información utilizadas en las estimaciones, así como en la aplicación de modelos alométricos más apropiados, en función de las características de las especies y los ecosistemas del Perú; trabajo realizado en conjunto con Serfor.

El NREF 2015 tiene una muestra mayor en comparación con el NREF 2021 (1 165 y 845 parcelas respectivamente); sin embargo, no existe información sobre remediones o monitoreo de las parcelas utilizadas en el NREF 2015, lo cual limita su uso; asimismo, es de recalcar que, a pesar de tener un tamaño de muestra mayor, su incertidumbre no es significativamente más baja y las estimaciones se encuentran en el mismo rango entre sus ecozonas. Esto es debido a la disponibilidad diferencial de muestra para cada ecozona en ambos NREF. Este efecto será compensado, en la medida que el INFFS se implemente en su totalidad y pueda mejorar su exactitud con menores niveles de incertidumbre en cada ecozona.

Tabla 29. Biomasa aérea del NREF 2015 y el NREF 2021

Ecozona	NREF 2015*			NREF 2021		
	n	t ha ⁻¹	l (%)	n	t ha ⁻¹	l (%)
SAA	132	172,53	6,74	131	183,68	8,53
SADA	193	200,11	6,48	33	188,74	13,46
SB	827	238,24	2,64	540	247,82	3,56
ZH	13	143,39	17,53	141	167,46	6,28

*= La información ha sido obtenida del documento *Estimación de los contenidos de carbono de la biomasa aérea en los bosques del Perú*⁵³, el cual describe la metodología y resultados de la estimación de existencias de carbono en los bosques, a partir de datos de campo y es el insumo base para la información del NREF 2015.

⁵³ http://www.bosques.gob.pe/archivo/7220e0_libro_carbono.pdf

En el presente NREF se utilizan por primera vez datos de campo del INFFS que fueron diseñados para el propósito de estimación de reservorios y se complementó con estudios científicos robustos de la Amazonía peruana (FP). El control de calidad aplicado a las bases de datos permitirá ser incorporado a los cálculos futuros del INFFS a medida que avancen los levantamientos de campo y se complete al 100 % las UM realizadas. Conforme el INFFS se vaya completando, la incertidumbre de las estimaciones disminuirá y el uso de su información a nivel nacional y subnacional será más precisa.

4.2. Nivel de referencia de emisiones forestales por deforestación 2010-2019

El NREF para el Perú está basado en su promedio histórico de emisiones de CO_{2eq} que provienen de la deforestación en el periodo 2010 a 2019. En este periodo histórico el país se ha preparado construyendo un marco legal e institucional para realizar acciones de mitigación de cambio climático en el bioma amazónico, orientando sus planes y políticas nacionales a través de su ENBCC en sus objetivos, estrategias y líneas de implementación de REDD+ para acceder al pago por resultados. Los esfuerzos que se han realizado se verán reflejados posteriormente a este periodo y el NREF permitirá al país cuantificar el cumplimiento de sus metas y compromisos de mitigación al cambio climático en la CMNUCC, así como el aporte a sus NDC como parte de las reducciones del sector UTCUTS.

La estimación de los datos de actividad anuales y de los factores de emisión se utilizó como insumo principal para el cálculo de las emisiones históricas y sus incertidumbres, proceso que se describe a continuación.

4.2.1. Enfoque y métodos para la estimación de emisiones de CO_{2eq} y su incertidumbre

El enfoque para calcular las emisiones anuales históricas de CO_{2eq} sigue la orientación general de las directrices del IPCC (2006) en un nivel 2 de combinación de datos de actividad con factores de emisión, el cual consiste en estimar las áreas deforestadas anualmente y su incertidumbre asociada para cada ecozona del bioma amazónico, que sucede por las conversiones de tierras forestales a tierras agrícolas, praderas y asentamientos humanos. Estas áreas se relacionan con los contenidos de carbono en la biomasa total de las tierras forestales en cada ecozona (depósitos de carbono de la AGB, BGB y la materia orgánica muerta) y su incertidumbre asociada, asumiendo su contenido de carbono como un coeficiente o factor de emisión al convertirse a CO_{2eq}.

La estimación de emisiones en el presente NREF se realiza bajo el supuesto, que todo proceso de deforestación sobre las tierras forestales y sus reservorios cuantificados se oxida y produce una liberación completa de su CO_{2eq} en los años evaluados del periodo de referencia en el bioma amazónico.

Como un primer paso se estimaron las emisiones de CO₂ totales por año, multiplicando

el área total deforestada en cada ecozona y cada año del periodo histórico por los factores de emisión de las ecozonas SAA, SADA, SB y ZH.

$$E_{ij} = A_{ij} \times FE_j$$

Donde:

- E_{ij} : Emisiones totales estimadas en el i -ésimo año j -ésima ecozona
- A_{ij} : Área total deforestada en el i -ésimo año j -ésima ecozona
- FE_j : Factor de emisión ($tCO_2 ha^{-1}$) de la j -ésima ecozona

Para las variaciones de dióxido de carbono anuales se calcula su incertidumbre, combinando el dato de actividad y el factor de emisión con el Enfoque 1 para la estimación del error y la propagación del error del IPCC (2006), mediante el uso de la ecuación por adición:

$$I_{jj} = \sqrt{I_{1ij}^2 + I_{2j}^2}$$

Donde:

- I_{jj} : Incertidumbre total expresada en porcentaje para el i -ésimo año j -ésima ecozona
- I_{1ij} : Porcentaje de incertidumbre de los datos de actividad del i -ésimo año j -ésima ecozona
- I_{2j} : Porcentaje de incertidumbre de los factores de emisión de la j -ésima ecozona

Con este primer cálculo se obtiene para el periodo de referencia las emisiones por ecozona y su incertidumbre como se describe en la tabla 30. La ecozona de SB es la que emite el 61 % de las emisiones en la Amazonía peruana, seguida de la SAA con el 27 %, la SADA con el 9 % y por último la ZH con solo el 2 %.

Tabla 30. Estimación de las emisiones totales por año por ecozona, incertidumbre para DA, FE y su incertidumbre combinada (%).

Ecozona	Año	Área	I% DA	FE t CO _{2eq} /año	I% FE	CO _{2eq}	I % Emisiones
Selva Alta Accesible	2010	36987,94	41,64	503,09	5,95	18 608 325,22	42,06
	2011	41616,38	37,59			20 936 854,92	38,06
	2012	54512,15	33,85			27 424 609,63	34,37
	2013	53752,34	34,10			27 042 355,53	34,61
	2014	40150,35	38,78			20 199 307,41	39,23
	2015	43810,61	35,17			22 040 753,79	35,67
	2016	50011,75	33,66			25 160 495,79	34,18
	2017	27622,58	44,66			13 896 690,43	45,05
	2018	32887,86	39,00			16 545 609,04	39,45
	2019	48024,80	32,26			24 160 877,76	32,80
Promedio histórico						21 601 587,95	11,75
Selva alta de Difícil Acceso	2010	16691,3	25,23	533,60	9,36	89 06 418,48	26,91
	2011	14676	23,45			78 31 061,55	25,25
	2012	19119,57	19,43			10 202 134,74	21,57
	2013	13083,12	18,39			6 981 106,43	20,63
	2014	8747,06	22,55			4 667 400,19	24,42
	2015	9188,54	33,04			4 902 972,36	34,34
	2016	17583,33	20,19			9 382 402,53	22,25
	2017	11007,85	30,39			5 873 749,72	31,80
	2018	15563,71	23,05			8 304 740,46	24,88
	2019	12857,59	38,28			6 860 764,42	39,41
Promedio histórico						7 391 275,09	8,57
Selva Baja	2010	62566,81	31,89	680,91	2,5	42 602 538,51	31,99
	2011	67312,96	30,69			45 834 252,54	30,79
	2012	59479,33	32,91			40 500 234,02	33,01
	2013	92800,42	26,47			63 188 988,96	26,59
	2014	73789,28	29,28			50 244 061,39	29,39
	2015	58164,49	33,21			39 604 942,70	33,30
	2016	81015,35	28,42			55 164 384,57	28,53
	2017	66354,73	29,76			45 181 781,52	29,87
	2018	58007,82	30,23			39 498 264,10	30,33
	2019	87603,02	25,55			59 650 013,05	25,67
Promedio histórico						48 146 946,14	9,39
Zona Hidromórfica	2010	5726,90	66,57	444,57	4,76	2 546 021,88	66,74
	2011	5137,64	42,51			2 284 053,13	42,78
	2012	4345,78	28,59			1 932 014,00	28,98
	2013	4230,21	30,14			1 880 634,76	30,51
	2014	2152,69	39,01			957 026,64	39,30
	2015	4253,95	90,6			1 891 188,91	90,73
	2016	3571,95	32,5			1 587 990,51	32,85
	2017	2254,9	32,64			1 002 466,38	32,99
	2018	3430,23	37,02			1 524 985,71	37,33
	2019	5114,58	75,91			2 273 801,29	76,06
Promedio histórico						1 788 018,32	18,77

Una vez calculadas las emisiones por ecozona por año y su incertidumbre combinada, se estimaron las emisiones totales sumando las emisiones de CO₂ para la Amazonía peruana para cada año en particular como lo muestra la siguiente ecuación,

$$E_i = \sum_i^n E_{ij}$$

Donde:

- E_i : Emisiones totales del i -ésimo año
- E_{ij} : Emisiones totales estimadas en el i -ésimo año j -ésima ecozona

Por último, se realizó su propagación del error por año, con la fórmula del enfoque 1 propuesta por el IPCC (2006), con la combinación por adición.

$$I_i = \frac{\sqrt{\sum_i^n (I_{ij} \times E_{ij})^2}}{\sum_i^n E_{ij}}$$

Donde:

- I_i : Incertidumbre total expresada en porcentaje del i -ésimo año
- I_{ij} : Incertidumbre total expresada en porcentaje para el i -ésimo año j -ésima ecozona
- E_{ij} : Emisiones totales estimadas en el i -ésimo año j -ésima ecozona

Estimadas las emisiones por año para la Amazonía peruana, se calculan las emisiones promedio por año y su incertidumbre, con la siguiente ecuación,

$$\bar{E} = \frac{\sum E_i}{n}$$

Donde:

- \bar{E} : Emisiones promedio por año para la Amazonía
- E_i : Emisiones totales del i -ésimo año
- n : Número de años del periodo evaluado

$$I_{total} = \frac{\sqrt{\sum_i^n (I_i \times E_i)^2}}{\sum_i^n E_i}$$

Donde:

- I_{total} : Incertidumbre total
- I_i : Incertidumbre total expresada en porcentaje del i -ésimo año
- E_i : Emisiones totales del i -ésimo año

4.2.2. Emisiones históricas de CO_{2eq} para deforestación del periodo 2010-2019 del Perú

El Nivel de Referencia de Emisiones de CO_{2eq} por deforestación bruta en el bioma amazónico peruano de 2010 a 2019 (10 años) tiene un promedio histórico de 78 927

827,50 tCO_{2eq} con una incertidumbre del 6,63 % (tabla 31, figura 46). Este promedio tendrá efecto para la medición de reducción de emisiones debidas a las acciones REDD+, hasta que el Perú decida actualizarlo bajo el enfoque de mejora gradual.

Tabla 31. Emisiones totales por año y su incertidumbre

Periodo	Emisiones (tCO _{2eq})	I (%)
2010	72 663 304,1	22,00
2011	76 886 222,1	21,27
2012	80 058 992,4	20,63
2013	99 093 085,7	19,47
2014	76 067 795,6	22,09
2015	68 439 857,8	22,71
2016	91 295 273,4	19,79
2017	65 954 688,1	22,74
2018	65 873 599,3	20,97
2019	92 945 456,5	18,87
Promedio	78 927 827,50	6,63

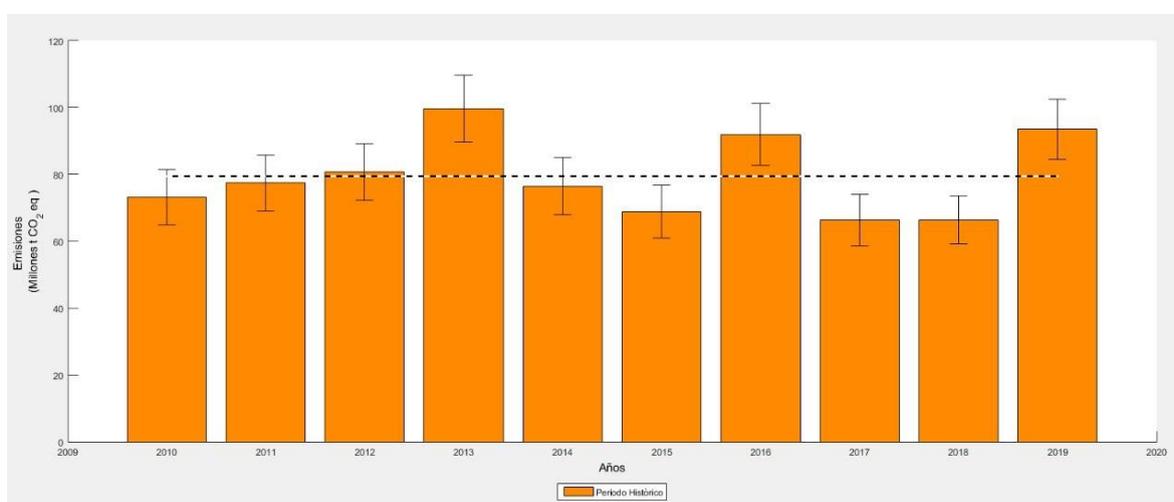


Figura 45. Nivel de Referencia de Emisiones Forestales del Perú en el bioma amazónico.

4.2.3. Diferencias con el primer NREF del Perú presentado en 2015

Las principales diferencias por considerar entre el NREF que se presenta ante la CMNUCC en esta actualización con respecto al NREF presentado en el 2015 se describen en la tabla 32.

Tabla 32. Principales diferencias con el NREF de 2015

Característica principal	NREF 2015	NREF 2021														
NREF (tCO _{2eq})	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>tCO_{2eq}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2015</td> <td>77 570 486</td> </tr> <tr> <td>2016</td> <td>80 797 169</td> </tr> <tr> <td>2017</td> <td>84 023 853</td> </tr> <tr> <td>2018</td> <td>87 250 536</td> </tr> <tr> <td>2019</td> <td>90 477 220</td> </tr> <tr> <td>2020</td> <td>93 703 903</td> </tr> </tbody> </table>	Año	tCO _{2eq}	2015	77 570 486	2016	80 797 169	2017	84 023 853	2018	87 250 536	2019	90 477 220	2020	93 703 903	78 927 827,50 tCO _{2eq}
Año	tCO _{2eq}															
2015	77 570 486															
2016	80 797 169															
2017	84 023 853															
2018	87 250 536															
2019	90 477 220															
2020	93 703 903															
Tipo y periodo de referencia del NREF	Periodo histórico 2001-2014 Proyección lineal de 2015 a 2020 Ecuación de la regresión lineal empleada: $y = 3E+06x - 6E+09$ $R^2 = 0.7018$	Promedio histórico 2010-2019 (10 años)														
Escala espacial	Subnacional	Subnacional														
Enfoque metodológico	DA x FE=Emisiones	DA x FE=Emisiones														
Dato de actividad	Mapa de deforestación bruta (DA); datos de inventarios forestales de varias instituciones (FE)	Muestreo sistemático estratificado en CEO (DA); INFFS (100 % Panel 1 y 50 % Panel 2), recopilación de parcelas de estudios científicos (FE)														
Actividades REDD+ incluidas	Reducción de emisiones por deforestación (contabilidad de GEI: deforestación bruta)	Reducción de emisiones por deforestación (contabilidad de GEI: deforestación bruta)														
Reservorios de carbono incluidos	Biomasa aérea y biomasa subterránea	Biomasa aérea, biomasa subterránea y materia orgánica muerta (árboles muertos en pie, árboles muertos yacientes, tocones y hojarasca)														
Gases incluidos	Dióxido de carbono	Dióxido de carbono														
Definición de bosque	Basado en la definición de "bosque" del INFFS, a partir de una altura mínima de los árboles a madurez <i>in situ</i> de 5 m y una cobertura de copa del 30 %. El área mínima es de 0.09 ha con base en los productos Landsat.	Basado en la definición de "bosque" del INFFS y la Ley Forestal y de Fauna Silvestre, con un área mínima ≥ 0.5 ha, ancho de faja de 20 m, altura mínima de los árboles a madurez <i>in situ</i> de 5 m y una cobertura de copa del 30 %.														
Análisis de incertidumbre	Enfoque 2 IPCC (2006), simulación Monte Carlo	Enfoque 1 IPCC (2006), propagación de error anualizada y total.														

5. INFORMACIÓN TRANSPARENTE, COMPLETA, CONSISTENTE Y EXACTA DEL NIVEL DE REFERENCIA DE EMISIONES FORESTALES DEL PERÚ

La información proporcionada por el NREF del Perú cumple con el Anexo de la decisión 12/CP.17, es guiada por las modalidades del NREF para la CMNUCC y por las directrices más recientes del IPCC (2006). De acuerdo con el párrafo 2(c) del Anexo de la Decisión 13/CP.19, la información que se muestra para el NREF es transparente, completa, consistente y exacta.

5.1. Transparencia

El principio se refiere a que sus diferentes fuentes de información, los supuestos que se plantean para las estimaciones, sus métodos y los procedimientos están explicados claramente en el desarrollo del NREF. Por este motivo, la sección 4.1 sobre la información necesaria para la construcción del NREF está estructurada según la secuencia de procedimientos para la generación de insumos y los métodos usados para llegar a los resultados de la estimación final del NREF por emisiones históricas y su incertidumbre asociada.

La información usada para el NREF está disponible, de modo accesible y permite la trazabilidad para poder replicar sus métodos de construcción, de acuerdo con la decisión 12/CP.17. Los procedimientos realizados para obtener los datos de actividad y sus resultados de la deforestación bruta, a partir de las conversiones de tierras forestales, están registrados en la plataforma digital de código abierto de CEO, así como sus bases de datos, e institucionalmente el MINAM pone disponibles los procedimientos y bases para el cálculo de las estimaciones del área derivados del muestreo sistemático estratificado. De la misma manera, para los FE se encuentran organizadas las bases de datos del INFFS y de la recopilación de estudios de FP. Los procedimientos de control de calidad y sus estimaciones están documentados en un protocolo, y las rutinas de estimación se encuentran disponibles en códigos en el paquete estadístico R. La documentación e información necesaria para el dato de actividad, factor de emisión y estimación de emisiones de CO₂ anuales, para la replicabilidad del NREF se encuentra en el Anexo 5.

5.2. Completitud

En el NREF se utilizó la máxima información disponible para tener estimaciones completas al momento de incluir todos los reservorios posibles, gases GEI y actividades y tener de manera completa la estimación para las emisiones por deforestación bruta. Se presenta a continuación una breve descripción de la disponibilidad de datos en el país para incluir actividades REDD+, depósitos de carbono y gases No CO₂ (tabla 33).

Tabla 33. Completitud de Actividades REDD+, Reservorios de carbono y gases GEI incluidos en el NREF.

Actividad REDD+	Depósitos de carbono y gases no CO ₂	Incluido	Justificación
Deforestación	Biomasa por encima del suelo	Sí	Información disponible en el INFFS.
	Biomasa por debajo del suelo	Sí	Información disponible en el INFFS.
	Materia orgánica muerta: madera muerta en árboles muertos en pie	Sí	Información disponible en el INFFS.
	Materia orgánica muerta: Madera muerta en material yacente en el suelo (troncos caídos)	Sí	Información disponible en el INFFS.
	Materia orgánica muerta: hojarasca	Sí	Información disponible en el INFFS.
	Carbono en suelos	No	Aún no se incluye la colecta de este depósito en el INFFS, su información no está disponible. Existen pocos datos sobre el carbono orgánico del suelo y de suelos orgánicos, los datos provienen de estudios científicos puntuales que no pueden ser usados extensivamente en el bioma amazónico.
	Carbono en las categorías de uso de la tierra posterior a la deforestación	No	No hay información del contenido de carbono en los sistemas agropecuarios que se establecen después de la deforestación a escala de la Amazonía. Por otra parte, el

			análisis de los datos de actividad (sección 4.1.1.5 y 4.1.1.6), representan las categorías de usos de la tierra y las conversiones entre ellas; de modo que fueron empleados de la forma más adecuada y coherente posible en las estimaciones de áreas y sus cambios.
	No CO ₂ por quema de biomasa	No	Se están desarrollando métodos para detección de quemas agropecuarias, quemas para deforestación e incendios en la Amazonía. Por encontrarse en fases tempranas de desarrollo no pudieron ser incluidos en el análisis de deforestación de la malla sistemática (ver sección 6).
Degradación		No	Se están generando insumos y desarrollando métodos de país para su cuantificación en el bioma amazónico (ver sección 6). Es una actividad prioritaria por incluirse.
Manejo sostenible de bosque		No	Se trabaja en la actualidad en la gobernanza, seguridad jurídica de la propiedad y la valorización de los bosques. No se tiene una sistematización de datos sobre el aprovechamiento forestal, ni la trazabilidad de los productos forestales maderables y no maderables. Su cuantificación requiere de esfuerzos adicionales de análisis, recopilación y sistematización de la información.

Actividad REDD+	Depósitos de carbono y gases no CO ₂	Incluido	Justificación
Conservación de reservas de carbono		No	Actividad no evaluada, no se han desarrollado métodos para su estimación en el país, que permita evitar la doble contabilidad, principalmente con la actividad de manejo sostenible del bosque.
Incremento de reservas de carbono		No	Con la malla del muestreo sistemática se ha obtenido el dato de actividad sobre las tierras que se convierten en tierras forestales, pero no se cuentan con información de incremento anual de biomasa de los bosques, dado que el INFFS no se ha completado y no cuenta con más de un periodo de medición para evaluarlo.

Aunque se tiene información sobre los componentes más representativos asociados a los depósitos de biomasa y materia orgánica muerta, es importante aclarar que, en la mayoría de los componentes evaluados, se tiene información únicamente de diámetros mayores a 10 cm. En el caso de la materia orgánica muerta, además de los componentes árboles muertos en pie, tocones y madera muerta yacente; se tiene información de hojarasca y ramas con un diámetro inferior a 1,5 cm. Por lo que para la biomasa no se está considerando los componentes con diámetros menores a 10 cm y en la materia orgánica muerta no se están considerando los componentes con diámetros de ramas y troncos entre 1,5 a 10 cm.

Otro reservorio de carbono que no ha sido incluido en el NREF, y que en el Perú es de gran relevancia, es el de suelos orgánicos en zonas de bosques. El Perú contiene las turberas tropicales más grandes de la cuenca amazónica, con una extensión entre 50 000 y 74 644 km² (Ruokolainen *et al.*, 2001; Gumbricht *et al.*, 2017), considerando al aguajal el ecosistema de turberas más extenso (55 528 km²; MINAM, 2019), seguido del pantano herbáceo-arbustivo (7 956 km²; MINAM, 2019) y el varillal hidromórfico (3 686 km²; Draper *et al.*, 2014). Estos ecosistemas, por estar asociados a ríos y pantanos, están ubicados principalmente en la ZH y en la ecozona de la SB, y presentan significativos reservorios de carbono a nivel nacional, que almacenan 4,41 Gt de carbono en la turba (Page *et al.* 2011), y pueden contener el 64 % del carbono almacenado arriba del suelo en los bosques de todo el país (6,9 Gt C; Asner *et al.*, 2014), lo que los hace contener un gran potencial de emisión si ocurre la deforestación en estas zonas.

Para el presente NREF, con el fin de conocer su contribución, Cifor realizó un estudio independiente para efectos de informar en la actualización del NREF el potencial de carbono almacenado y su contribución cuando suceden fenómenos de deforestación. El estudio se realizó para el periodo de 2001 al 2016 enfocado a las emisiones de CO₂ debido a la descomposición. Se usaron los datos de deforestación (dato de actividad)

del PNCBMCC en su plataforma de Geobosques⁵⁴, el mapa de distribución de las turberas tropicales⁵⁵ (Gumbricht *et al.*, 2017) y los factores de emisión para suelos orgánicos drenados fueron tomados de las Directrices del IPCC 2006.

De acuerdo con este estudio, los valores de carbono contenido en el suelo oscilaron desde 7,5 toneladas t C ha⁻¹/año hasta 14 t C ha⁻¹/año. Se concluyó que las emisiones anuales derivadas de la deforestación en el periodo oscilan de 1 100 731 a 3 407 842 t C ha⁻¹/año durante el periodo 2001–2016 (Coronado & Hergoualc’h 2021), que representa del 1,61 al 5 % de las emisiones anuales de CO₂ debido a la deforestación bruta de los bosques amazónicos (biomasa aérea y subterránea) según el último NREF de Perú (MINAM, 2016). A pesar de no presentar emisiones anuales muy significativas en promedio, es un complejo de ecosistemas que se debe de considerar en su cuantificación como un enfoque de mejora gradual para evaluar si están existiendo procesos de degradación y deforestación que aumentan su contribución relativa como fuente de emisión nacional y reforzar las medidas de su conservación por el gran valor biológico inherente para el país y el mundo.

El enfoque del IPCC (2006) para estimar las emisiones derivadas de cambios de uso que ocasionan la deforestación, aplica en la cuantificación de las emisiones el uso posterior a la deforestación (ecuaciones 2.15 y 2.16, IPCC 2006). En el Perú se ha identificado la limitante de no contar con la ubicación y superficie georreferida del uso agropecuario, de sus principales cultivos transitorios (ej. arroz, maíz y yuca), plantaciones agroindustriales (ej. palma de aceite), sistemas agroforestales (ej. café de sombra y cacao), sistemas ganaderos y agrosilvopastoriles. En este sentido, el Midagri en los últimos años ha avanzado, desarrollando un primer mapa de cobertura agrícola oficial del año 2018⁵⁶ y a partir del año 2019 ha estado elaborando mapas sobre las superficies de cultivos transitorios (arroz) y perennes (café y cacao) más importantes en la Amazonía peruana⁵⁷. Esta información, bajo un enfoque gradual, se incorporará al análisis de la malla de muestreo sistemática, cuando se desarrolle una serie histórica más amplia, y así utilizarla como información de apoyo para determinar con mayor certidumbre en la interpretación visual la dinámica de cambio, de las tierras forestales hacia la gran variedad de cultivos y pastizales existentes en la Amazonía peruana y que al momento no se han podido identificar.

De la misma manera, instituciones académicas y de investigación en el Perú, como el Instituto de Investigaciones en la Amazonía Peruana (IIAP), Cifor y universidades nacionales y regionales, han estado trabajando de manera puntual desde sus instituciones, en la cuantificación del balance del carbono en sistemas agropecuarios, agroforestales y silvopastoriles, información que se tiene contemplada incorporar para mejorar los factores de emisión derivados de la deforestación.

⁵⁴ Disponible en: <http://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/view/perdida.php>

⁵⁵ Disponible en: <https://www2.cifor.org/global-wetlands>

⁵⁶ Disponible en: <https://siea.midagri.gob.pe/portal/normas>

⁵⁷ Disponible en:

<https://geosiea.midagri.gob.pe/portal/apps/opsdashboard/index.html#/1ed2235b308c46198e40900e43a7b319>

Al momento de tener disponibilidad de los datos que se encuentran en desarrollo, se incorporarán en una actualización del NREF para así lograr tener estimaciones más completas y exactas sobre las emisiones derivadas de la deforestación.

5.3. Coherencia o consistencia

Los métodos y resultados para construir el NREF guardan coherencia y consistencia en toda la serie de tiempo evaluada para estimar las emisiones de CO₂eq en el periodo de referencia. Los datos de actividad se evaluaron con los mismos criterios de interpretación visual, insumos de sensores remotos, realizándose un control de calidad sobre los cambios detectados y procesándose de manera robusta en una rutina de estimación documentada (ver anexo 5). Los FE se procesaron para cada ecozona con los mismos procedimientos de estimación para sus características particulares en función de sus datos de campo disponibles, con los datos disponibles en el INFFS y de la recopilación de estudios de la plataforma de FP. De esta manera las emisiones históricas son consistentes en su totalidad de periodo (2010-2019) con los métodos descritos para este NREF.

Los métodos empleados en el NREF se realizaron bajo un enfoque de mejora gradual y es la primera ocasión que el país los aplica para una estimación de emisiones en el sector forestal de emisiones anuales por deforestación bruta. Por lo tanto, no son consistentes con el BUR presentado por el Perú en 2019 ni sus INGEI y RAGEI. Los insumos y métodos que se han usado para los reportes nacionales hacia la CMNUCC se han realizado en los últimos años con la información del MINAM-PNCBMCC y Midagri-Serfor que se basan en métodos de conteo de píxeles para los datos de actividad y factores de emisión para cada ecozona elaborados con diferentes modelos y procedimiento de estimación de contenidos de carbono aplicados (Serfor, 2019).

La intención del Perú a través el MINAM y el Midagri-Serfor es incorporar los insumos y métodos de contabilidad de carbono del presente NREF para los reportes de país, en sus futuros reportes de la CMNUCC, principalmente para los BUR y su anexo Técnico REDD+ para el pago por resultados, para asegurar la consistencia en la medición de sus metas nacionales como se indica en la sección de 2.2 referente al NREF y su marco MRV.

5.4. Exactitud

En la actualización del NREF se aseguró la identificación de las fuentes de error con su medición de incertidumbre de sus principales insumos para la estimación de emisiones, en sus datos de actividad y factores de emisión, así como en la propagación de su error aplicando el método 1 del IPCC (2006) donde se ha obtenido una incertidumbre total del 6,63 % de la estimación total de emisiones anuales en el periodo del NREF. También se usaron supuestos que están en conformidad con los datos que se tuvieron disponibles del país para su uso.

En esta estimación del NREF con el método de muestreo de la malla sistemática para determinar el área, fue posible medir la exactitud relacionada al área deforestada con



sus intervalos de confianza y, con esto, conocer de manera directa la subestimación o sobreestimación obtenida de la deforestación en cada ecozona y total, para permitir al país determinar qué nivel de exactitud es deseable alcanzar de resultados por deforestación para el pago por resultados de acciones REDD+.

También fue posible identificar el avance del INFFS y la efectividad de procedimientos para estimar contenidos de carbono mediante la comparación de la incertidumbre de las diferentes fuentes de datos y métodos, que se han usado para obtener factores de emisión. Las estimaciones de FE están adquiriendo buenos niveles de exactitud para la Amazonía peruana a nivel de ecozona. Sin embargo, el nivel de incertidumbre en la estimación de los depósitos de carbono para las ecozonas con menor avance en el INFFS, como la SADA, que cuenta con una muestra limitada del INFFS, siguen siendo altos. Lo mismo sucede en general, para los depósitos de madera muerta yacente y hojarasca por solo estar medidos en una porción de todas las UM, estos depósitos presentan incertidumbres en las ecozonas que van de 12 hasta el 53 %. No obstante, se ha avanzado en generar información de campo y estas estimaciones de FE se mejorarán a la par del avance planeado del INFFS al completarse todos los paneles y sus subsecuentes mediciones.

Los dos principales insumos para la estimación de emisiones (DA y FE) requieren insumos técnicos adicionales y mayores esfuerzos en la obtención de datos de campo, que permitan incluir otras actividades REDD+, nuevos reservorios de carbono y los gases no CO₂, ya sea para tener una mayor especificidad en la representación de las categorías

de uso de la tierra o en sus factores de emisión para ecosistemas y coberturas vegetales específicas para cuantificar mejor los cambios de las tierras forestales debido a una actividad REDD+. Por lo cual este análisis de exactitud seguirá siendo una guía de buenas prácticas para conocer el nivel al cual representamos las actividades REDD+ y los resultados que obtenemos de su implementación.

6. AVANCES Y ÁREAS DE MEJORA GRADUAL

Con el NREF que se presenta por segunda vez, es importante destacar el progreso que ha tenido el Perú en el fortalecimiento de la capacidad instalada en el MINAM con su DGCCD y el Midagri con Serfor, como instituciones encargadas de liderar la preparación e implementación de REDD+. Para lograrlo ha sido esencial el trabajo constante del Programa de las Naciones Unidas de ONU-REDD+ a través de su apoyo técnico de FAO. Lo cual ha sido clave en los avances técnicos y metodológicos que se realizaron para el presente NREF y avances que están en marcha para incluir otras actividades REDD+ relacionadas con los procesos de desarrollos metodológicos para la actividad de degradación. Estos avances y sus áreas de mejora general se mencionan a continuación:

6.1. Datos de actividad

Como parte del apoyo mencionado, un avance importante en el presente NREF fue trabajar a partir del muestreo sistemático para la generación de datos de actividad por deforestación, tomando como soporte la plataforma CEO. Este enfoque está alineado con las orientaciones de la CMNUCC y apoya a diferentes procesos en marcha en el Perú (p.ej., anidación, descripción de la dinámica de cambio de uso de suelo, monitoreo del INFFS, entre otros). Se espera que el muestreo sistemático se complemente con la información espacial (conteo de píxeles) generada por el PNCBMCC, buscando su completa articulación en términos de reporte y gestión del territorio.

Es importante mencionar que la información reportada en el NREF se encuentra a nivel 1 (categorías IPCC), sin embargo, se determinaron clases o categorías de cobertura/uso de la tierra a mayor detalle (nivel 2) para el análisis en CEO, las cuales tienen como objetivo ser utilizadas por el país en el cumplimiento del manejo y gestión de las políticas públicas en el sector forestal. Estas clases no tienen aún un nivel de certidumbre aceptable en su interpretación visual y se encuentra en desarrollo de mejora, con los nuevos insumos de superficies de cultivos y zonas ganaderas espacialmente explícitas, que se encuentran en desarrollo por el Midagri (ver sección 5.2. Completitud).

Áreas de mejora

- Implementar su uso en el país para los reportes a la CMNUCC en sus Comunicaciones Nacionales, INGEI, BUR y los anexos técnicos REDD+ para pago por resultados, como para la gestión de los bosques.
- El proyecto Perú en la plataforma CEO incorpora toda la fuente de información

satelital libre y actualizada disponible a nivel global, y se espera incorporar imágenes PERUSAT-1, Pleiades HR y TerraSAR-X, para asegurar un sistema de monitoreo eficiente que satisfaga la demanda de diferentes usuarios.

- Mejorar la información y la gestión de la información capturada a través de la interpretación visual de imágenes satelitales, desde el CEO en cuanto al uso no forestal de la tierra (tierras agrícolas, pastizales y asentamientos humanos).
- Impulsar la divulgación de resultados obtenidos y fortalecer capacidades en colaboración con representantes de la academia.
- Incluir en el análisis las actividades REDD+ de degradación, manejo forestal sostenible, mejoras en las reservas de carbono y conservación de las reservas de carbono.
- Integrar los insumos, métodos y resultados usados en datos de actividad a los reportes para la CMNUCC y así asegurar consistencia futura para la implementación REDD+.
- Incluir en la malla de muestreo sistemático estratificado en CEO las regiones y ecozonas de Costa y Sierra para un adecuado reporte y monitoreo de sus bosques.

6.2. Factores de Emisión

Para estimar los factores de emisión fueron necesarios los datos del INFFS (actualmente en progreso) y de parcelas permanentes agrupadas en la plataforma FP. La información de ambas fuentes fue integrada en una base de datos y sometida a un proceso de control de calidad. En particular, la depuración de las bases de datos del INFFS incluyó las cuatro ecozonas de la Amazonía peruana y tuvo como objetivo analizar la incertidumbre asociada a la toma de datos que permitan mejorar el análisis y por ende los reportes nacionales del INFFS.

A partir de una serie de rutinas en R, se calculó los contenidos de carbono a nivel de individuo empleando modelos alométricos (con menos sesgo y actualizados con respecto al NREF 2015) y ajustando el cálculo a sus parámetros. Estos procesos están documentados y son aplicables para todas las ecozonas a partir de las bases de datos del INFFS, lo que permitirá el análisis de datos periódicos con los métodos empleados en el presente NREF.

A pesar de no contar con la muestra completa del INFFS y al ser complementado con otras fuentes de datos (FP), los factores de emisión no reportan incertidumbres muy altas. Esto nos indica que conforme avance la colecta del INFFS, su estimación de contenidos de carbono será más robusta a nivel de ecoregión y se podrá llegar a un mejor nivel de detalle en cuanto a categorías de bosques más específicas y usos de la tierra; esto permitirá que se estimen los contenidos de carbono antes y después de los procesos de cambio en sus tierras forestales.

Como parte de avances en el INFFS se está incorporando cada vez más información de colecta de depósitos del contenido de carbono en la madera muerta yacente y de la hojarasca, que mejorarán las estimaciones. Asimismo, el Perú también ha tenido una colaboración oficial con la FAO e instituciones de investigación científica como la

Universidad de Leeds, Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana, Cifor y la Universidad de Saint Andrews en la cuantificación de las reservas de carbono en los suelos orgánicos de sus turberas y sus emisiones por procesos de degradación y deforestación.

Áreas de mejora

- Evaluación de parcelas en campo del INFFS para incrementar el tamaño muestral en los biomas de interés.
- Recopilación de datos de inventarios forestales complementarios para estimar los factores de emisión en Costa y Sierra.
- Desarrollo de los estimadores de razón del INFFS para los biomas Costa y Sierra.
- Modelamiento espacial de las densidades de carbono a nivel nacional que permitan discriminar los factores de emisión por deforestación y degradación forestal.
- Incluir las tasas de incremento de los bosques.
- Contabilizar y propagar otras fuentes de incertidumbres como los provenientes de los errores de medición y modelos.
- Aumentar la automatización y sistematización de la compilación de emisiones, controles de calidad y elaboración de productos intermedios.
- Vincular los factores de emisión por defecto del IPCC (2006) para turberas amazónicas con los datos de actividad generados para el NREF 2021 en la malla sistemática.
- Estimar los contenidos de carbono y factores de emisión en turberas en la Amazonía, andinas y costeras del Perú a partir de datos colectados en el INFFS.
- A partir de un mapa de carbono, conocer las emisiones por degradación y deforestación en turberas amazónicas, andinas y costeras.
- Evaluar el uso de mapas globales de turberas, a partir de información de campo representativa del territorio peruano.
- Evaluar el uso de datos de profundidad de turba, para la estimación de factores de emisión por descomposición de turba, debidas a la degradación y deforestación.
- Realizar estudios para estimar a nivel nacional los contenidos de carbono de los principales sistemas agropecuarios en las tierras agrícolas y pastizales.

6.3. Degradación forestal

Como parte de los esfuerzos del país bajo el enfoque gradual de mejora continua, se viene evaluando diferentes métodos para cuantificar las emisiones por degradación forestal, identificada como una actividad que puede contribuir de manera significativa a las emisiones totales del sector forestal, de modo tal que se pueda diseñar y focalizar políticas públicas conducentes a minimizar los procesos de degradación en la Amazonía peruana. Asimismo, en la evaluación técnica del NREF 2015 (FCCC/TARL/2016/PER) se menciona la importancia de su inclusión en los procesos de monitoreo del país.

En el Perú se desarrolla el “Enfoque mixto” para la cuantificación de la degradación, el cual consiste inicialmente en detectar áreas de bosque con “probabilidad de estar degradadas” (**método indirecto**), para después analizar estas áreas, a partir de un análisis más riguroso y detallado con series de tiempo (**método directo**). Para conocer el impacto de la degradación sobre los bosques amazónicos, se plantea identificar las actividades que conllevan a la degradación y cuantificarlas, tomando en consideración su inclusión cuando estas sean significativas (al menos el 3 % de las emisiones anuales totales del sector forestal en la Amazonía).

El desarrollo de esta metodología contó con el apoyo del programa ONU REDD+ a través de la FAO. Los avances correspondientes se detallan a continuación.

Método Indirecto⁵⁸: El enfoque indirecto ha determinado cambios en la biomasa por encima del suelo en diferentes categorías de bosque mediante un análisis de fragmentación de los bosques (Análisis Morfológico de Patrones Espaciales) en la plataforma de código abierto Sepal, lo que permite el primer diagnóstico del estado los bosques. Se obtuvo como resultado principal que los bosques intactos entre el año 2000 y 2005 tuvieron una transición de 1 696 447 ha hacia clases degradadas en 767 911 ha en la Amazonía.

Método directo: Se han evaluado diferentes metodologías que permitían identificar las perturbaciones en los bosques a partir de sensores remotos, haciendo diferentes pruebas en áreas piloto (Loreto, Ucayali, San Martín y Madre de Dios). Pruebas preliminares con diferentes algoritmos especializados en análisis de series de tiempo, sugieren que el algoritmo de Detección Continua de Degradación (Coded, por sus siglas en inglés) se ajusta mejor a las dinámicas de los bosques en las diferentes regiones. Se viene trabajando en análisis de resultados preliminares en las demás regiones de la Amazonía. Con los resultados de Coded, se plantea desarrollar un enfoque metodológico que permita integrar las actividades analizadas de degradación forestal y evitar la doble contabilidad. De esta manera, será posible identificar si la degradación es una fuente de emisión significativa en el sector forestal, qué actividades de degradación están generando emisiones de GEI significativas y qué sistemas de medición son apropiados para su monitoreo y control.

Áreas de mejora

- Realizar trabajo de campo para la obtención de firmas espectrales que permitan incorporarlas en índices de vegetación con demostrada capacidad para detectar perturbación en la vegetación.
- Fortalecer las capacidades en el equipo técnico y mejorar la eficiencia a partir de automatizar la generación de información espacial, bases de datos, integración de subprocesos y aplicación del control de calidad.

⁵⁸ Disponible en:

<https://drive.google.com/drive/folders/1ZXBoUsgOGhvXLzMIJziN2d5oVLirALcA?usp=sharing>

Tala: Esta actividad se encuentra en fases tempranas de desarrollo y en un primer momento se ha trabajado en la detección de caminos forestales, cuyos resultados deben integrarse con la metodología del enfoque directo para determinar áreas que han sido intervenidas por extracción de madera. Se exploraron métodos basados en la teledetección, bajo el supuesto de que la red de caminos permite la movilización de volúmenes de madera. Actualmente se evalúa la dinámica alrededor de los caminos forestales, para explicar el efecto que puede tener sobre los bosques aledaños.

Áreas de mejora

- Sistematizar la información geográfica y tabular relacionada con la actividad directa de la gestión de los bosques mediante métodos de ordenación forestal y el flujo de los volúmenes de madera en toda la cadena de producción hasta el consumidor final.
- Concluir el diseño para abordar la cuantificación de la degradación proveniente de la tala de bosques.

Consumo de leña y carbón vegetal: Para comprender mejor la relación entre la degradación forestal y el consumo de leña y carbón vegetal se ha planteado la metodología de Modelado de Escenarios de Ahorro de Combustible de Madera (MoFuSS), un modelo dinámico de paisaje, para evaluar si la demanda actual de leña supera la oferta de biomasa que ofrecen los bosques en cantidad y tasas de regeneración de biomasa, simulando cambios en la cobertura del suelo que se producirían si la demanda actual continúa sin disminuir (Ghilardi *et al.* 2016).

Se logró identificar los departamentos con mayor consumo de leña y carbón vegetal al 2017 y se calcularon emisiones por consumo de leña y carbón vegetal en todos los departamentos que conforman el bioma amazónico, los cuales son bajos y no significativos a nivel del bioma amazónico, pero con importancia regional como es el caso del departamento de Loreto.

Áreas de mejora

- Se plantea realizar el modelamiento MoFuSS para las regiones Costa y Sierra a fin de cuantificar las emisiones por consumo de leña y carbón vegetal a nivel nacional.
- Levantar información de campo que permita actualizar la información en las regiones y validar la salida del modelado de consumo.



Quema de biomasa y áreas quemadas: Se identificó y cuantificó las cicatrices de fuego que representan áreas quemadas en la Amazonía peruana, basado en la generación de mosaicos compuestos semestrales y anuales, junto a la aplicación del algoritmo dNBR y AFRI, basado en el análisis del prefuego y postfuego, en el periodo 2001 al 2018.

Se encontró un total de 2 177 909,28 ha de áreas quemadas acumuladas en el periodo de referencia para todo el bioma amazónico. Estas áreas emitieron un total de 1 051 356,69 Gg de CO_{2eq} (siguiendo los métodos de INGEI) donde no es posible aún discriminar de manera confiable si su origen son quemas agropecuarias o fenómenos vinculados a una deforestación o degradación. También se identificaron las áreas quemadas con supuesta degradación forestal por quemas de agricultura migratoria o incendios, cuando las cicatrices con fuego se presentaban en zonas con permanencias de tierras forestales (TF-TF) en el periodo de tiempo analizado. En ese contexto, se identificaron alrededor de 212 939,08 Gg de CO_{2eq}, las cuales representan a un total de 451 023,93 ha de áreas quemadas para el periodo histórico.

Áreas de mejora

- Analizar las áreas quemadas en función a la dinámica del uso de la tierra usando la malla de muestreo sistemática estratificada, con el objetivo de comprender el proceso vinculado a las áreas quemadas y atribuir su origen.
- Estimar las emisiones no CO₂ u otros gases como N₂O y CH₄ asociados a las áreas quemadas bajo el enfoque del NREF para deforestación y degradación, con la finalidad de evidenciar el aporte a las medidas de mitigación GEI, así como contribuir a las medidas de mitigación de las NDCs en agricultura.

7. ANEXOS

7.1. Anexo 1. Deforestación, pérdida natural y deforestación total en la Amazonía peruana

Deforestación (ha) por ecozona

SAA			
Año	Área	I (%)	EE
2010	36 987,94	40,81	7 701,61
2011	41 616,38	36,84	7 821,48
2012	54 512,15	33,18	9 227,09
2013	53 752,33	33,42	9 164,12
2014	40 150,36	38,01	7 786,34
2015	43 810,61	34,47	7 705,19
2016	50 011,74	32,98	8 415,38
2017	27 622,56	43,77	6 168,27
2018	32 887,86	38,22	6 413,20
2019	48 024,79	31,61	7 745,70

SADA			
Año	Área	I (%)	EE
2010	16 691,30	24,72	2 105,23
2011	14 676,01	22,98	1 720,42
2012	19 119,59	19,04	1 857,41
2013	13 083,12	18,02	1 202,64
2014	8 747,06	22,11	986,50
2015	9 188,53	32,38	1 517,92
2016	17 583,33	19,79	1 775,06
2017	11 007,85	29,78	1 672,61
2018	15 563,72	22,59	1 793,59
2019	12 857,59	37,51	2 460,94

SB			
Año	Área	I (%)	EE
2010	62 566,81	31,25	9975,44
2011	67 312,94	30,08	10 329,29
2012	59 479,32	32,26	9788,38
2013	92 800,43	25,94	12 281,49
2014	73 789,27	28,69	10 802,74
2015	58 164,49	32,55	9658,51
2016	81 015,35	27,86	11 514,61
2017	66 354,74	29,16	9873,61
2018	58 007,80	29,62	8767,24
2019	87 603,02	25,04	11 192,94

ZH			
Año	Área	I (%)	EE
2010	5 726,90	65,24	1 906,11
2011	5 137,65	41,66	1 092,12
2012	4 345,78	28,02	621,36
2013	4 230,21	29,53	637,44
2014	2 152,70	38,22	419,82
2015	4 253,95	88,78	1 926,95
2016	3 571,95	31,85	580,43
2017	2 254,89	31,99	368,03
2018	3 430,22	36,28	634,93
2019	5 114,58	74,39	1 941,16

Deforestación total (ha) por ecozona

SAA			
Año	Área	I (%)	EE
2010	38 239,00	39,99	7 802,56
2011	45 175,60	35,16	8 103,99
2012	55 559,57	32,76	9 286,35
2013	54 618,45	33,03	9 204,96
2014	40 150,36	38,01	7 786,34
2015	43 810,61	34,47	7 705,19
2016	50 011,74	32,98	8 415,38
2017	28 289,10	42,99	6 204,18
2018	33 173,52	37,93	6 419,56
2019	49 262,26	30,96	7 781,75

SADA			
Año	Área	I (%)	EE
2010	19 228,98	23,18	2 274,46
2011	16 851,67	22,84	1 963,77
2012	21 101,30	18,27	1 966,70
2013	15 506,89	18,27	1 445,71
2014	12 062,41	29,79	1 833,20
2015	11 952,73	28,91	1 762,92
2016	22 248,31	17,87	2 028,18
2017	13 574,36	26,15	1 811,04
2018	19 737,15	20,70	2 084,94
2019	16 900,01	30,87	2 661,33

SB			
Año	Área	I (%)	EE
2010	68 945,28	29,61	10 415,55
2011	71 463,02	28,72	10 471,19
2012	62 088,92	31,18	9 878,64
2013	107 504,35	24,03	13 177,61
2014	74 558,54	28,44	10 819,81
2015	59 902,08	31,82	9 725,87
2016	92 754,12	25,76	12 189,70
2017	75 128,62	27,50	10 539,99
2018	63 528,75	27,95	9 058,57
2019	96 624,15	23,70	3 346,16

ZH			
Año	Área	I (%)	EE
2010	1 707,20	81,48	709,67
2011	4 741,92	49,90	1 207,26
2012	1 219,72	90,12	560,81
2013	2 604,41	57,86	768,82
2014	4 179,61	125,90	2 684,71
2015	431,42	72,25	159,03
2016	2 627,35	60,25	807,62
2017	1 662,94	74,39	631,15
2018	1 697,55	73,69	638,25
2019	7 674,12	79,08	3 096,38

Año	Total general			Total acumulado
	Área	I (%)	EE	
2010	133 881,37	19,57	13 366,93	133 881,37
2011	143 397,07	18,43	13 484,36	277 278,44
2012	144 396,58	18,63	13 725,70	421 675,02
2013	184 673,80	17,16	16 170,59	606 348,82
2014	133 103,62	20,21	13 727,35	739 452,44
2015	120 381,40	20,65	12 681,06	859 833,84
2016	171 439,63	17,13	14 984,70	1 031 273,47
2017	120 913,31	20,08	12 385,35	1 152 186,78
2018	121 587,60	18,27	11 332,54	1 273 774,38
2019	175 710,47	16,45	14 747,17	1 449 484,85

7.2. Anexo 2. Superficie anual de pérdida natural por ecozona

Superficie de transición (ha) Tierras Forestales a Humedales (2010-2019)

SAA			
Año	Área	I (%)	EE
2010	0	0	0
2011	3 559,22	116,80	2 121,08
2012	1 047,42	196,00	1 047,42
2013	866,12	196,00	866,12
2014	0	0	0
2015	0	0	0
2016	0	0	0
2017	0	0	0
2018	285,66	196,00	285,66
2019	372,41	196,00	372,41

SADA			
Año	Área	I (%)	EE
2010	32,53	196,00	32,53
2011	6,51	196,00	6,51
2012	354,64	196,00	354,99
2013	712,18	159,90	580,99
2014	825,28	191,42	806,00
2015	588,55	138,59	416,17
2016	426,65	118,85	258,71
2017	468,29	163,09	389,67
2018	32,53	196,00	32,53
2019	476,38	126,66	307,84

SB			
Año	Área	U (%)	EE
2010	5 418,20	105,55	2 917,84
2011	3 185,25	96,65	1 570,61
2012	1 553,31	102,47	812,10
2013	14 703,92	63,67	4 776,43
2014	769,27	154,82	607,66
2015	1 737,59	128,90	1 142,69
2016	11 738,77	66,79	4 000,32
2017	7 713,79	91,74	3 610,68
2018	5 520,95	80,90	2 278,87
2019	8 444,21	76,83	3 310,12

ZH			
Año	Área	U (%)	EE
2010	1 707,2	81,5	709,7
2011	4 741,9	49,9	1 207,3
2012	1 219,7	90,1	560,8
2013	2 604,4	57,9	768,8
2014	4 179,6	125,9	2 684,7
2015	431,4	72,2	159,0
2016	2 627,4	60,2	807,6
2017	1 662,9	74,4	631,1
2018	1 697,6	73,7	638,3
2019	7 674,1	79,1	3 096,4

Total general				% de PN
Año	Área	U (%)	EE	
2010	7 157,93	82,23	3 003,07	60,11
2011	11 492,90	49,50	2 902,30	78,43
2012	4 175,09	69,58	1 482,18	60,16
2013	18 886,63	51,36	4 949,05	90,77
2014	5 774,16	97,36	2 868,20	69,87
2015	2 757,56	87,17	1 226,47	55,55
2016	14 792,77	54,18	4 089,22	76,82
2017	9 845,02	73,38	3 686,09	72,00
2018	7 536,69	62,00	2 383,96	64,43
2019	16 967,12	52,66	4 558,28	76,74

Superficie de transición (ha) Tierras Forestales a Otras Tierras (2010-2019)

SAA			
Año	Área	I (%)	EE
2010	1 251,06	196,00	1 251,06
2011	0	0	0
2012	0	0	0
2013	0	0	0
2014	0	0	0
2015	0	0	0
2016	0	0	0
2017	666,54	196,00	666,54
2018	0	0	0
2019	865,06	147,03	648,94

SADA			
Año	Área	I (%)	EE
2010	2 505,15	67,31	860,30
2011	2 169,15	85,55	946,84
2012	1 627,07	65,12	540,54
2013	1 711,59	63,37	553,36
2014	2 490,07	103,76	1 318,26
2015	2 175,65	71,54	794,11
2016	4 238,33	43,77	946,44
2017	2 098,22	53,70	574,83
2018	4 140,90	50,29	1 062,51
2019	3 566,04	53,05	965,24

SB			
Año	Área	I (%)	EE
2010	960,27	138,52	678,66
2011	964,83	141,44	696,26
2012	1 056,29	196,00	1 056,29
2013	0	0	0
2014	0	0	0
2015	0	0	0
2016	0	0	0
2017	1 060,09	139,12	752,43
2018	0	0	0
2019	576,92	166,40	489,79

ZH			
Año	Área	I (%)	EE
2010	34,01	196,00	34,01
2011	27,21	196,00	27,21
2012	81,29	117,12	48,58
2013	209,49	131,88	140,96
2014	0	0	0
2015	30,61	139,42	21,77
2016	226,16	152,56	176,03
2017	3,40	196,00	3,40
2018	20,41	196,00	20,41
2019	135	114,64	79,16

Total general				% de PN
Año	Área	I (%)	EE	
2010	4 750,49	68,63	1 663,43	39,89
2011	3 161,19	72,89	1 175,60	21,57
2012	2 764,65	84,19	1 187,56	39,84
2013	1 921,08	58,26	571,03	9,23
2014	2 490,07	103,76	1 318,26	30,13
2015	2 206,26	70,57	794,40	44,45
2016	4 464,49	42,26	962,67	23,18
2017	3 828,25	59,29	1 157,96	28,00
2018	4 161,31	50,05	1 062,71	35,57
2019	5 143,37	48,19	1 264,50	23,26

7.3. Anexo 3. Superficie anual de deforestación antrópica por ecozona y total

Superficie de transición (ha) Tierras Forestales a Tierras Agrícolas (2010-2019)

SAA			
Año	Área	I (%)	EE
2010	32 456,10	43,81	7 254,23
2011	38 171,72	39,44	7 681,73
2012	50 408,54	34,76	8 939,70
2013	42 961,85	37,88	8 302,86
2014	29 717,22	42,39	6 427,30
2015	41 310,57	36,22	7 634,46
2016	47 622,10	34,19	8 306,74
2017	23 313,30	49,81	5 924,32
2018	29 260,35	41,87	6 249,97
2019	43 924,58	33,80	7 575,01

SADA			
Año	Área	I (%)	EE
2010	14 927,93	27,03	2 058,92
2011	13 443,73	24,47	1 678,31
2012	15 081,03	22,22	1 709,91
2013	11 976,95	19,05	1 164,07
2014	7 458,70	24,20	920,76
2015	8 309,64	35,01	1 484,35
2016	14 352,00	21,06	1 542,07
2017	8 978,20	22,36	1 024,05
2018	13 439,53	24,86	1 704,73
2019	11 670,65	40,77	2 427,54

SB			
Año	Área	I (%)	EE
2010	39 757,26	39,79	8 071,94
2011	34 043,98	41,69	7 241,53
2012	38 246,80	41,53	8 103,23
2013	59 119,53	32,70	9 864,31
2014	43 526,82	36,77	8 166,65
2015	32 979,68	41,83	7 038,08
2016	45 962,27	36,63	8 590,26
2017	44 908,13	35,88	8 221,78
2018	38 676,74	34,88	6 882,07
2019	46 230,43	33,39	7 874,54

ZH			
Año	Área	I (%)	EE
2010	5 469,10	68,20	1 902,93
2011	4 644,35	45,26	1 072,36
2012	3 816,58	30,98	603,25
2013	3 493,89	33,15	591,01
2014	1 887,75	42,23	406,76
2015	3 305,59	102,62	1 730,67
2016	2 963,84	37,09	560,83
2017	1 565,50	40,30	321,91
2018	2 723,69	33,63	467,34
2019	4 198,51	86,17	1 845,92

Total general				% de DA
Año	Área	I (%)	EE	
2010	92 610,39	23,72	11 208,94	75,93
2011	90 303,78	23,32	10 743,16	70,14
2012	107 552,95	22,23	12 201,16	78,24
2013	117 552,22	21,61	12 959,42	71,74
2014	82 590,49	24,78	10 441,15	66,16
2015	85 905,48	24,26	10 630,99	74,43
2016	110 900,21	21,32	12 061,80	72,87
2017	78 765,13	25,36	10 190,56	73,45
2018	84 100,31	22,05	9 463,06	76,53
2019	106 024,17	20,97	11 344,14	69,03

Superficie de transición (ha) Tierras Forestales a Praderas (2010-2019)

SAA			
Año	Área	I (%)	EE
2010	4 436,62	114,20	2 584,93
2011	3 254,22	87,91	1 459,55
2012	4 103,61	109,14	2 284,96
2013	8 682,44	80,59	3 569,88
2014	10 433,14	82,57	4 395,09
2015	2 114,35	93,19	1 005,31
2016	1 817,30	140,20	1 299,92
2017	3 625,89	87,12	1 611,66
2018	3 627,51	77,68	1 437,71
2019	3 433,67	84,10	1 473,35

SADA			
Año	Área	I (%)	EE
2010	1 652,75	51,74	436,29
2011	1 037,07	68,46	362,21
2012	3 635,80	37,91	703,32
2013	1 008,57	58,23	299,64
2014	774,32	64,64	255,37
2015	370,89	99,43	188,15
2016	2 816,23	59,40	853,51
2017	514,04	85,34	223,82
2018	1 323,38	56,90	384,16
2019	478,82	82,16	200,72

SB			
Año	Área	I (%)	EE
2010	20 215,31	51,81	5 343,45
2011	23 083,22	49,62	5 843,69
2012	20 752,39	51,76	5 479,99
2013	26 286,84	48,29	6 476,60
2014	24 018,06	50,94	6 242,53
2015	24 221,51	53,33	6 590,64
2016	29 384,17	46,12	6 914,28
2017	17 411,97	53,92	4 790,16
2018	14 520,62	62,58	4 636,12
2019	32 417,03	41,81	6 914,58

ZH			
Año	Área	I (%)	EE
2010	206,78	94,01	99,18
2011	294,35	110,01	165,21
2012	383,29	69,97	136,83
2013	664,90	69,43	235,54
2014	142,85	123,96	90,35
2015	893,94	185,64	846,69
2016	394,53	59,04	118,84
2017	547,58	51,98	145,22
2018	618,10	135,49	427,29
2019	747,22	153,90	586,70

Total general				% de DA
Año	Área	I (%)	EE	
2010	26 511,46	44,01	5 952,69	21,74
2011	27 668,86	42,76	6 036,35	21,49
2012	28 875,09	40,59	5 980,36	21,01
2013	36 642,75	39,61	7 405,12	22,36
2014	35 368,37	42,33	7 639,33	28,33
2015	27 600,69	47,74	6 723,06	23,91
2016	34 412,23	40,37	7 087,99	22,61
2017	22 099,48	44,89	5 061,05	20,61
2018	20 089,61	47,69	4 887,82	18,28
2019	37 076,74	37,52	7 096,95	24,14

Superficie de transición (ha) Tierras Forestales a Asentamientos Humanos (2010-2019)

SAA			
Año	Área	I (%)	EE
2010	95,22	196,00	95,22
2011	190,44	196,00	190,44
2012	0	0	0
2013	2 108,04	140,99	1 516,43
2014	0	0	0
2015	385,69	138,60	272,75
2016	572,34	122,03	356,35
2017	683,37	170,29	593,73
2018	0	0	0
2019	666,54	196,00	666,54

SADA			
Año	Área	I (%)	EE
2010	110,62	88,49	49,94
2011	195,21	109,67	109,23
2012	402,76	86,36	177,47
2013	97,60	77,22	38,45
2014	514,04	93,53	245,30
2015	508,00	98,67	255,74
2016	415,10	99,48	210,69
2017	1 515,61	168,56	1 303,40
2018	800,81	98,91	404,11
2019	708,12	97,06	350,66

SB			
Año	Área	I (%)	EE
2010	2 594,24	181,96	2 408,46
2011	10 185,74	86,28	4 483,96
2012	480,13	141,27	346,06
2013	7 394,06	90,22	3 403,53
2014	6 244,39	104,27	3 322,03
2015	963,30	114,32	561,86
2016	5 668,91	114,60	3 314,59
2017	4 034,64	128,02	2 635,31
2018	4 810,44	115,30	2 829,85
2019	8 955,56	86,06	3 932,20

ZH			
Año	Área	I (%)	EE
2010	51,02	183,39	47,74
2011	198,95	122,54	124,38
2012	145,91	78,95	58,78
2013	71,42	108,39	39,50
2014	122,10	82,40	51,33
2015	54,42	116,17	32,25
2016	213,58	83,30	90,77
2017	141,81	143,19	103,60
2018	88,43	102,76	46,36
2019	168,85	149,05	128,40

Total general				% de DA
Año	Área	I (%)	EE	
2010	2 851,10	165,77	2 411,33	2,34
2011	10 770,34	81,73	4 491,05	8,37
2012	1 028,80	74,93	393,33	0,75
2013	9 671,12	75,52	3 726,48	5,90
2014	6 880,53	94,90	3 331,47	5,51
2015	1 911,41	69,28	675,66	1,66
2016	6 869,93	95,34	3 341,57	4,51
2017	6 375,43	92,26	3 001,16	5,95
2018	5 699,68	98,31	2 858,94	5,19
2019	10 499,07	74,78	4 005,73	6,84

7.4. Anexo 4. Densidades de carbono a partir de los datos del INFFS y de la Plataforma ForestPlots.net

Se presentan las estimaciones de carbono por depósito y componente provenientes del INFFS y FP. Se realiza una comparación del tamaño de muestra (n), biomasa (t/ha), contenido de carbono (C t/ha), error estándar (EE) y su incertidumbre (%). Estas estimaciones son el resultado de los valores utilizados para estimar el promedio (media) y su incertidumbre por ecozona a partir del inverso de la varianza.

Densidades de carbono por depósito y componente para la ecozona SAA

Depósito	Componente	Fuente	n	Biomasa (t/ha)	C t/ha	EE	I (%)
Biomasa	Biomasa aérea (árboles vivos)	FP	83	233,30	109,65	5,02	8,97
		INFFS	48	124,98	58,74	5,46	18,22
	Biomasa subterránea (raíces)	FP	83	115,38	54,23	2,20	7,95
		INFFS	48	58,13	27,32	2,35	16,86
Materia orgánica muerta	Madera muerta (árboles y tocones muertos)	FP	83	3,85	1,81	0,39	42,23
		INFFS	48	8,64	4,06	0,58	28,00
	Madera muerta (raíces)	FP	83	1,87	0,88	0,18	40,09
		INFFS	48	4,21	1,98	0,26	25,74

Densidades de carbono por depósito y componente para la ecozona SADA

Depósito	Componente	Fuente	n	Biomasa (t/ha)	C t/ha	EE	I (%)
Biomasa	Biomasa aérea (árboles vivos)	FP	22	243,74	114,56	8,13	13,91
		INFFS	11	136,02	63,93	7,96	24,40
	Biomasa subterránea (raíces)	FP	22	118,98	55,92	3,74	13,11
		INFFS	11	63,49	29,84	3,57	23,45
Materia orgánica muerta	Madera muerta (árboles y tocones muertos)	FP	22	23,49	11,04	2,1	37,28
		INFFS	11	8,30	3,9	1,18	59,30
	Madera muerta (raíces)	FP	22	10,60	4,98	0,88	34,63
		INFFS	11	3,98	1,87	0,5	52,41

Densidades de carbono por depósito y componente para la ecozona SB

Depósito	Componente	Fuente	n	Biomasa (t/ha)	C t/ha	EE	I (%)
Biomasa	Biomasa aérea (árboles vivos)	FP	319	298,32	140,21	4,06	5,68
		INFFS	221	229,13	107,69	2,47	4,50
	Biomasa subterránea (raíces)	FP	319	132,34	62,2	1,58	4,98
		INFFS	221	104,72	49,22	1,07	4,26
Materia orgánica muerta	Madera muerta (árboles y tocones muertos)	FP	319	5,87	2,76	0,62	44,03
		INFFS	221	10,55	4,96	0,32	12,65
	Madera muerta (raíces)	FP	319	2,49	1,17	0,25	41,88
		INFFS	221	4,89	2,3	0,14	11,93

Densidades de carbono por depósito y componente para la ZH

Depósito	Componente	Fuente	n	Biomasa (t/ha)	C t/ha	EE	I (%)
Biomasa	Biomasa aérea (árboles vivos)	FP	109	167,81	78,87	2,91	7,23
		INFFS	32	166,51	78,26	4,76	11,92
	Biomasa subterránea (raíces)	FP	109	73,47	34,53	1,51	8,57
		INFFS	32	72,85	34,24	2,12	12,14
Materia orgánica muerta	Madera muerta (árboles y tocones muertos)	FP	109	3,13	1,47	0,39	52,00
		INFFS	32	7,13	3,35	0,49	28,67
	Madera muerta (raíces)	FP	109	1,51	0,71	0,17	46,93
		INFFS	32	3,45	1,62	0,23	27,83

7.5. Anexo 5. Información de consulta para la reconstrucción del NREF del Perú

Insumo	Disponible en	Ítem	Tipo de información asociada	Disponibilidad (enlace de acceso a la información)	
I. Datos de Actividad	https://drive.google.com/drive/folders/1qtJlajHrIXiSPpeMellznl8ePldUWrF?usp=sharing	A. Protocolo	Protocolo de Clasificación de usos de la tierra en <i>Collect Earth on Line</i> para el NREF del Perú	https://drive.google.com/drive/folders/16B6NrOdNUOCnKcbnAPNVOySgJoaT1KT7?usp=sharing	
		B. Base de datos	INPUTS CEO NREF	<ul style="list-style-type: none"> Muestras por ecozonas Intensificación de la muestra por ecozona Límites políticos Mapa ecozonas Mapa ecosistemas Mapa Bosque y No bosque Mapa Pérdida de Bosque 2001-2019 	https://drive.google.com/drive/folders/1mBhmBqt_IHmrQK-1TT8LwLvQyC2oKDKO?usp=sharing
			Formularios por ecozona	https://drive.google.com/drive/folders/1uUVaxc9rJjHzHfdUxaQfwYbdSt7qivzb?usp=sharing	
			Códigos CEO por ecozonas	https://drive.google.com/drive/folders/1hycmjStw5GAzPOxeKrmDjH8IHixzDHI4?usp=sharing	
			Formularios por categorías IPCC	https://drive.google.com/drive/folders/1g12MfMhUsLrh6I_pQrjptidpZs6_TNhP?usp=sharing	
			Códigos CEO por deforestación	https://drive.google.com/drive/folders/1PXX6WVAniYuBHdQpe5bm1wO7FkFag3NB?usp=sharing	
			Resultados CEO por deforestación	https://drive.google.com/drive/folders/1dOzLS-NLbZOidL4L_RUApYPx2HSjVlxt?usp=sharing	

			<p>Código selección aleatoria clase buffer CEO</p>	<p>https://drive.google.com/file/d/1ivNQcAcAncixjkeE7OeV-_OT6RnapqH/view?usp=sharing</p>
			<p>Control de calidad muestras CEO</p>	<p>https://docs.google.com/spreadsheets/d/1HbKjFemwzFsGkMUuJml4zpqIA_g1OyLG/edit?usp=sharing&oid=109273810943592394969&rtpof=true&sd=true</p>
			<p>Tamaño de muestra CEO</p>	<p>https://docs.google.com/spreadsheets/d/1Aps3jkTFp2c1WJTvG1W3litMEuq_c7z4/edit?usp=sharing&oid=109273810943592394969&rtpof=true&sd=true</p>
		<p>C. Información complementaria</p>	<p>Almacenamiento de artículos científicos, memorias descriptivas y otros utilizados en la construcción del Proyecto Perú.</p>	<p>https://drive.google.com/drive/folders/1vYicOMyVlclOF0e5BdgXYon3xCzS1CQ1?usp=sharing</p>
<p>II. Factores de emisión</p>	<p>https://drive.google.com/drive/folders/16n_cOrsuiTHTnleEKeO5f-KdmVhYFLg?usp=sharing</p>	<p>A. Protocolo</p>	<p>Protocolo para la wstimación de los factores de emisión en la Amazonía.</p>	<p>https://drive.google.com/drive/folders/1805h2aGtJzucsR1PRjx9XE-hlXl-AJ76?usp=sharing</p>
		<p>B. Bases de datos</p>	<p>INPUTS FE NREF</p> <ul style="list-style-type: none"> • Distribución de parcelas • CWD • WC • Factor de Emisión 25 • Factor de Emisión ajustado 	<p>https://drive.google.com/drive/folders/1YPEubsc7VvJ7-xeeQB1eaTtLe6w_hkYT?usp=sharing</p>
			<p>CODIGOS FE</p> <ul style="list-style-type: none"> • FP Depuración de la base de datos de ForestPlots.net • FP Estimación de la biomasa aérea y raíces • Estimación de la biomasa aérea y de raíces - INFFS • Expansión de la biomasa - INFFS • Identificación de errores en la base de datos del INFFS 	<p>https://drive.google.com/drive/folders/1dnMSTUeaNKBbWEKA5SJZmIL40b2IhLID?usp=sharing</p>

			<p>DISTRIBUCIÓN DE PARCELAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Distribución de parcelas INFFS coordenadas • Distribución parcelas variables • Mapa de distribución parcelas (mxd) 	<p>https://drive.google.com/drive/folders/1kmDzi1cF1f0leiYAcvZjd1tklc6YdyIQ?usp=sharing</p>
			Factores de emisión por ecozona-NREF	<p>https://docs.google.com/spreadsheets/d/1kz35aZ84jWAIYOVKZjH-QiFdVy2bnJDn/edit?usp=sharing&oid=109273810943592394969&rtpof=true&sd=true</p>
			Cálculo de carbono e incertidumbre - INFFS	<p>https://drive.google.com/file/d/1ceA3PalmpsoOLrA5oVynUP9k1nbJMsOA/view?usp=sharing</p>
			Depuración de base de datos - INFFS	<p>https://drive.google.com/file/d/139r2uw-JZdlxUh4_NdirXU5bb9VVce2B/view?usp=sharing</p>
		C. Información complementaria	Almacenamiento de artículos científicos, memorias descriptivas y otros utilizados en la construcción de los Factores de Emisión	<p>https://drive.google.com/drive/folders/1v4HZ_IvAnTW7zG5vdOw5WTDLdTObTE9X?usp=sharing</p>
III. Emisiones históricas	<p>https://drive.google.com/drive/folders/185yNQ7piwIz-hyZwa43a3UpepRyqe3ma?usp=sharing</p>		Emisiones totales históricas para el periodo 2010-2019 (Excel)	<p>https://docs.google.com/spreadsheets/d/1XkSxQExtlCBcnbYunKaGHMg7noAgoFYO/edit?usp=sharing&oid=109273810943592394969&rtpof=true&sd=true</p>

8. LITERATURA CITADA

- Arévalo, P., Woodcock, C.E., Olofsson, P., 2019. *Spatial representation of the likelihood of errors in maps of land change*. Remote Sens. Environ in review. Retrieved from. https://drive.google.com/drive/folders/150ljCtwN0F-kHtLAPMxpGkxZ_58OLFEy?usp=sharing
- Asner, G.P.; Knapp, D.E.; Martin, R.E.; Tupayachi, R.; Anderson, C.B.; Mascaro, J.; Sinca, F.; Chadwick, K.D.; Soudan, S.; Higgins, M.; Farfan, W.; Silman, M.R.; Lactayo León, W.A. & Neyra Palomino, A.F. 2014. *La Geografía del Carbono en Alta Resolución del Perú. Observatorio Aéreo Carnegie y el Ministerio del Ambiente del Perú*. 64 p.
- Baker, T., Vicuña, E., Banda, K., del Castillo, D., Farfan, W., Lawson, I., Loja, E., Pallqui, N., Silman, M., Roucoux, K., Phillips, O., Honorio, E., Monteagudo, A., Rojas, R. 2020. *From plots to policy: how to ensure long-term forest plot data supports environmental management in intact tropical forest landscapes*. Plants. People. Planet. 00: 1-9. DOI: 10.1002/ppp3.10154
- Cairns, M.A., Brown, S., Helmer, E.H., Baumgardner, G.A. 1997. *Root biomass allocation in the world's upland forests*. Oecologia 111: 1-11.
- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M.S., Delitti, W.B., Duque, A., Eid, T., Fearnside, P.M., Goodman, R.C., Henry, M., Martínez-Yrizar, A., Mugasha, W.A., Muller-Landau, H.C., Mencuccini, M., Nelson, B.W., Ngomanda, A., Nogueira, E.M., Ortiz-Malavassi, E., Péliissier, R., Ploton, P., Ryan, C.M., Saldarriaga, J.G., Vieilledent, G., and M. Réjou-Méchain. 2014. *Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees*. Glob. Chang. Biol. n/a-n/a. doi:10.1111/gcb.12629
- Cochran, W. G. 1977. *Sampling Techniques (3th Edition)* William G. Cochran. http://archive.org/details/Cochran1977SamplingTechniques_201703
- Coronado, E. and Hergoual'h, K. 2021. *Informe sobre los análisis y resultados de las emisiones de CO₂ debido a la deforestación y degradación de turberas en la Amazonía peruana*, <https://doi.org/10.17528/CIFOR/DATA.00269>, Center for International Forestry Research (CIFOR), V1
- DAR. 2020. *Metaestudio basado en la literatura existente que describe impulsores de deforestación y degradación en la Amazonía peruana*. Documento en preparación, Derecho, Ambiente y Recursos Naturales, Lima.
- Draper, F.C., Roucoux, K.H., Lawson, I.T., Mitchard, E.T., Coronado, E.N.H., Lähteenoja, O., Montenegro, L.T., Sandoval, E.V., Zaráte, R. & Baker, T.R. 2014. *The distribution and amount of carbon in the largest peatland complex in Amazonia*. Environmental Research Letters. 9. 124017.

- FAO y SERFOR. 2017. *Nuestros bosques en números. Primer reporte del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre*. Lima.
- FAO. 2015. *Evaluación de los Recursos Forestales (FRA) Términos y definiciones*. Documento de Trabajo de la Evaluación de los recursos forestales N°180. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 2012.
- FAO. 2017. *Memoria sobre el diseño y ejecución inicial del Inventario Nacional Forestal y Sostenible ante el Cambio Climático*. Lima. Perú.
- Gentry, A. 1988. *Riqueza de especies arbóreas de los bosques amazónicos superiores*. Proc. Natl. Acad.Sci. USA 85: 156–159
- GFOI. 2020. *Integrating remote-sensing and ground-based observations for estimation of emissions and removals of greenhouse gases in forests: Methods and Guidance from the Global Forest Observations Initiative*. Edition 3.0. Group on Earth Observations, Geneva, Switzerland, 2014. https://www.reddcompass.org/documents/184/0/GFOI-MGD-3.1_en.pdf/a3412aa7-878a-4b93-a1b7-3813c902bf27
- Ghilardi, A., Bailis, R., Mas, J.-F., Skutsch, M., Elvir, J. A., Quevedo, A., Vega, E. 2016. *Spatiotemporal modeling of fuelwood environmental impacts: Towards improved accounting for non-renewable biomass*. Environmental Modelling & Software, 82, 241-254. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.04.023>
- GOF-C-GOLD, A. 2016. *Sourcebook of Methods and Procedures for Monitoring and Reporting Anthropogenic Greenhouse Gas Emissions and Removals Associated with Deforestation, Gains and Losses of Carbon Stocks in Forests Remaining Forests, and Forestation. Gains and Losses of Carbon Stocks in Forests Remaining Forests, and Forestation*, 126.
- Goodman, R.C., Phillips. O.L.; del Castillo Torres. D., Freitas. L.; Cortese. S.T., Monteagudo. A., and Baker. T.R. 2013. *Amazon palm biomass and allometry*. Forest Ecology and Management. 310: 994- 1004.
- Guariguata, M.R., Arce J., Ammour T. y Capella J.L., 2017. *Las plantaciones forestales en Perú: Reflexiones, Estatus actual y perspectivas a futuro*. Documento Ocasional 169. Bogor. Indonesia: CIFOR.
- Gumbricht, T., Roman-Cuesta. R. M., Verchot. L., Herold. M., Wittmann. F., Householder. E., Herold. N. & Murdiyarsa. D. (2017). *An expert system model for mapping tropical wetlands and peatlands reveals South America as the largest contributor*. Global change biology. 23. 3581- 3599.
- Hosonuma, N., Herold, M., De Sy, V., De Fries, R. S., Brockhaus, M., Verchot, L., ... & Romijn, E. 2012. *An assessment of deforestation and forest degradation drivers in developing countries*. Environmental Research Letters, 7(4).

- INEI. 2020. *Compendio Estadístico 2020*. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1758/cap13/ind13.htm
- IPCC. 2006. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme* (H. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, & K. Tanabe, Eds.; IGES, Japón). <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol4.html>
- Lopez-Gonzalez, G., Lewis. S.L., Burkitt. M. and Phillips. O.L. 2011. *ForestPlots.net: a web application and research tool to manage and analyse tropical forest plot data*. *Journal of Vegetation Science* 22: 610–613. doi: 10.1111/j.1654-1103.2011.01312.x
- Lopez-Gonzalez, G., Lewis. S.L., Burkitt. M., Baker T.R. and Phillips. O.L. 2009. *ForestPlots.net Database*. www.forestplots.net. Date of extraction [01.10.2020]
- MAG, 2014. *Manual para la interpretación de imágenes de sensores remotos de las principales coberturas y usos de la tierra de Costa Rica*. Ministerio de Agricultura y Riego de Costa Rica. San José. Costa Rica
- McRoberts, R. E., Stehman, S. V., Liknes, G. C., Næsset, E., Sannier, C., & Walters, B. F. 2018. *The effects of imperfect reference data on remote sensing-assisted estimators of land cover class proportions*. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.06.002>
- Menton, M., & Cronkleton, P. 2019. *Migration and forests in the Peruvian Amazon*. Bogor City: Center for International Forestry Research (CIFOR), 25.
- MINAGRI. 2016. *Memoria descriptiva del mapa de Ecozonas. Inventario nacional forestal y de fauna silvestre (INFFS) – Perú*. Lima. Perú. 32 p
- MINAGRI. MINAM y FAO. 2016. *Marco metodológico del inventario nacional forestal y de Fauna Silvestre en el marco del Proyecto Inventario Nacional Forestal y Manejo Forestal*. Lima. Perú.
- MINAM. 2009. *Mapa de Deforestación de la Amazonía Peruana 2000*. Ministerio del Ambiente. Lima. Perú.
- MINAM-MINAGRI, 2014. *Memoria descriptiva del Mapa de bosque/no bosque año 2000 y Mapa de pérdida de los bosques húmedos amazónicos del Perú 2000-2011. Marco Metodológico del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre – Perú INFFS*. Lima. Perú. 62 p.
- MINAM. 2015a. *Estrategia Nacional ante el Cambio Climático*. Ministerio de Ambiente. Lima. Perú

- MINAM. 2015b. *Mapa Nacional de Cobertura Vegetal*. Memoria descriptiva. Ministerio del Ambiente. Lima. Perú.
- MINAM. 2016. *Estrategia Nacional sobre Bosques y Cambio climático*. Decreto supremo N°007-2016- MINAM. Ministerio del Ambiente. Lima. Perú.
- MINAM. 2018. *Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú*. Memoria descriptiva. Ministerio del Ambiente. Lima. Perú.
- MINAM. 2021a. *Clasificación de usos de la tierra en Collect Earth Online para el Nivel de Referencia de Emisiones Forestales por Deforestación en la Amazonía peruana*. Lima, Perú. Disponible en:
<https://drive.google.com/drive/u/3/folders/1MkQ3F3EUy9S2JPtrs678oQth8waF3E3i>
- MINAM. 2021b. *Protocolo para la estimación de los factores de emisión en la Amazonía peruana para la actualización del NREF-Perú*. Lima, Perú. Disponible en:
<https://drive.google.com/drive/u/3/folders/1A0Kxmc2r5XubzDw7hTc9MX19rlwG7ZvA>
- Mokany, K., S. Ferrier. S. R. Connolly. P. K. Dunstan. E. A. Fulton. M. B. Harfoot. T. D. Harwood. A. J. Richardson. S. H. Roxburgh. J. P. W. Scharlemann. D. P. Tittensor. D. A. Westcott & B. A. Wintle. 2016. *Integrating modelling of biodiversity composition and ecosystem function*. *Oikos* 125: 10– 19.
- Neyman, J. 1934. *On the Two Different Aspects of the Representative Method: The Method of Stratified Sampling and the Method of Purposive Selection*. *J R Stat Soc* 97:558–625
- Olofsson, P., Arévalo, P., Espejo, A. B., Green, C., Lindquist, E., McRoberts, R. E., & Sanz, M. J. 2020. *Mitigating the effects of omission errors on area and area change estimates*. *Remote Sensing of Environment*, 236, 111492.
- Olofsson, P., Foody, G. M., Herold, M., Stehman, S. V., Woodcock, C. E., & Wulder, M. A. 2014. *Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change*. *Remote Sensing of Environment*, 148, 42-57. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.015>
- Phillips, O.L., Mahli Y., Higuchi N., Laurance W., Nunez P., Vasquez R., Laurance S. Ferreira L. Stern M., Brown S., Grace J., *Changes in the carbon balance of tropical forests: evidence from long-term plots*. *Science* 1998; 282:439-442.
- Phillips, O., Sullivan M., Baker T., Monteagudo A., Núñez P., Vásquez R. 2019. *Species matter: wood density influences tropical forest biomass at multiple scales*. *Surveys in Geophysics* 40: 913- 935. <https://doi.org/10.1007/s10712-019-09540-0>
- Phillips, O.L., Baker, T.R., Feldpausch, T.R. & Brienens, R.J.W. *RAINFOR field manual for plot establishment and remeasurement (Amazon Forest Inventory Network. 2018)*. 2018 ForestPlots.net 1-27. DOI: http://doi.org/10.5521/forestplots.net/2018_5

- Potapov, P. V., Dempewolf, J., Talero, Y., Hansen, M. C., Stehman, S. V., Vargas, C., Rojas, E. J., Castillo, D., Mendoza, E., Calderón, A., Giudice, R., Malaga, N., & Zutta, B. R. 2014. *National satellite- based humid tropical forest change assessment in Peru in support of REDD+ implementation*. *Environmental Research Letters*, 9(12), 124012. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/12/124012>
- Potapov, P., Siddiqui, B. N., Iqbal, Z., Aziz, T., Zzaman, B., Islam, A., Pickens, A., Talero, Y., Tyukavina, A., Turubanova, S., & Hansen, M. C. 2017. *Comprehensive monitoring of Bangladesh tree cover inside and outside of forests, 2000–2014*. *Environmental Research Letters*, 12(10), 104015. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa84bb>
- ProNaturaleza. 2007. *Manual para la implementación y manejo de un sistema silvopastoril en el valle del Palcazú – Oxapampa*. ProNaturaleza. Lima. Perú.
- R Core Team. 2020. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org>
- Ramírez, J., 2010. *Uso actual de la tierra*. Informe temático. Proyecto Zonificación Ecológica y Económica del departamento de Amazonas. convenio entre el IIAP y el Gobierno Regional de Amazonas. Iquitos - Perú.
- Ravikumar, A., Sears, R. R., Cronkleton, P., Menton, M., & Arco, M. P.-O. del. (2017). *Is small-scale agriculture really the main driver of deforestation in the Peruvian Amazon? Moving beyond the prevailing narrative*. *Conservation Letters*, 10(2), 170-177. <https://doi.org/10.1111/conl.12264>
- Robiglio, V., Reyes. M. y Castro. E. 2015. *Diagnóstico de los productores familiares en la Amazonía Peruana*. Lima. Perú: ICRAF Oficina Regional para América Latina. por encargo de GGGI & DIE.
- Ruokolainen, K., Schulman. L., & Tuomisto. H. 2001. *On Amazonian peatlands*. *International Mire Conservation Group Newsletter*. 4. 8-10.
- Schnitzer, SA., DeWalt. SJ., and J. Chave. 2006. *Censusing and Measuring Lianas: A Quantitative Comparison of the Common Methods*. *BIOTROPICA* 38(5): 581–591 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2006.00187.x>
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. 2020. *Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. Informe de resultados del Panel 1*. Lima, Perú. <https://www.serfor.gob.pe/portal/wp-content/uploads/2020/09/Informe-del-Inventario-Nacional-Forestal-y-de-Fauna-Silvestre-Panel-1-Versi%C3%B3n-amigable.pdf>
- Stehman, S. V., Wickham, J. D., Wade, T. G., & Smith, J. H. 2008. *Designing a multi-objective, multi-support accuracy assessment of the 2001 National Land Cover Data (NLCD 2001)*

of the conterminous United States. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 74(12), 1561-1571. USGS Publications Warehouse.
<http://pubs.er.usgs.gov/publication/70032364>

- Thomas, C., Rennie J. 1987. *Combining Inventory Data for Improved Estimates of Forest Resources*.
- Tyukavina, A., Stehman, S. V., Potapov, P. V., Turubanova, S. A., Baccini, A., Goetz, S. J., Laporte, N. T., Houghton, R. A., & Hansen, M. C. 2013. *National-scale estimation of gross forest aboveground carbon loss: A case study of the Democratic Republic of the Congo*. Environmental Research Letters, 8(4), 044039. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/4/044039>
- van Wagner, C.E. 1968. *The line intersect method in forest fuel sampling*. Forest Science 14(1): 20-26.
- World Agroforestry 2020. *What is Agroforestry?* Información en página web:
<https://worldagroforestry.org/about/agroforestry>
- Zanne, A.E., López-González. G., Coomes. D.A., Ilic. J., Jansen. S., Lewis. S.L., Miller. R.B., Swenson. N.G., Wiemann. M.C. & Chave. J. 2009. *Global wood density database*. Dryad. Identifier. <http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>.
- Zegarra, E., & Gayoso, J. P. (2015). *Cambios en la agricultura y deforestación en la selva peruana: Análisis basado en el IV Censo Agropecuario*. En Agricultura peruana: Nuevas miradas desde el Censo Agropecuario (pp. 225-284). GRADE Group for the Analysis of Development. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-51449-5>