



**Segundo Nivel de Referencia de las Emisiones
Forestales (NREF) por Deforestación en la
República del Paraguay – período 2012 - 2019,
para pago por resultados de REDD+ bajo la
CMNUCC.**

Asunción - Paraguay

Índice general

1.	Introducción	1
2.	Contexto del Segundo Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (NREF)	2
2.1.	Alcance geográfico del NREF.....	2
2.2.	Actividades incluidas	3
2.3.	Definición de bosque nativo	3
2.4.	Estratificación de bosque nativo	4
2.5.	<i>Depósitos incluidos</i>	6
2.6.	<i>Gases incluidos</i>	6
3.	Construcción del Nivel de Referencia de las Emisiones Forestales	7
3.1.	Período de referencia histórico y de validez del NREF	7
3.2.	Datos de actividad.....	8
3.2.1.	Metodología para la obtención de Datos de actividad para el NREF.....	8
3.2.2.	Resultados de Datos de actividad para el NREF.....	14
3.3.	Factores de emisión	15
3.3.1.	Estimación de biomasa, carbono total y tCO ₂ equivalente por estrato de bosque.....	18
3.3.2.	Estimación de la incertidumbre de Factores de emisión	20
3.4.	Estimación de la precisión del NREF, asociada a FE y DA	20
3.5.	Resultados de la construcción del NREF	21
4.	Circunstancias Nacionales	25
4.1.	Causas de la deforestación	26
4.2.	Consideración de las circunstancias nacionales	28
5.	Información transparente, completa, consistente y precisa	30
6.	Consistencia entre Reportes de emisiones presentados a la CMNUCC	32
6.1.	Consistencia entre el NREF y el Tercer Informe Bienal de Actualización sobre cambio climático	32
6.2.	Diferencias con el primer NREF.....	36
7.	Consideraciones en cuanto a capacidades, limitaciones y futuras mejoras a implementar	39
8.	Siglas y Acrónimos	42
9.	Referencias bibliográficas	44
10.	Anexos	51
II.	Metodología de elaboración de los mapas de categorías de cobertura de la tierra del IPCC.....	51
II-	Metodología para determinar la incertidumbre y exactitud de los mapas temáticos.....	67
III-	Procedimiento general de las remediciones del Inventario Forestal Nacional (IFN) para la colecta de datos de campo y procesamiento estadístico de los resultados	77
IV-	Estimación de la propagación de errores de FE y DA del segundo NREF.....	86
V-	Información del IFN respecto al depósito “materia orgánica muerta”	88
VI-	Estimaciones de emisiones de tCO ₂ e en “Otras tierras forestales: cobertura del Palmar”	90
VII-	Avances en relación a “desarrollo de una metodología preliminar para estimar áreas quemadas”	96

Índice de tablas

Tabla 1. Resumen del análisis de escenarios considerados para determinar el período del segundo NREF del Paraguay	7
tabla 2. Valores de superficie de deforestación total en hectáreas, por estrato de bosque nativo.	8
tabla 3. Valores de superficie de deforestación total en hectáreas, por estrato de bosque nativo.	14
tabla 4. Superficies anualizadas de deforestación (ha) por estrato de bosque nativo, para el período de análisis 2012 – 2019.	14
tabla 5. Cantidad de unidades muestrales establecidas por el IFN por tipo de bosque.	16
tabla 6. Estimación del contenido de carbono y tCO ₂ e (ha) para todos los estratos de bosque.	19
tabla 7. Incertidumbre asociada (%), por componente de biomasa viva para cada estrato de bosque.	20
tabla 8. Emisiones anualizadas de tCO ₂ e para cada estrato de bosque nativo, por deforestación bruta.	22
tabla 9. Principales diferencias entre el primer NREF y segundo NREF	36
tabla 10. Detalle de las fechas de las escenas empleadas por órbita y punto (2017 - 2019), de la región Oriental.	54
tabla 11. Detalle de las fechas de las escenas empleadas por órbita y punto, 2011 - 2019, de la región Occidental.	58
tabla 12. Número total de muestras para datos de referencia, para cada clase y estrato de bosque.	72
tabla 13. Resultados de superficies ponderadas (sin sesgo) al 95% de confianza, con su respectivo error de estimación (en hectáreas), período 2011 – 2013 - 2015	75
tabla 14. Resultados de superficies ponderadas (sin sesgo) al 95% de confianza, con su respectivo error de estimación (en hectáreas), período 2015 – 2017 - 2019	76
tabla 15. Cantidad de parcelas establecidas por el IFN por tipo de bosque.	79
tabla 16. Ecuaciones alométricas aplicadas para la determinación de la biomasa para cada estrato de bosque nativo	82
tabla 17. Resultados de contenido de carbono en suelo, para todos los estratos de bosque.	88
tabla 18. Cantidad de unidades muestrales establecidas por el IFN por tipo de bosque.	94
tabla 19. Ecuaciones alométricas aplicadas para la determinación de la biomasa para cada estrato de bosque nativo	94
tabla 20. Densidades y factores de expansión aplicados para el cálculo de biomasa en las especies arbóreas asociadas a Copernicia alba en el Bosque de Palmar.	95
tabla 21. Estimación del contenido de carbono y tCO ₂ e (ha) para el Bosque Palmar (BP)	95
tabla 22. Estimación de las emisiones en tCO ₂ e para el Bosque Palmar (BP), en los estratos del país	95
tabla 23. Estimación de áreas quemadas por categorías de uso de la tierra, año 2019	97
tabla 24. Estimación de áreas quemadas por categorías de uso de la tierra, año 2020	97

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa de cobertura forestal del Paraguay por estratos, y detalle de la ubicación del país.	2
figura 2. Mapa de cambio de la cobertura forestal correspondiente a los periodos 2011 – 2013 – 2015	12
figura 3. Mapa de cambio de la cobertura forestal correspondiente a los periodos 2015 – 2017 - 2019.	13
figura 4. Mapa de ubicación del total de las unidades de muestreo con levantamiento de información en los estratos de bosque, para las remediciones del IFN.	17
figura 5. Tendencia de las emisiones anuales de tCO ₂ e, por estrato de bosque nativo	23
figura 6. Segundo NREF y emisiones totales de tCO ₂ e al año, en el Paraguay.	24
figura 7. Superficie de deforestación promedio (ha/año) por estrato de bosque, y para cada período de tiempo analizado.	29
figura 7. Contribución (%) de los depósitos de biomasa viva, materia orgánica muerta y C en suelo, en el total de emisiones (tCO ₂ e) – año 2017	34
figura 9. Contribución (%) de cada sector del INGEI en las emisiones de CO ₂ e: IBA 2, e IBA 3.	35
figura 10. Comparación de las emisiones promedio de tCO ₂ e, a nivel país: primer NREF y segundo NREF	37
figura 11. Cobertura de imágenes satelitales Landsat para el Paraguay (punto y órbita), por región.	52
figura 10. Información del espectro de cada banda empleada para el mosaico de imágenes de la región Occidental, período 2011 – 2015 (arriba) y 2015 – 2019 (abajo)	58
figura 13. Muestras para la clasificación supervisada obtenida en la plataforma GEE, BSCH y BHRO.	64
figura 14. Clasificación supervisada (izquierda), cálculo de mayoría por segmentos (centro) y edición final (derecha), para el BHRO	65
figura 15. Ejemplo de reclasificación de cambios detectados, de tierras forestales a tierras de cultivo en un período de análisis dado.	66
figura 16. Conglomerado utilizado por el IFN para el bosque seco chaqueño.	80
figura 17. Estructura de la parcela de 60 x 60 m establecida por el IFN.	80
figura 18. Ecuación correspondiente a la regla a, del método para combinar incertidumbres.	86
figura 19. Ecuación correspondiente a la regla b, del método para combinar incertidumbres.	87
figura 20. Área de estudio original (línea verde) y área de estudio actual (coloreado en gris)	92
figura 21. Estructura de la parcela 40 x 40 m establecida por el IFN.	93
figura 22. Distribución porcentual de áreas quemadas de acuerdo a las categorías de cobertura de uso del IPCC	97
figura 23. Mapa preliminar de identificación de áreas quemadas, año 2019	98
figura 24. Mapa preliminar de identificación de áreas quemadas, año 2020	99

1. Introducción

La República del Paraguay presenta su segundo Nivel de referencia de emisiones forestales (NREF) por deforestación bruta, con el objetivo de someterlo al proceso de evaluación técnica requerido para optar al mecanismo de pagos basados en resultados bajo las directrices del Marco de Varsovia por efecto de las acciones de REDD+ (Mecanismo de reducción de emisiones por deforestación y degradación forestal, la conservación de bosques, el manejo forestal sostenible y el mejoramiento de los contenidos de carbono en los países en desarrollo) ante la CMNUCC.

El Paraguay destaca que este segundo NREF correspondiente al período 2012 – 2019 equivale a un resultado promedio de las emisiones anuales en tCO₂e, representando una cifra menor en relación al resultado del primer NREF del país establecido para el período 2000 – 2015. De esta forma, esta nueva línea base refleja el resultado de los esfuerzos del país en años recientes en cuanto a la implementación de acciones de acuerdo a instrumentos de políticas públicas y aplicación de normativas, las cuales permiten reducir las emisiones de forma continua.

Para el desarrollo del presente NREF, el país se adecua a las directrices del Anexo de la Decisión 12/CP.17, y aplica una aproximación “*step-wise*” al emplear información actualizada de “factores de emisión” y “datos de actividad” de un período más reciente, mejorando la precisión en la construcción de este NREF. La estructuración del presente documento de NREF contempla el desarrollo de: a) Contexto e información empleada en la construcción del NREF. b) Transparencia, completitud, consistencia y precisión, incluida la información metodológica usada en el momento de construir el NREF. c) Depósitos, gases y actividades incluidas en el NREF. d) La definición de bosque usada. Cada uno de estos temas se aborda en los siguientes apartados del documento.

El Nivel de Referencia de las Emisiones Forestales por Deforestación (NREF) que fue determinado y cuyo documento respectivo fue presentado por Paraguay en el mes de enero de 2016, fue sometido al proceso de evaluación técnica de la CMNUCC, cuyo reporte final fue publicado en diciembre de ese mismo año. Por su parte, el 28 de diciembre de 2018 el Gobierno del Paraguay presentó el primer Reporte de reducción de emisiones REDD+ como Anexo Técnico del Segundo Informe Bial de Actualización sobre Cambio Climático (IBA 2), con los resultados alcanzados por el país en la reducción de emisiones por deforestación bruta para los años 2016 y 2017.

La presentación del NREF y los resultados obtenidos de la reducción de emisiones a presentarse en el Segundo Anexo Técnico a partir de la implementación de REDD+, son voluntarios y exclusivamente con el fin de obtener y recibir pagos basados en los resultados, según las decisiones 9 /CP.19, 13/CP.19 y 14/CP.19, y otras citadas, así como también lo estipulado en el Artículo 5 del Acuerdo de París.

2. Contexto del Segundo Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (NREF)

Este documento representa la **segunda propuesta de un Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (NREF) del Paraguay**, con el propósito de obtener y recibir pago por resultados por actividades REDD+. En enero del año 2016, el Paraguay remitió su primer NREF (PNC ONU REDD+/SEAM/INFONA/FAPI, 2016) que contemplaba las emisiones promedio de **toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO₂e)** en el período 2000 - 2015¹ aplicado a los resultados de reducción de tCO₂e por deforestación bruta logrados por el país en el período 2015 - 2017². Tanto el documento que contiene los detalles de la construcción del NREF como el Anexo Técnico REDD+ de la reducción de emisiones incluido en el Segundo Informe Bienal de Actualización sobre cambio climático del Paraguay, fueron evaluados por expertos de la CMNUCC.

2.1. Alcance geográfico del NREF

Para la estimación del Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (NREF), el Paraguay considera la totalidad (100%) del territorio del país (406.752 km²), el cual corresponde al área de los cinco estratos de bosque distribuidos en el territorio nacional. En la figura 1 se observa el mapa de cobertura forestal del país y su referencia de ubicación en América del Sur.



Figura 1. Mapa de cobertura forestal del Paraguay por estratos, y detalle de la ubicación del país.
Fuente: Sistema Nacional de Monitoreo Forestal (SNMF/INFONA/MADES, 2021)

¹ Corresponde a aproximadamente 15 años de análisis, partiendo de mediados de 2000 a 2001: año 1, y así sucesivamente

² Corresponde a aproximadamente dos años de análisis: 2016 y 2017

2.2. Actividades incluidas

Este Nivel de Referencia de las emisiones forestales del Paraguay, incluye únicamente las **emisiones de CO₂e provenientes de la deforestación bruta**. Entendiéndose como tal, la contabilización de las áreas categorizadas como bosque, sujetas a conversión en un período determinado; sin considerar las áreas forestadas, reforestadas, así como tampoco las eventuales pérdidas que puedan ocurrir en estas áreas mencionadas. En cuanto a las emisiones denominadas brutas, debido a que el país actualmente no dispone de estimaciones de contenido de carbono para las categorías de No-bosque, se decidió reportar solo las estimaciones de los contenidos de carbono en los bosques sujetos a conversión y no las existencias de carbono en los usos/cobertura del suelo resultantes de este proceso.

En relación a la actividad de “Reducción de las emisiones por degradación de bosque nativo”, como un importante avance constituye el desarrollo de una metodología preliminar para estimar de forma geoespacial la degradación del bosque a causa de incendios (áreas quemadas). Este análisis preliminar se presenta en el Anexo VII, esperando que a futuro al disponer de mayor precisión mediante el empleo de insumos o productos de mayor resolución y con un nivel de incertidumbre aceptable, la metodología pueda actualizarse y los resultados puedan ser empleados como “datos de actividad” para estimar las emisiones procedentes de la degradación forestal en un nuevo NREF.

2.3. Definición de bosque nativo

El primer NREF contemplaba la definición de bosque nativo formulada a los efectos del mecanismo REDD+ producto de un consenso, y establecida con base en acuerdos generales logrados por intercambios, entre las instituciones que conformaron el Programa Nacional Conjunto ONU REDD+: el Instituto Forestal Nacional (INFONA), la Secretaría del Ambiente (SEAM) y la Federación por la Autodeterminación de los Pueblos Indígenas (FAPI).

Igualmente, y en cumplimiento a lo establecido por el Anexo de la Decisión 12/CP.17, la citada definición se empleó además para la estimación de las emisiones correspondientes al componente: Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura (UTCUTS) del sector AFOLU (por sus siglas en inglés de: *Agriculture, Forestry and Land Use*) de los Inventarios Nacionales de gases de efecto invernadero (INGEI). Los resultados de estos inventarios se encuentran incluidos en los tres Informes Bienales de Actualización sobre Cambio Climático que el Paraguay presentó a la fecha (IBA o BUR, por sus siglas en inglés).

Sin embargo, en el año 2018, el Decreto 175 que reglamenta el Artículo 42 de la Ley 422/1973 “Forestal”, abroga lo establecido en los decretos anteriores en relación a una definición de “bosque”; en consecuencia, ésta corresponde emplear **a los efectos de la construcción del segundo NREF**.

Por consiguiente, el Artículo 3 del citado Decreto establece la denominación genérica de “Zonas forestales”, que a su vez contempla: “bosque natural”, “tierras forestales de producción” y “Otras tierras forestales”. A saber:

- a) Zonas forestales: son las áreas que están conformadas por los bosques naturales, tierras forestales de producción y otras tierras forestales.
 - a.1. **“Bosque Natural”**: es el ecosistema natural con diversidad biológica, intervenido o no, regenerado y restaurado por sucesión natural o técnicas forestales de

enriquecimiento con especies nativas, que produce bienes, provee servicios ambientales y sociales, cuya superficie mínima es de 1 hectárea (1 ha), con una altura de los árboles igual o mayor a tres metros (3 m) en la Región Occidental e igual o mayor a cinco metros (5 m) en la Región Oriental y que alcance con una cobertura mínima de copas en su estado natural al menos el diez por ciento (10%) de la superficie referenciada en la Región Occidental y treinta por ciento (30%) en la Región Oriental. Se clasifican en Bosques de Producción, Bosques de Protección y Bosques Especiales.

a.2. son las tierras que preferentemente por sus condiciones agrológicas poseen aptitud para la producción de maderas y otros productos forestales (Biomasa para fines energéticos, celulosa y otros), cuyas plantaciones son instaladas a través de la forestación o reforestación, incluyendo los Sistemas Agroforestales.

a.3. Otras tierras forestales: matorrales: vegetación formada por arbustos de árboles aislados; Palmares: vegetación combinada de pastos y palmas (*Copernicia spp.*, *Acrocomia spp.*, *Butia spp.*); bambúes y otros con una altura igual o mayor a tres metros (3 m) en la Región Occidental e igual o mayor a cinco metros (5 m) en la Región Oriental; con una cubierta de dosel de 5 a 10 por ciento en una superficie mínima de 1 ha.

Por lo tanto, en cumplimiento a esta disposición, las emisiones de tCO₂e procedentes de la dinámica en la cobertura del “Bosque Palmar”; si bien se contabilizan y se presentan en el Anexo VI de este documento, se excluyen de la estimación de este NREF, a diferencia del primero.

Por otra parte, conviene mencionar además que, otra definición de “bosque” que se emplea en el país, corresponde a la que fue formulada para el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) bajo el Protocolo de Kyoto. La misma fue concebida con anterioridad a la del mecanismo REDD+ e involucró otro propósito y procesos inter institucionales. En tal sentido, la Secretaría del Ambiente (actual MADES) como la Autoridad Nacional Designada mediante Resolución N° 941 del año 2007, estableció una definición de “bosque” como tierra que se extiende a partir de 0,5 hectáreas, cubierta de árboles con una altura mínima de 5 metros, alcanzando una cobertura de copa del 25% como mínimo.

Asimismo, se cita al reporte que realiza el Instituto Forestal Nacional (INFONA) para el *Forest Resources Assessment (FRA)*, citado por el Informe de términos y definiciones del FRA 2015 (FAO, 2015b); para la cual no se especifica una definición de bosque distinta a la que emplea el FRA. La misma hace referencia a las tierras que se extienden por más de 0,5 hectáreas dotadas de árboles de una altura superior a 5 m y una cubierta de dosel superior al 10 por ciento, o de árboles capaces de alcanzar esta altura in situ. No incluye la tierra sometida a un uso predominantemente agrícola o urbano.

A la fecha, aún no se ha establecido un consenso para la formulación de una definición de bosque acordada y conforme a todos los requerimientos e intereses específicos de las instituciones vinculadas a la gestión de los recursos forestales

2.4. Estratificación de bosque nativo

En cuanto a la identificación de los tipos de bosque o estratos, esta se realizó teniendo en cuenta variables biofísicas, como clima, temperatura y tipo de suelo (FAO, 2015). Esta estratificación de bosque es la misma empleada para las estimaciones de los INGEI, reportados por el país en sus tres IBA.

De esta forma, los estratos de bosque identificados por el Inventario Forestal Nacional, son los siguientes:

Bosque Húmedo de la Región Oriental (BHRO): comprende a los bosques altos nativos de la Región Oriental del Paraguay clasificado como bosque higrofitico subtropical (Hueck, 1978), como bosque húmedo templado cálido por Holdridge (1969) y Selva del Alto Paraná por Tortorelli (1966), con alturas que pueden llegar hasta 30 – 40 metros y cuya estructura tiene tres estratos verticales y un sotobosque, considerado como el de mayor biodiversidad del país, en la composición florística predominan *Cedrella* spp., *Tabebuia* spp., *Apuleia leiocarpa*, *Balfourodendron riedelianum*, *Myrcarpus frondosus*, *Peltophorum dubium*, *Pterogine nitens*, *Nectandra* spp., *Ocotea* spp., *Patagonula americana*, *Enterolobium contortisiliquum*, *Albizia hassleri*, *Cabralea* sp., *Aspidosperma polyneuron* entre otras, además el bosque posee un elevado número de especies de lianas, epífitas, helechos arborescentes y palmeras (*Syagrus romanzofianum* y *Euterpe edulis*). Las comunidades naturales están constituidas por turberas, bosques en galería, bosques semicaducifolios altos y medios, bambuzales, cerrados, cuevas, roquedales y acantilados. Los suelos son bien drenados y predominantemente derivados de basalto y areniscas. El límite occidental fue definido en base a los suelos bien drenados y las imágenes del LANDSAT 7.

Bosque Sub húmedo del Cerrado (BSHC): incluye a los bosques nativos del cerrado de Concepción, cuya estructura tiene 2 estratos verticales y un sotobosque con predominancia de gramíneas, la composición florística comprende *Amburana cearensis*, *Peltophorum dubium*, *Anadenanthera colubrina*, *Enterolobium contortisiliquum*, *Schinopsis balansae*, *Calycophyllum multiflorum*, *Phyllostylon rhamnoides*, *Astronium urundeuva*, *Anadenanthera peregrina*, *Guibourtia rhodotiana*, *Butia yatay*, *Axonopus affinis*, *Psidium arasa*, *Andropogon lateralis* y *Elyonorus latiflorus*, entre otras.

Las comunidades naturales están constituidas por bosques en galería, cuevas, bosques semicaducifolios medios y bajos, cerrados, sabanas arboladas y acantilados. Los suelos son predominantemente derivados de granito y de calcáreos. El límite con el estrato Bosque Subhúmedo Inundable del Río Paraguay fue delimitado con base en las imágenes del LANDSAT 7 y los suelos bien drenados del mapa de suelos de la Región Oriental.

Bosque Sub húmedo Inundable del Río Paraguay (BSHIRP): comprende a los bosques en isletas, bosques asociados con palmares de toda la planicie del Río Paraguay, la composición florística comprende *Peltophorum dubium*, *Tabebuia* sp., *Holocalyx balansae*, *Ficus* sp., *Nectandra* sp., *Ocotea* sp., *Sapium hematospermum*, *Pithecellobium scalare*, *Gleditzia amorphoides*, *Erithrina crista-galli*, *Salix humboldtiana*, *Diplokeleba floribunda*, *Schinopsis balansae*, *Handroanthus heptaphyllus*, *Syagrus romanzoffiana*, *Copernicia alba* y *Enterolobium contortisiliquum*, entre otras. Las comunidades naturales están constituidas por bosques en galería, sabanas palmares, bosques semicaducifolios medios y bajos. Los suelos son predominantemente derivados de sedimentos marinos y sedimentos aluviales, generalmente inundados, o mal drenados o imperfectamente drenados. El límite oriental fue delimitado en base a las planicies de inundación de los afluentes del Río Paraguay que corren de Este a Oeste y hasta donde se observan especies de karanda'y. El límite occidental fue definido en base a suelos mal drenados y una cota de inundación de 102 msnm obtenida del mapa de *Shuttle Radar Topogrophy Mission* (SRTM).

Bosque Seco Chaqueño (BSCH): abarca los bosques abiertos del Chaco Central hasta la frontera de Bolivia. La composición florística comprende *Ceiba insignis*, *Schinopsis quebracho-colorado*, *Aspidosperma quebracho-blanco*, *Prosopis alba*, *Prosopis nigra*, *Ruprechtia triflora*, *Quiabentia pflanzii*, *Ziziphus mistol* y *Ximena americana*, entre otras. Las comunidades naturales la

conforman el bosque semicaducifolio xerofítico, los paleocauces con sabanas arboladas de espartillo y los cerrados. Los suelos son derivados predominantemente de sedimentos eólicos (Loess).

Igualmente, el Manual de campo del IFN señala a la cobertura de “palmares” como **Bosque Palmer (BP)** considerándolo un estrato de bosque más; sin embargo, como se mencionó en la sección 2.3 “Definición de bosque nativo”, lo concerniente a esta formación se excluye de la presente estimación del NREF. A los efectos de información adicional, se presenta en el Anexo VI de este Reporte, las consideraciones o particularidades especiales de esta formación, así como la estimación de las emisiones de tCO₂e producto de la dinámica identificada.

2.5. Depósitos incluidos

En cumplimiento a lo establecido en la Decisión 12/CP.17; el presente NREF incluye la biomasa viva total, la cual comprende toda la biomasa viva que se encuentra sobre el suelo. Incluyendo troncos, tocones vivos, ramas, cáscaras, semillas y hojas, además de toda la biomasa de raíces vivas (biomasa debajo del suelo). Se excluyen las raíces vivas con diámetros menores a 2 mm, el carbono de la materia orgánica muerta (madera muerta, hojarasca) y el carbono encontrado en el suelo (sea este mineral u orgánico).

Asimismo, se incluye la biomasa del “sotobosque”, debido a que en el país el proceso de deforestación implica la destrucción de toda la vegetación, tanto para la conversión a tierras de cultivo como ganaderas. Por lo tanto, es oportuno incluir en las estimaciones de las emisiones de tCO₂e por deforestación de bosque nativo, las asociadas al sotobosque.

Cabe mencionar que los depósitos excluidos en el presente NREF, se consideran como parte de futuras mejoras a incorporar en siguientes NREF que el país estime (*step wise approach*). Más información relacionada a otros depósitos o reservorios y sus emisiones, se abordará en la sección 6: “Consistencia entre Reportes de emisiones presentados a la CMNUCC y 7: “Consideraciones en cuanto a capacidades, limitaciones y futuras mejoras a implementar”.

2.6. Gases incluidos

Teniendo en cuenta el análisis de la información disponible, se incluyen en el cálculo exclusivamente a las emisiones de CO₂, provenientes de la conversión de tierras forestales a otras categorías de cobertura. Aunque, se reconoce la posibilidad de emisiones de otros gases durante las actividades de conversión de bosques a otros usos de la tierra, estas emisiones serían marginales y difíciles de calcular en comparación con las emisiones de CO₂.

Esta dificultad para la estimación de gases distintos a CO₂ como Metano (CH₄) y Monóxido de Carbono (CO), los cuales son emitidos principalmente como resultado de la combustión directa en incendios forestales se debe a que no hay información suficiente disponible referente a esta actividad en el país.

3. Construcción del Nivel de Referencia de las Emisiones Forestales

3.1. Período de referencia histórico y de validez del NREF

Para la construcción del NREF de Paraguay, se ha establecido como periodo de referencia 2012-2019, basado en los resultados de monitoreo de “datos de actividad” generados por el SNMF.

Este periodo de tiempo fue determinado, en primer lugar, tratándose de que este NREF corresponde a la segunda línea base del país y que; por lo tanto, debe reflejar el resultado de las políticas y esfuerzos más recientes que el país está implementando para reducir las emisiones procedentes de la deforestación. Además de representar una cifra actualizada y acorde a la realidad nacional, debe ser “conservadora”, es decir, el NREF debe ser en lo posible libre de sobreestimaciones. Al respecto, la sección 4: “Circunstancias nacionales” describe el contexto nacional en el período de análisis. Al respecto, para determinar este período de referencia, se efectuó un análisis contemplando diversos escenarios comprendidos entre los años 2000 – 2019, dando como resultado el período con la cifra promedio más “conservadora” de 2012 – 2019: 53.116.279 tCO₂e/año.

Tabla 1. Resumen del análisis de escenarios considerados para determinar el período del segundo NREF del Paraguay

Período analizado	Años contemplados en cada período de análisis	Línea base determinada (tCO ₂ e/año)
2000 - 2015	15	60.749.294
2005 - 2017	12	60.831.740
2010 - 2017	8	59.290.250
2008 - 2017	10	60.434.397
2012 - 2017	6	57.383.337
2014 - 2017	4	61.472.250
2007 - 2019	12	57.081.182
2009 - 2019	10	55.495.220
2012 - 2019	8	53.116.279
2014 - 2019	6	54.419.868

Igualmente, luego de un periodo de proyección de resultados en cuatro o cinco años; a partir del año 2020, el país prevé actualizar este NREF.

En relación a la serie temporal empleada en la composición de los mapas temáticos que constituyen la fuente de información para los “datos de actividad - DA” empleados en la construcción de este NREF, el detalle y la justificación se encuentra en el Anexo I del presente documento.

3.2. Datos de actividad

La determinación de los datos de Actividad (DA) empleados para la construcción de este NREF, fueron desarrollados por el componente: Sistema Satelital de Monitoreo Terrestre (SSMT) del Sistema Nacional de Monitoreo Forestal (SNMF) a través de los mapas clasificados de acuerdo a las categorías de cobertura y uso de la tierra propuestas por el IPCC (ver figuras 2 y 3) para la serie temporal de: 2011 – 2013 - 2015; y 2015 –2017 – 2019. Esta serie se determinó de acuerdo a la serie temporal que fue establecida para los primeros mapas de cobertura forestal y cambio en la cobertura forestal que generó el SNMF (que constaba de tres categorías o clases de cobertura de uso de la tierra: “bosque estable”, “no bosque estable” y “cambio”).

Los mapas mencionados fueron sometidos a una primera Evaluación de exactitud temática (EET) con un margen de error del 20%, a cargo del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible del Paraguay – MADES (mediante promulgación del Decreto 3246/2020 que reglamenta el SNMF). Dicho procedimiento constató algunas inconsistencias, recomendando una nueva revisión y reedición, que se efectuará en los próximos meses; y posteriormente, se ejecutará una segunda EET, empleando un mayor número de muestras al azar (margen de error inferior al 20%). Al respecto, estas cifras de DA que son empleadas para la determinación de este segundo NREF constituyen valores preliminares, previéndose incorporar los valores resultantes de la segunda EET en una nueva versión de este documento (DA actualizados y con un nivel de confiabilidad superior), una vez inicie el proceso de evaluación técnica por expertos designados por la CMNUCC.

3.2.1. Metodología para la obtención de Datos de actividad para el NREF.

De acuerdo al documento “Orientación sobre las Buenas Prácticas para Uso de la tierra, Cambio de uso de la tierra y Silvicultura”, producido por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) en el año 2003, la metodología utilizada para la estimación de los “**datos de actividad – DA**” corresponde al enfoque de complejidad o nivel 3, el cual contempla la utilización de datos de uso de la tierra y cambios en el uso de la tierra geográficamente explícitos. Por tanto, se aplicó una metodología similar a la desarrollada para la generación de los primeros mapas de cobertura forestal y cambio en la cobertura forestal mencionados previamente; cuyos resultados se utilizaron como DA en la construcción del Nivel de Referencia de las Emisiones Forestales (NREF) y para el primer Anexo Técnico REDD+ del Paraguay contenido en el Segundo Informe Bienal de Actualización sobre Cambio Climático (IBA 2) ante la CMNUCC, respectivamente.

En línea con lo señalado, la tabla 2 describe brevemente la metodología del SNMF (2020) para la generación de los mapas (los Anexos I y II contienen información con más detalle):

Tabla 2. Valores de superficie de deforestación total en hectáreas, por estrato de bosque nativo.

Detalle	Descripción
Imágenes satelitales, Softwares y herramientas	<p>Imágenes satelitales del Programa Landsat (sensores 5 TM y 8 OLI) de resolución media (30 x 30 metros)</p> <p>Software de licencia: Arc Gis</p> <p>Softwares gratuitos (libres): Quantum Gis (QGis) y Monteverdi</p>

	Plataforma en la nube “online”: <i>Google Earth Engine – GEE</i> .
Unidad mínima de mapeo (UMM) y cobertura de la serie temporal de análisis	<p>La resolución de las imágenes determina la UMM: correspondiente a una hectárea (1 ha).</p> <p>Considerando la serie temporal de los Mapas de cambio de cobertura: 2011 – 2013 – 2015 y 2015 – 2017 – 2019, y debido a que el análisis de las imágenes Landsat parte del mes de mayo/enero (región Oriental/Occidental) del año 2011, se considera como año 1 a partir de mayo del año 2011 hasta mediados del año 2012 y así sucesivamente, hasta agosto del año 2019 para ambas regiones (8 años en total). Ver rangos de fechas de las distintas imágenes empleadas para la serie temporal por región del país, en las tablas 15 y 16, del Anexo I.</p>
Clasificación de categorías de cobertura y cambios en la cobertura de uso de la tierra	Se empleó la leyenda que corresponde a las 6 categorías de uso de la tierra definidas por el IPCC (2006): a) tierras forestales, b) tierras de cultivo, c) pastizales, d) humedales, e) asentamientos humanos y f) otras tierras
Metodología de clasificación	<p>Combinación de clasificación de estas coberturas mediante</p> <p>a) muestras o puntos de entrenamiento: empleando el algoritmo “<i>Random forest</i>”, iniciándose el análisis a partir del año 2011 y tomando como fin de cada serie temporal a cada uno de los años siguientes. De esta forma, se trabajó de forma independiente a nivel de cada una de las dos regiones en las que el río Paraguay divide geográficamente al país.</p> <p>b) agrupación de píxeles basados en su respuesta espectral: utilizando la plataforma GEE, así como también procedimientos de segmentación en el software Monteverdi (clasificación basada en objetos, OBIA por sus siglas en inglés) y de edición empleando Arc Gis y QGis.</p>
Obtención del producto en formato “ <i>raster</i> ”	Descarga del archivo generado (clasificación de categorías) en la plataforma en formato ráster, considerándose para la clasificación el mosaico de aquellas imágenes Landsat con un porcentaje de nubes inferior entre el 20 y 40% para la región Occidental (variaciones entre los distintos años de análisis) y de 5 a 10 % para la región Oriental del país.
Segmentación del mosaico	Mediante la utilización del software de código libre Monteverdi2 (unidad mínima de segmentación 1 ha equivalente a 12 píxeles)
Cálculo de estadísticas de zonas	Mediante el cálculo de “mayoría” por segmentos utilizando Arc Gis.
Vectorización y edición de resultados	

	Edición en la tabla de atributos y redigitalización de polígonos, de acuerdo a inconsistencias detectadas por interpretación visual (principalmente en las categorías de cambio).
Unión regional	Los resultados generados por estrato de bosque en cada región (Oriental y Occidental) se integran en un mapa consolidado a nivel país.
Evaluación de exactitud temática (EET)	<p>Se ejecutó la EET con un margen de error del 20%, consistente en un procedimiento de muestreo estadístico con base en el número de segmentos muestreados, independientemente de su tamaño.</p> <p>Este procedimiento tiene como objetivo determinar el nivel de incertidumbre asociado a los mapas empleados (y para cada categoría de cobertura) así como para determinar las cifras estimadas o libres de sesgo (principalmente de interpretación) considerando los valores de exactitud determinados para cada categoría y estrato de bosque. Estos resultados corresponden a los “<i>datos de actividad</i>”.</p> <p>Resultados preliminares de exactitud global (%) de la EET aplicada:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Mapa del período 2011 – 2013 – 2015: 88,16%, b) Mapa del período 2015 – 2017 - 2019: 89,23%

En relación a la cifra total de deforestación libre de sesgo (preliminar) en el período de análisis: 2012 – 2019 para la determinación de este NREF, la misma constituye un valor superior en relación a la cifra original (sin ajuste o con sesgo); es decir, mediante la ponderación realizada conforme los estimadores de exactitud para cada categoría y período de análisis obtenidos en el proceso de evaluación de los mapas, se constató y se corrigió una subestimación de las superficies en las distintas categorías, producto de los errores inherentes a la elaboración de los mapas mencionados. Por lo tanto, se debe aguardar los resultados finales de la segunda EET, para estimar con más precisión la variabilidad de los mismos y su relación con las cifras originales procedentes de los mapas del SNMF.

Los informes técnicos de la EET correspondientes a cada mapa de cobertura y cambio de acuerdo a la clasificación del IPCC (MADES, 2021a y b), contienen más información minuciosa en relación a cada proceso efectuado para establecer el nivel de confiabilidad así como las limitaciones y recomendaciones identificadas.

Atendiendo a la consistencia con la definición de bosque empleada para este NREF, se destaca una restricción de carácter técnico por la limitación supeditada a la resolución media de las imágenes Landsat, imposibilitando la detección y monitoreo de cualquier uso/conversión de cobertura por debajo del umbral de 30% aproximadamente. Este inconveniente limita la efectividad a este valor mínimo, por lo que se estima que la unidad mínima de mapeo (UMM) identifica la cobertura forestal aproximadamente a partir del porcentaje citado. Este punto será discutido en la sección 7: “Consideraciones en cuanto a capacidades, limitaciones y futuras mejoras a implementar”.

Se estima asimismo que, no se puede descartar que pudo haber ocurrido un pequeño incremento en la cobertura boscosa en determinadas áreas, en alguna etapa del período de

tiempo analizado. Sin embargo teniendo en cuenta que el patrón de la conversión de cobertura forestal en el Paraguay se debe principalmente al avance de la frontera agrícola, es prácticamente improbable un proceso de deforestación – regeneración y consiguiente deforestación en una misma extensión de tierra; salvo específicos y exiguos casos que por su insignificancia en términos de superficie, no se podrán contabilizar como áreas deforestadas entre períodos de tiempo para la categoría de “Bosque estable” o “*Tierras forestales que permanecen como tales*”, debido a que se emplearon Mapas de cambio de cobertura en períodos específicos de tiempo.

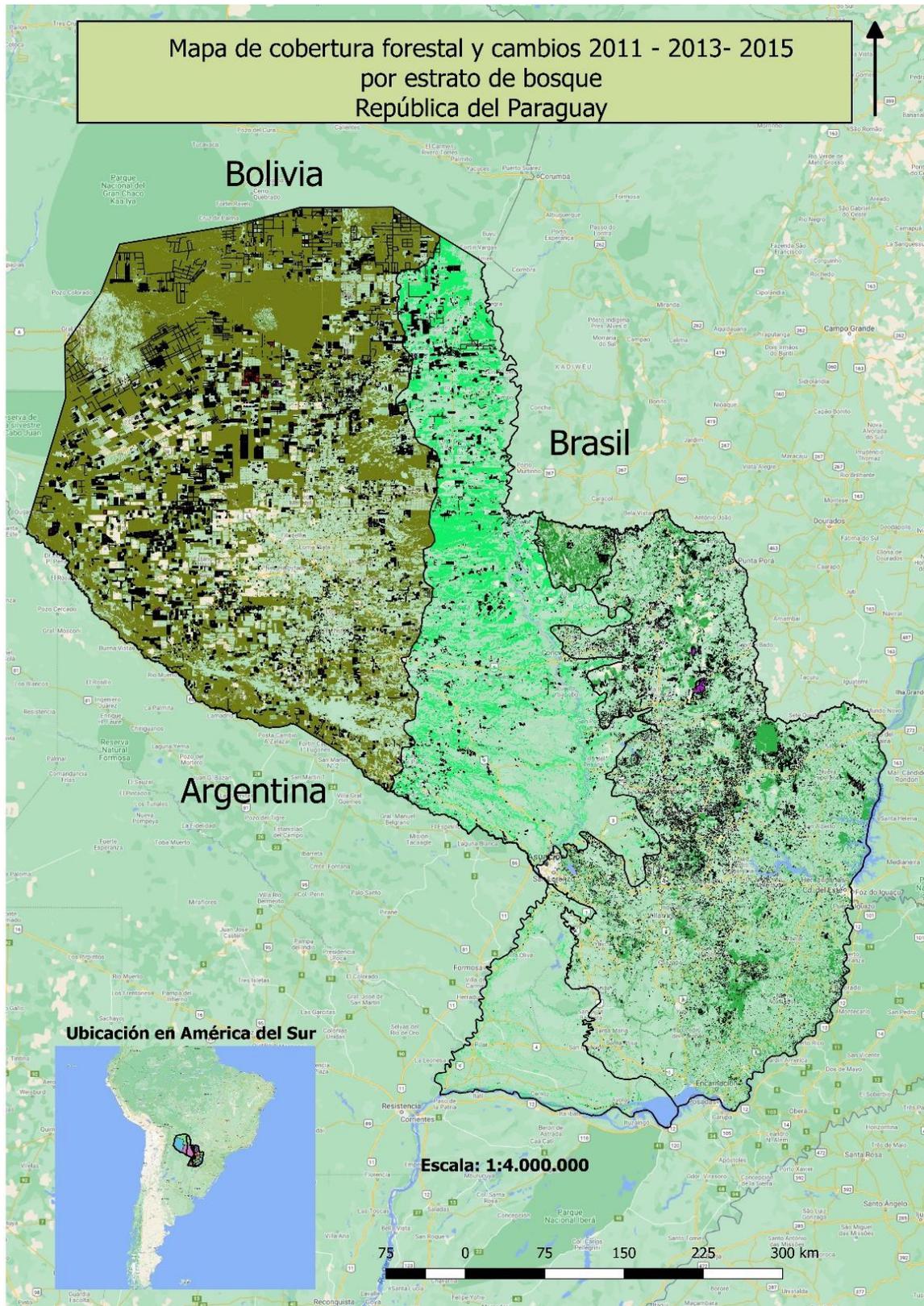


Figura 2. Mapa de cambio de la cobertura forestal correspondiente a los periodos 2011 – 2013 – 2015
Fuente: SSMT (SNMF/INFONA/MADES, 2021)

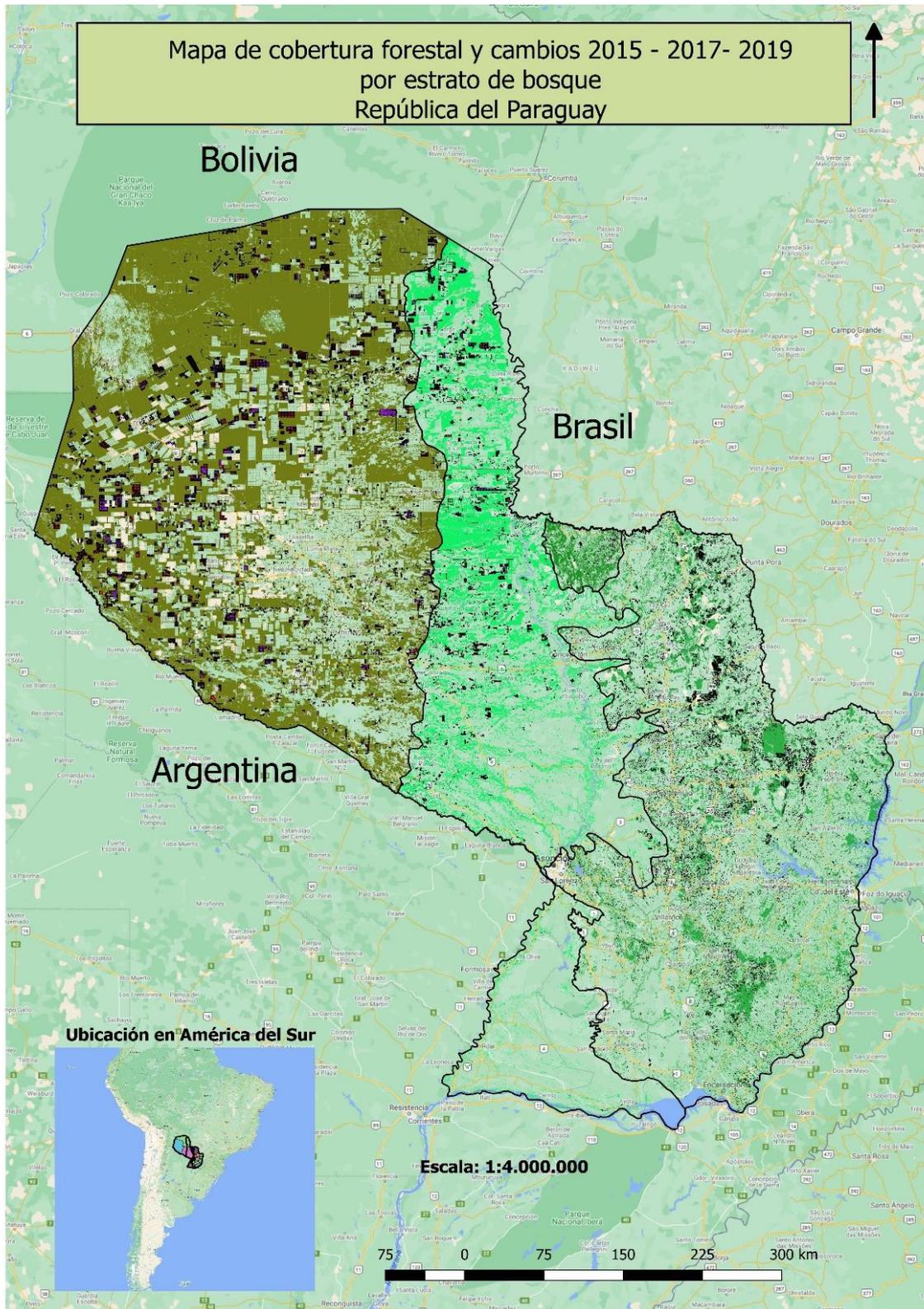


Figura 3. Mapa de cambio de la cobertura forestal correspondiente a los periodos 2015 – 2017 - 2019.
Fuente: SSMT (SNMF/INFONA/MADES, 2021)

3.2.2. Resultados de Datos de actividad para el NREF.

Los datos de cambio de la superficie cubierta por bosque constituyen los **datos de actividad** necesarios para la construcción del NREF, tal como se aprecian en la Tabla 3.

Tabla 3. Valores de superficie de deforestación total en hectáreas, por estrato de bosque nativo.

Estrato de bosque nativo	Período 2012 – 2019
	Deforestación total (ha)
Bosque Húmedo de la Región Oriental (BHRO)	340.032
Bosque Seco Chaqueño (BSCH)	1.997.385
Bosque Sub Húmedo del Cerrado (BSHC)	9.808
B. Sub Húmedo Inundable del Río Paraguay (BSHIRP)	268.477
Total	2.615.701

Por su parte, en la tabla 4, se puede observar los datos de superficie de conversión de uso (deforestación) en hectáreas por año en el período 2012 - 2019, para cada estrato de bosque identificado. Estos valores se obtuvieron de la superposición de los mapas de clasificación de las tierras del IPCC con el mapa de estratificación de bosque nativo (que comprende la delimitación de 4 estratos o tipos de bosque). Para obtener las cifras anuales, se consideraron los promedios simples de deforestación para cada serie temporal; es decir se procedió a dividir la cifra total de cada período de análisis por la cantidad de años comprendidos. Se aplicó este procedimiento, debido a que los DA con los que cuenta el país proceden de los mapas que fueron generados para series temporales específicas. Estos DA se emplearon para la estimación preliminar de las emisiones históricas de tCO₂e por deforestación bruta de bosque nativo, los cuales se pueden observar más adelante, en la tabla 11.

Tabla 4. Superficies anualizadas de deforestación (ha) por estrato de bosque nativo, para el período de análisis 2012 – 2019.

Año	Período considerado*	B. Húmedo de la Región Oriental (BHRO)	B. Seco Chaqueño (BSC)	B. Sub Húmedo del Cerrado (BSHC)	B. Sub Húmedo Inundable del Río Paraguay (BSHIRP)	Total Deforestación ha/año
1	2011 - 2012	47.868	214.851	2.376	30.875	295.970
2	2012 - 2013	47.868	214.851	2.376	30.875	295.970
2	2013 - 2014	68.753	385.295	1.479	35.609	491.136
4	2014 - 2015	68.753	385.295	1.479	35.609	491.136
5	2015 - 2016	24.075	202.536	838	42.314	269.764
6	2016 - 2017	24.075	202.536	838	42.314	269.764
7	2017 - 2018	29.320	196.010	211	25.440	250.981
8	2018 - 2019	29.320	196.010	211	25.440	250.981

Fuente: SNMF (MADES/INFONA, 2021).

*Ver en el Anexo I, el rango de fechas de las imágenes empleadas

3.3. Factores de emisión

La estructura de niveles (Tier) utilizada en las Directrices del IPCC (2003) es jerárquica, suponiendo para el Nivel más alto (Tier 3) una mayor exactitud del método y como resultado mayor exactitud en el factor de emisión (FE, o EF por sus siglas en inglés de *Emission Factors*).

En el caso de Paraguay, el proceso de estimación de factores de emisión corresponde a los niveles 1 y 2. Para este NREF, se emplearon resultados provenientes de información específica del país, colectada mediante las remediciones del 50% de las unidades de muestreo (UM) del primer Inventario Forestal Nacional (IFN), implementado a escala nacional en el Paraguay. Para la cuantificación de la Biomasa viva total se emplearon tanto ecuaciones alométricas (EA) generadas localmente para los estratos de Bosque Húmedo de la Región Oriental (BHRO), Bosque Seco Chaqueño (BSCH) y Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay (BSHIRP); así como también ecuaciones generadas para los trópicos (nivel 1) así como factores de expansión generados a partir de las mismas ecuaciones locales para el Bosque Sub húmedo del Cerrado (BSHC).

La sección 2.4 de Estratificación de bosque nativo, explica las características de cada uno de los estratos identificados por el IFN. En tanto, en relación a la metodología para la estimación de los contenidos de biomasa y carbono para los distintos estratos de bosque, se encuentran en el Anexo III de este documento: *“Procedimiento general de las remediciones del IFN”*.

Las remediciones del IFN se ejecutaron entre los años 2018 y 2019, mientras que el procesamiento estadístico culminó en el año 2021 (con las últimas revisiones que incorporaron varias actualizaciones), los mismos fueron utilizados para el cálculo del contenido de carbono en bosques corresponden al levantamiento de información en 80 unidades de muestreo en total (para Biomasa aérea y Biomasa de raíz, con un tamaño de 60 x 60 metros (0.36 ha) cada una; en tanto para el sotobosque la información corresponde al procesamiento de datos de 68 unidades de muestreo aproximadamente (ver Figura 4 y Anexo III).

Para el estrato de Bosque Húmedo de la región Oriental (BHRO) se establecieron 23 unidades de muestreo; mientras que, para el Bosque Seco Chaqueño (BSCH), se relevaron datos de 57 UM en conglomerado (cada conglomerado cuenta con 3 parcelas, a excepción de un conglomerado en la que una parcela no aplicó). El procesamiento de datos para la biomasa aérea (AGB) y Biomasa de raíz (BGB) corresponde a la totalidad de estas unidades de muestreo. Atendiendo al Bosque Sub Húmedo del Cerrado (BSHC), se dispone de datos colectados y procesados en 15 unidades de muestreo para la Biomasa aérea y de raíz. Para el Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay los datos proceden de 16 unidades de muestreo. La información relacionada a la formación del Palmar, se encuentra en el Anexo VI: estimaciones de emisiones para “Otras tierras”.

En este punto, es conveniente la aclaración en cuanto al levantamiento de la información en un número menor de unidades de muestreo para el “sotobosque” en todos los estratos (a excepción del BHRO) debido a que algunas unidades de muestreo no aplicaron para la colecta de datos (por ausencia de sotobosque, inundación y otros motivos). El detalle de este proceso se encuentra en el Anexo III.

El detalle de la cantidad de UM para biomasa aérea y de raíz se visualiza en la columna correspondiente y las UM para sotobosque en la columna de la derecha, para cada estrato respectivamente:

Tabla 5. Cantidad de unidades muestrales establecidas por el IFN por tipo de bosque.

Tipo de bosque (estrato) del IFN	Unidades muestrales (AGB y BGB)	UM sotobosque (AGB y BGB)
Bosque Húmedo de la Región Oriental (BHRO)	23	23
Bosque Seco del Chaco (BSCH)	19*	16**
Bosque sub húmedo del Cerrado (BSHC),	15	13
Bosque sub húmedo inundable del río Paraguay (BSHIRP)	16	13
Total de unidades de muestreo establecidas	73	65

**Observación: considerando tres parcelas por conglomerado, para el Bosque Seco del Chaco corresponden a 56 parcelas en total para AGB y BGB; y*

***48 parcelas para sotobosque.*

La metodología utilizada para la colecta de datos de UM por el equipo técnico del Inventario Forestal Nacional se encuentra sistematizada en el Manual de Campo (FAO, 2015); y en cuanto al procesamiento preliminar de los mismos, la metodología general que fue empleada está basada en el Informe preliminar de Procesamiento y análisis de datos del Inventario Forestal Nacional (PNC ONU REDD+, 2015a). Básicamente, esta metodología fue ya utilizada para el establecimiento del primer NREF.

Estos documentos se encuentran disponibles en el enlace que figura en la sección 5: “Información transparente, completa, consistente y precisa”; los mismos corresponden a informes adjuntos y complementarios a éste, (para más detalles, en el Anexo III se resume el procedimiento).

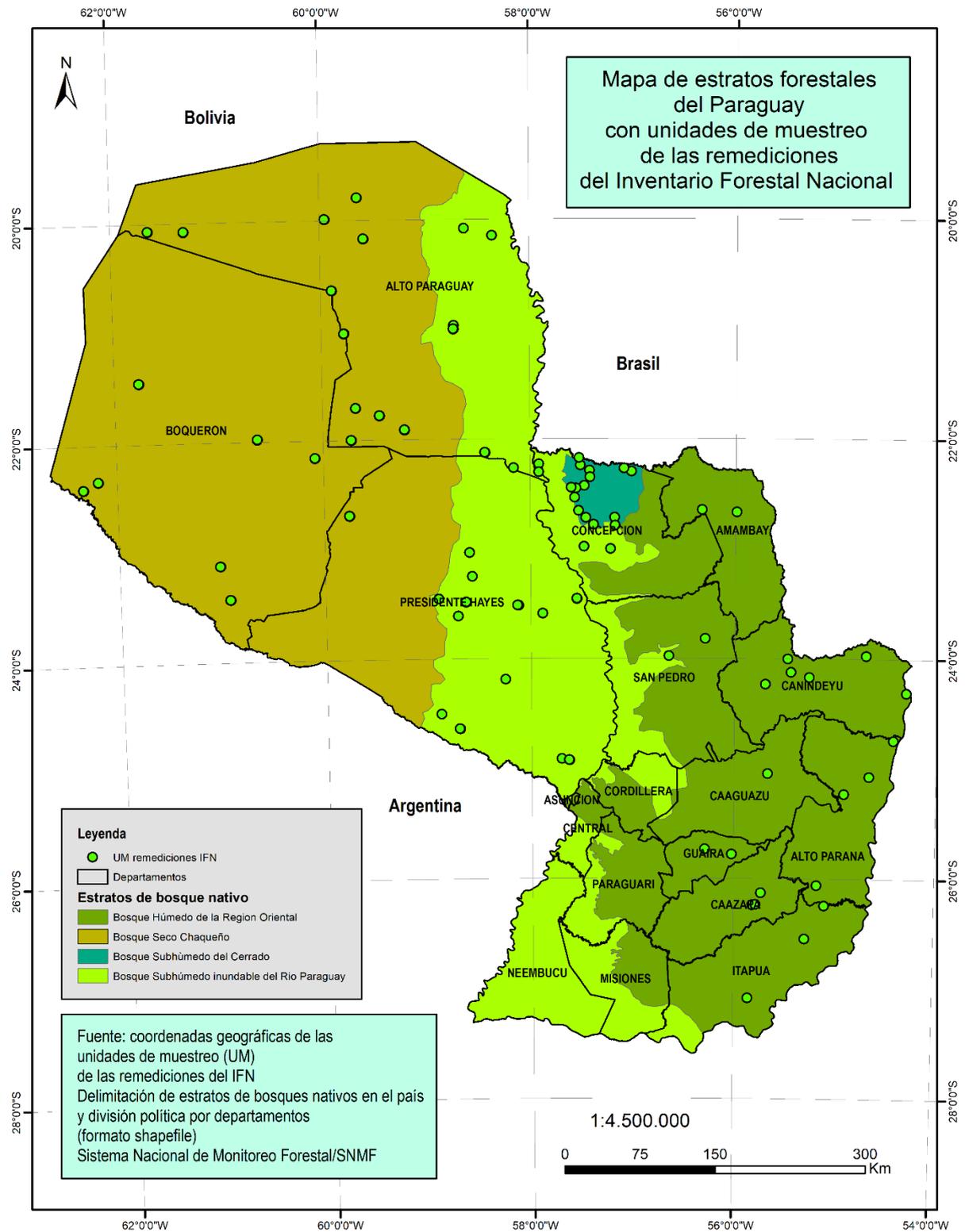


Figura 4. Mapa de ubicación del total de las unidades de muestreo con levantamiento de información en los estratos de bosque, para las remediciones del IFN.

Fuente: elaboración propia con información de las localizaciones de las remediciones del IFN (IFN/SNMF, 2021)

3.3.1. Estimación de biomasa, carbono total y tCO₂ equivalente por estrato de bosque

Para la determinación de “factores de emisión” actualizados con base en las informaciones aportadas por las remediciones de las UM en bosque nativo, básicamente se aplicaron las mismas ecuaciones alométricas (EA) que fueron empleadas anteriormente para la determinación del primer NREF.

Al respecto de las EA, casi en su totalidad fueron generadas a través de trabajos conjuntos y de cooperación como las desarrolladas por el proyecto “Desarrollo de metodologías de monitoreo de carbono almacenado en los bosques para REDD+ en Paraguay”, ejecutado por el *Forestry and Forest Products Research Institute* del Japón (FFPRI), la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción (FCA-UNA), el Instituto Forestal Nacional (INFONA) y la Secretaría del Ambiente (SEAM, actualmente Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADES).

El criterio para la selección de estas EA desarrolladas en el país, se debe a que la mayoría de las otras ecuaciones generadas a nivel regional como las genéricas de Chave, solo contemplan la Biomasa aérea (Sato *et al.*, 2015). Pero principalmente, debido al hecho de que para su construcción se empleó una metodología de muestreo y aprovechamiento (método destructivo) de diferentes especies forestales características de cada estrato de bosque nativo, diámetros, densidades, entre otros parámetros. Fundamentalmente considerando las especies predominantes de cada tipo de bosque, se seleccionaron 16 especies características del Bosque Húmedo, 13 especies del Bosque Seco Chaqueño, y 9 para el Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay. Se puede obtener más información, consultando los artículos científicos: “Generación de las ecuaciones alométricas para ecosistemas del Paraguay” y “Ecuaciones alométricas para la especie *Ceiba chodatii* en el Chaco Oeste Paraguayo”, de Sato *et al.* (2015).

Para la estimación de la biomasa viva total (incluyendo biomasa bajo el suelo, BGB por sus siglas en inglés *Belowground Biomass*) y la biomasa arriba del suelo (AGB, por sus siglas en inglés de *Aboveground Biomass*), se aplicaron ecuaciones alométricas (EA) desarrolladas localmente por Sato *et al.*, 2015 (para los estratos de Bosque Húmedo de la Región Oriental - BHRO, Bosque Seco Chaqueño - BSCH y Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay – BSHIRP), y para la especie *Copernicia alba* del Bosque Palmar por la Organización No Gubernamental Guyrá Paraguay (2015).

Igualmente, se utilizaron EA específicas para la obtención de Biomasa aérea y viva total, desarrolladas para la especie característica del Bosque Seco Chaqueño: *Ceiba chodatii*, denominada comúnmente Samu’u (*Bottle-shaped Tree*). Estas ecuaciones, también fueron desarrolladas en el país por Sato *et al.* (2015).

Otras ecuaciones que fueron aplicadas, se obtuvieron de artículos y publicaciones de institutos de investigación, Organizaciones No Gubernamentales (ONGs), proyectos e investigadores independientes del Paraguay y de la región, como las contenidas en la plataforma [GlobAllomeTree](http://www.globallometree.org) (www.globallometree.org) desarrollada por la *Università degli Studi della Tuscia* (DIBAF), La *Recherche Agronomique pour le Developpement* (CIRAD) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

En relación al Bosque Sub Húmedo del Cerrado (BSHC), para la estimación de la biomasa aérea y total se empleó una ecuación generada para los trópicos por Chave *et al.* (2005), así como factores de expansión obtenidos con base en las mismas ecuaciones locales

Las EA que fueron generadas a nivel de estrato de bosque, pueden ser aplicadas a cada árbol independientemente de la especie, cuyo valor alcanzará la precisión estadística deseada una vez que se realice la sumatoria de la biomasa de todos los árboles de cada unidad de muestreo. Luego de ser aplicadas a cada árbol, se realizó la extrapolación de los resultados a nivel del estrato boscoso correspondiente.

Por su parte, para obtener resultados de Biomasa de raíz, se procedió a realizar una sustracción del resultado de Biomasa viva total, teniendo en cuenta que la fórmula incluye este componente.

El siguiente procedimiento consistió en la **conversión del contenido de biomasa a contenido de carbono**; sin embargo, el país no dispone de datos específicos de la fracción de carbono para la diversidad de especies arbóreas de los estratos boscosos identificados, de esta forma la conversión se efectuó aplicando el factor promedio por defecto propuesto para bosques subtropicales por el IPCC (2006). El mismo es de 0,47; proveniente de un rango entre 0,44 a 0,49 de fracción de carbono de la biomasa para todos los compartimentos del árbol.

Para el caso de las muestras de sotobosque, la obtención de la fracción de carbono se realizó directamente al procesar las sub - muestras obtenidas en campo, en el laboratorio, aplicando el método de combustión seca de la biomasa, a una temperatura de aproximadamente 900°C. La conversión de la biomasa a carbono se obtuvo al multiplicar la biomasa seca de cada muestra por la fracción de carbono remitida desde laboratorio.

Por consiguiente, el contenido de carbono asociado a cada uno de los estratos de bosque, constituyen los "**factores de emisión - FE**", asumiendo que la biomasa inmediatamente después de la deforestación corresponde a cero.

En tanto, el contenido de **Dióxido de Carbono equivalente (tCO_{2e}) en toneladas**, es el resultado del producto del contenido de carbono total (carbono sobre el suelo, carbono bajo el suelo y carbono del sotobosque) de cada estrato por el valor de la relación estequiométrica de 44/12, que corresponde a la división del peso molecular del oxígeno (O₂) de 44 y el peso molecular del carbono (C) que corresponde a 12 (IPCC, 2003).

El **contenido de carbono** en la biomasa viva total por hectárea en los diferentes tipos de bosques del país presenta una variación de 37,48 tn/ha a 79,87 tn/ha (tabla 6).

Tabla 6. Estimación del contenido de carbono y tCO_{2e} (ha) para todos los estratos de bosque.

Estrato de bosque nativo	Carbono Biomasa aérea (tn/ha)	Carbono Biomasa raíz (tn/ha)	Carbono Biomasa sotobosque (tn/ha)	Carbono Biomasa viva total (tn/ha)	Total tCO _{2e} /ha
BHRO	54,43	6,87	1,36	62,66	229,75
BSCH	29,22	7,76	0,50	37,48	137,43
BSHC	62,88	16,59	0,4	79,87	292,86
BSHIRP	51,91	18,49	0,14	70,54	258,65

Fuente: Remedaciones del Inventario Forestal Nacional (IFN/SNMF, 2021).

***Observación:** Estos valores corresponden a los resultados finales del levantamiento y procesamiento de información de campo de las remedaciones del 50% de las UM del IFN.

Para más detalles en relación a las ecuaciones, ver el resumen de procedimientos en el Anexo III: Procesamiento general de las remediciones del IFN, así como también el documento adjunto de Metodología del procesamiento y análisis de datos del IFN (versión octubre 2015).

3.3.2. Estimación de la incertidumbre de Factores de emisión

La estimación de los factores de emisión está asociada a diversas fuentes de incertidumbre, como valores de contenido de biomasa predeterminados, parámetros por defecto, errores de muestra y sesgo inevitable de mediciones de campo, incertidumbre de parámetros asumidos conservadoramente, valores de incertidumbre no informados por el IPCC y variabilidad interanual afectando los cambios de existencias de biomasa.

Los valores de incertidumbre (error absoluto) expresados en porcentaje, corresponde al resultado del procesamiento y análisis estadístico de la información colectada de las UM en todos los estratos de bosque nativo de las remediciones del IFN.

Los mismos están asociados a cada uno de los componentes del depósito de Biomasa viva total, es decir para el sotobosque, para la biomasa aérea y para la biomasa de raíz. Las mayores incertidumbres corresponden al sotobosque, en todos los estratos de bosques del país.

En la siguiente tabla, se pueden visualizar los valores para cada componente y estrato de bosque:

Tabla 7. Incertidumbre asociada (%), por componente de Biomasa viva para cada estrato de bosque.

Estrato de bosque nativo	Incertidumbre % Carbono Biomasa aérea	Incertidumbre % Carbono Biomasa sotobosque	Incertidumbre % Carbono Biomasa raíz
Bosque Húmedo de la Región Oriental (BHRO)	11,3	23,68	10,01
Bosque Seco Chaqueño (BSCH)	7,13	22,7	7,13
Bosque Sub Húmedo del Cerrado (BSHC)	8,34	48,75	8,34
Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay (BSHIRP)	18,25	34,69	14,15

Fuente: Remediciones del Inventario Forestal Nacional (IFN/SNMF, 2021).

3.4. Estimación de la precisión del NREF, asociada a FE y DA

El cálculo de la incertidumbre para determinar la precisión del segundo NREF se establece a partir de los resultados de “datos de actividad y “factores de emisión” empleados para la estimación de las emisiones promedio de tCO₂e.

Básicamente, para obtener este resultado se aplicó el método del nivel 1 propuesto por el IPCC, el cual contempla el cálculo de la propagación de la incertidumbre o de los errores (El detalle de este procedimiento se aprecia en el Anexo IV de este documento).

El resultado de la precisión del segundo NREF asciende a 25% a nivel nacional en el período de análisis 2012 – 2019.

Este resultado podría definirse como “preliminar”, debido a que se obtendrían DA más precisos producto de la segunda EET, que en consecuencia afectarán a la “precisión del NREF”. Asimismo,

se estima que para la versión final de este NREF se aplique el método del Nivel 2 “estimación de las incertidumbres por fuentes usando el análisis de Monte Carlo”.

3.5. Resultados de la construcción del NREF

Este segundo NREF del Paraguay no considera suposiciones de variaciones potenciales o impactos de políticas internas, ha sido construido teniendo en cuenta los datos históricos disponibles que serán capaces de reflejar los efectos de las políticas y estrategias implementadas a nivel nacional en las emisiones brutas asociadas a la deforestación.

Al respecto, la construcción del Nivel de Referencia de las emisiones forestales se realiza utilizando los “**datos de actividad - DA**” y los “**factores de emisión - FE**”, presentados en las secciones 3.2 y 3.3 respectivamente. Específicamente, las emisiones históricas de CO₂ equivalente en toneladas por año (tCO₂e/año), son obtenidas del producto del total de las emisiones de tCO₂e (ha) por la superficie promedio de deforestación (ha/año).

Metodología empleada

El método empleado para calcular las emisiones anuales promedio de CO₂ provenientes de la deforestación, sigue la guía genérica propuesta por la Orientación de Buenas Prácticas del IPCC (2003) para UTCUTS, en términos de obtener el producto de “Datos de actividad” por el coeficiente o “Factor de emisión” asociado al estrato de bosque, para estimar las emisiones de tCO₂e.

Este principio, sigue el enfoque de la ecuación 3.1.1 de las Orientaciones del IPCC (2003, capítulo 3), como se presenta en la siguiente fórmula:

$$E_t = \sum I (A_{i,t} * EF_i)$$

Dónde:

E_t: NREF de las emisiones por deforestación al año; toneladas de CO₂ equivalentes por año (tCO₂e/año)

Σ= sumatoria

A: área deforestada en el estrato de bosque nativo *i* en el año *t*, en hectáreas/año (valores ponderados por superficie, resultantes de la evaluación de exactitud temática de los mapas de cambio)

EF: factor de emisión asociado al estrato de bosque nativo *i* en el año *t*; toneladas de CO₂ equivalentes/hectárea.

i: estrato de bosque nativo

t: un año

I: número total de estratos de bosque nativo

Observaciones:

Para la construcción de este NREF, los FE para un estrato de bosque nativo específico no difieren en el tiempo y en el espacio, porque se asume que el contenido de carbono promedio de los bosques maduros es constante.

En ausencia de datos a nivel nacional para las existencias de contenido de carbono para las categorías de uso del suelo no-forestales y de información espacialmente explícita relativa a las categorías de uso del suelo no-forestales implementadas en las áreas sujetas a conversión para todo el período de análisis histórico, el NREF propuesto asume una oxidación completa del

contenido de carbono en el depósito de Biomasa viva total y la suposición de un contenido de carbono de cero, luego de la deforestación del bosque. Este es el método más conservador y simple para calcular los factores de emisión.

Este supuesto se mantendrá también en las futuras mediciones, reportes y verificaciones de las emisiones por deforestación en el contexto de pagos por resultados, para mantener consistencia con el NREF, así que dicho supuesto no debería ocasionar estimaciones no-conservadoras de las reducciones de emisiones de GEI por reducción de la deforestación.

También, considerando que se tiene en cuenta solo las variaciones en el contenido de carbono de la biomasa viva, es razonable suponer que las emisiones de GEI por deforestación no fueron ni sobre-estimadas ni sub-estimadas de acuerdo a los datos y a la información actualmente disponible para estimarlas.

La siguiente tabla detalla las emisiones anualizadas y el total de las emisiones al año de tCO₂e, por estrato de bosque nativo.

Tabla 8. Emisiones anualizadas de tCO₂e para cada estrato de bosque nativo, por deforestación bruta.

Año	Período de análisis considerado	B. Húmedo de la Región Oriental (BHRO)	B. Seco Chaqueño (BSC)	B. Sub Húmedo del Cerrado (BSHC)	B. Sub Húmedo Inundable del Río Paraguay (BSHIRP)	Total emisiones tCO ₂ e/año
2012	2011 - 2012	10.997.844	29.526.271	695.681	7.985.716	49.205.511
2013	2012 - 2013	10.997.844	29.526.271	695.681	7.985.716	49.205.511
2014	2013 - 2014	15.796.185	52.949.835	433.150	9.210.046	78.389.215
2015	2014 - 2015	15.796.185	52.949.835	433.150	9.210.046	78.389.215
2016	2015 - 2016	5.531.380	27.833.882	245.531	10.944.491	44.555.285
2017	2016 - 2017	5.531.380	27.833.882	245.531	10.944.491	44.555.285
2018	2017 - 2018	6.736.379	26.936.967	61.734	6.580.023	40.315.103
2019	2018 - 2019	6.736.379	26.936.967	61.734	6.580.023	40.315.103

Fuente: Remediones del IFN (SNMF, 2021) y resultados de la EET de mapas de cambio en la cobertura de uso de la tierra (MADES, 2021a y b; IFN/SNMF, 2021)

La superficie total de deforestación bruta del país en el periodo de análisis representa 2.615.701 hectáreas, siendo el promedio simple de 326.962,63 ha/año aproximadamente.

De esta forma, **el segundo Nivel de referencia de emisiones forestales del Paraguay (NREF) en el período de análisis: 2012 – 2019** en la totalidad del territorio nacional, corresponde al promedio estimado de **53.116.279 tCO₂e/año** (ver figura 6, más adelante).

Este resultado corresponde a la versión preliminar del segundo NREF, debido a que como ya se mencionó, se efectuará una segunda EET con un margen menor de error (%) a los mapas de cambio en la cobertura de uso de la tierra. Los nuevos resultados a generarse, se esperan sean más precisos

Independientemente a estos datos numéricos, es importante describir la tendencia de estas emisiones en el periodo de estudio. En la figura 5 se observa la tendencia de las emisiones de tCO₂e/año, teniendo en cuenta los valores promedio producto de la obtención de cifras anuales con base en los resultados de DA para cada serie temporal. En el eje vertical se aprecia el rango de valores de las emisiones de tCO₂e, mientras que el eje horizontal representa los años comprendidos del período total de análisis.

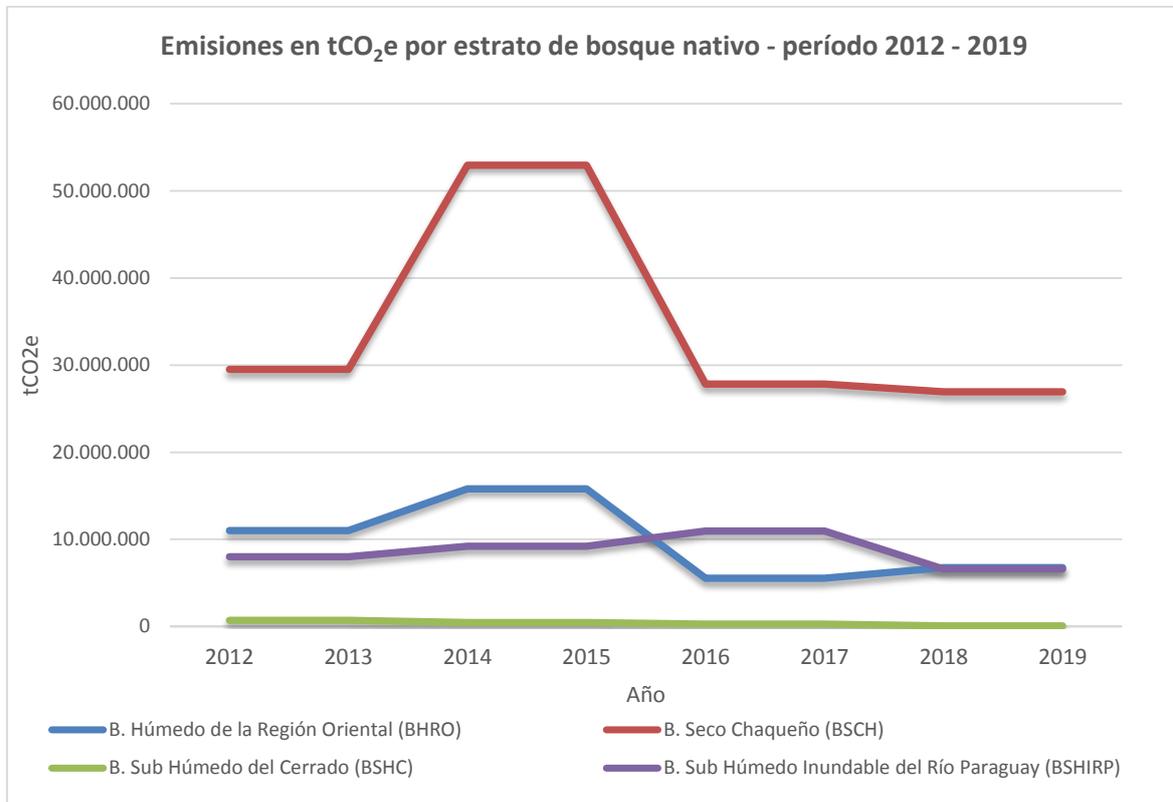


Figura 5. Tendencia de las emisiones anuales de tCO₂e, por estrato de bosque nativo
Fuente: elaboración propia de acuerdo a resultados de IFN/SNMF (2021) y MADES (2021)

En referencia al periodo comprendido entre 2014 – 2015, estos años se caracterizan por elevados niveles de deforestación en el BSCH; en tanto que, los años 2016 y 2017 representan un leve incremento en la deforestación en el BSHIRP. Resaltando que, el cambio de uso que registra el BSCH es significativamente mayor al cambio que se presenta en el BHRO.

En cuanto a la cifra de deforestación en el BHRO entre los años 2017 y 2019, la misma asciende levemente y se atribuye mayormente a la deforestación en el Bosque Seco Chaqueño, en tanto que disminuye levemente en el período más reciente (2013 – 2015).

Se aprecia en el gráfico que las emisiones de tCO₂e provenientes de la deforestación a nivel país, demuestran un comportamiento uniforme a excepción de los años 2014 y 2015, representando el nivel más alto para posteriormente, en los años más recientes descender a niveles inferiores en relación a los primeros dos años de inicio del período de análisis.

En la figura a continuación, se observa las emisiones promedio de tCO₂e que representa este segundo NREF, con base en las emisiones totales anuales en el Paraguay, destacándose la reducción de forma continua en los años más recientes:

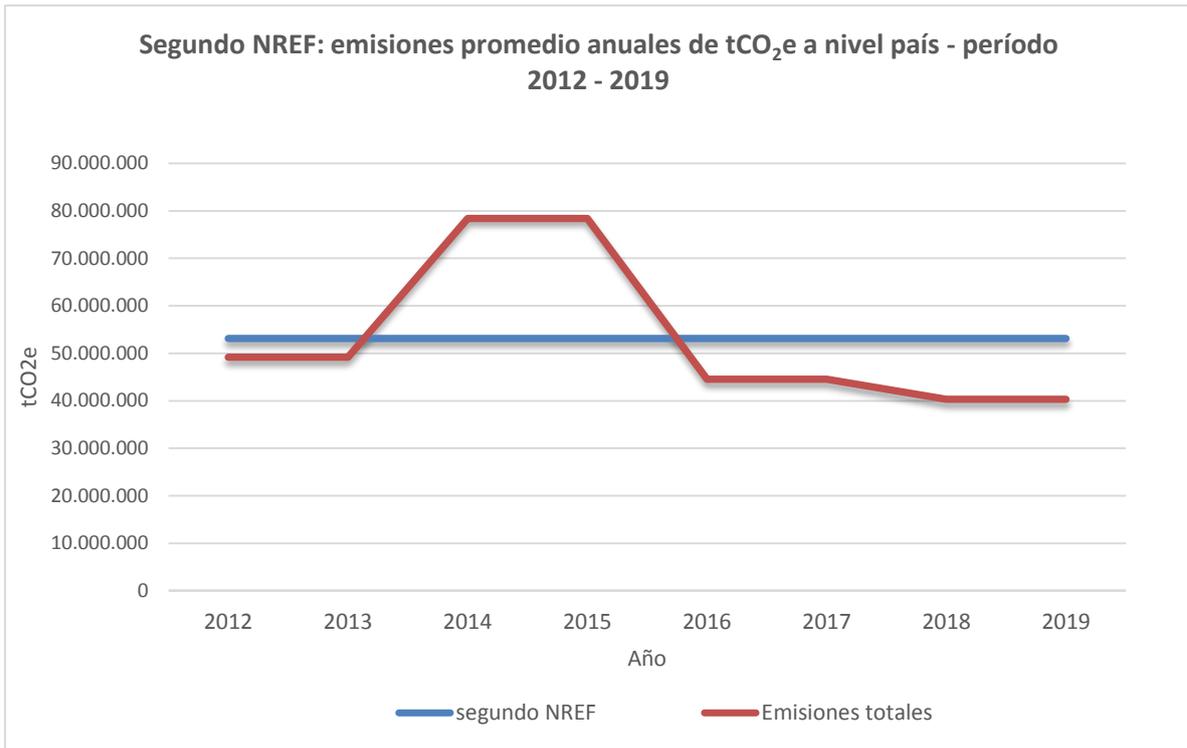


Figura 6. Segundo NREF y emisiones totales de tCO₂e al año, en el Paraguay.

Fuente: elaboración propia de acuerdo a resultados de PNC ONU REDD+ (2016); IFN/SNMF (2021) y MADES (2021).

4. Circunstancias Nacionales

En lo que respecta específicamente al mecanismo REDD+, el Marco de Varsovia en el año 2013 estableció cuatro elementos o pilares requeridos para su conformación: a) la Estrategia Nacional que determina el plan de acción o actividades a realizar; b) el NREF que constituye la línea base o el período histórico de referencia para la medición de las reducciones de GEI que se logren; c) Sistema Nacional de Monitoreo Forestal - SNMF (actualmente regido por el Decreto 3246/2020, el cual reglamenta el SNMF³), diseñado e implementado para la monitoreo de la dinámica de la cobertura forestal y de la estimación del contenido de carbono en bosques. Igualmente, d) el Sistema de Información de Salvaguardas (SIS) diseñado e implementado que indicará los beneficiarios con el mecanismo y en qué medida. Al respecto, en la plataforma REDD+ de la CMNUCC se encuentra disponible (además del documento de la Estrategia), el documento del Primer Resumen de información sobre el abordaje y respeto de las Salvaguardas de REDD+ en Paraguay, para el período 2011 – 2018⁴.

Al respecto, se destaca la presentación en el año 2016 del primer Nivel de Referencia de Emisiones Forestales por Deforestación (NREF) del Paraguay con un alcance nacional para el período 2000 - 2015. Este documento fue sometido a un proceso de Evaluación Técnica (*Technical Assessment*) por parte de los expertos de la CMNUCC en el año 2016, cuyo informe técnico menciona al NREF como consistente, coherente y transparente.

Posteriormente, en el año 2018, el Ministerio del Ambiente presentó el Anexo Técnico REDD+ con el reporte de la reducción de emisiones de CO₂ por deforestación en el período 2016 – 2018, incluido en el Segundo Informe Bienal de Actualización sobre cambio climático del Paraguay (IBA 2) a la CMNUCC, culminando satisfactoriamente el proceso de Consulta y Análisis Internacional (ICA, por sus siglas en inglés).

Atendiendo a estos antecedentes, el país cuenta con importantes avances para acceder a nuevos pagos basados en resultados en el marco del mecanismo REDD+ ante la CMNUCC; los cuales se describen seguidamente:

El Plan Nacional de Desarrollo - PND 2030⁵ constituye un instrumento de políticas públicas en el ámbito que compete a esta propuesta, debido a que contempla en uno de sus tres ejes estratégicos: “la inserción de Paraguay en el mundo”, en el cual menciona el objetivo de aumentar los ingresos nacionales por la venta de servicios ambientales (créditos por sumidero de carbono), vinculado a la meta de la mitigación del cambio climático en una de sus líneas transversales que constituye la “sostenibilidad del hábitat global” (República del Paraguay; Secretaría Técnica de Planificación del Desarrollo Económico y Social, 2014).

Igualmente, la Contribución Nacional Determinada del Paraguay⁶ (NDC, por sus siglas en inglés), establecida de acuerdo a los lineamientos del PND 2030 y presentada a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en el año 2015, por el cual asume el compromiso internacional de reducción de emisiones. En línea con ello; y en cumplimiento a la

³ Disponible en: http://www.mades.gov.py/wp-content/uploads/2020/01/DECRETO3246_lpx2nk9l.pdf

⁴ Disponible en: https://redd.unfccc.int/files/paraguay_2016_frel_submission_modified.pdf

⁴ Disponible en https://redd.unfccc.int/files/paraguay_resumen_de_informacion_salvaguardas.pdf

⁵ Disponible en: <http://www.stp.gov.py/pnd/wp-content/uploads/2014/12/pnd2030.pdf>

⁶ Disponible en:

<https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Paraguay%20First/Documento%20INDC%20Paraguay%2001-10-15.pdf>

actualización quinquenal (Art. 4.9 del Acuerdo de París), el Gobierno presentó una Actualización de su NDC⁷ en julio del año 2021. De esta forma, reafirma el compromiso de reducir en 20% las emisiones proyectadas en el escenario BAU (*Business as usual*) al 2030, correspondiendo el 10% a una fracción condicionada a la provisión internacional de los medios de implementación y el otro 10% a una fracción incondicionada (a partir del uso de sus propios recursos). La actualización de la NDC, contempla la identificación de ejes transversales para la generación de los instrumentos, contemplando la gestión de los riesgos climáticos, los aspectos normativos, la perspectiva de género, la atención a los pueblos indígenas, el empoderamiento climático y la promoción de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) al 2030. Asimismo, se basa en procesos participativos multisectoriales, para la construcción de los 2 Componentes: Adaptación y Mitigación ante el Cambio Climático (DNCC/MADES, 2021).

Mencionando de nuevo al mecanismo REDD+, en el marco de la fase de preparación del país fue generada la Estrategia Nacional Bosques para el Crecimiento Sostenible (ENBCS)⁸, aprobada en el año 2019 por la Resolución 293 del MADES⁹. Actualmente, la misma es de alcance nacional y fue construida en el contexto de los procesos de desarrollo propuestos por el PND 2030 y en coherencia con la Política Ambiental Nacional¹⁰, la Política Nacional de Cambio Climático¹¹ que menciona como una de las líneas estratégicas la captación de fondos y de mecanismos de financiación así a los mercados de carbono. Además, el Gobierno elaboró el Plan Nacional de Mitigación ante el Cambio Climático¹², la Política Nacional Forestal¹³, el Marco Estratégico Agrario¹⁴ y la Política Energética Nacional¹⁵. El documento de la ENBCS constituye el resultado de un proceso participativo de socialización y consulta con actores clave donde han participado 306 representantes, 46% mujeres, del sector público, privado, pueblos indígenas, organizaciones campesinas, la academia, financiero y la sociedad civil.

4.1. Causas de la deforestación

Tal y como menciona la ENBCS (MADES/PNUD, 2019), en el marco de la fase de preparación para el mecanismo REDD+, se han generado diversos trabajos que abordan los principales impulsores o *drivers* de la deforestación en el Paraguay, uno de ellos está incluido en el documento que detalla la construcción del primer NREF (PNC ONU REDD+, 2016). Al respecto, posterior a la revisión de las causas, el presente documento sintetiza los principales impulsores con el propósito de obtener un panorama completo que permita comprender las dinámicas asociadas al proceso de la deforestación

⁷ Disponible en:

https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Paraguay%20First/ACTUALIZACI%C3%93N%20DE%20LA%20NDC%20DEL%20PARAGUAY_Versi%C3%B3n%20Final.pdf

⁸ Disponible en:

https://redd.unfccc.int/files/estrategia_nacional_bosques_para_el_crecimiento_sostenible.pdf

⁹ Disponible en: <http://dncc.mades.gov.py/wp-content/uploads/2019/06/ENBCS-RESOLUCI%C3%93N-N%C2%B0-293.pdf>

¹⁰ Disponible en: http://archivo.seam.gov.py/sites/default/files/politica_ambiental_Nacional.pdf

¹¹ Disponible en: http://dncc.seam.gov.py/wp-content/uploads/2018/11/Politica-Nacional-CC_2016.pdf

¹² Disponible en:

http://archivo.seam.gov.py/sites/default/files/users/comunicacion/Plan%20Nacional%20de%20Mitigaci%C3%B3n%20al%20Cambio%20Clim%C3%A1tico%202017_0.pdf

¹³ Disponible en: http://www.stp.gov.py/v1/?wpfb_dl=22

¹⁴ Disponible en: http://www.mag.gov.py/sigest_actas/Marco%20Ampliado.pdf

¹⁵ Disponible en: https://www.itaipu.gov.py/sites/default/files/u51/Decreto_Nro_6092_0.pdf

Expansión de la frontera agrícola y ganadera (principales commodities: soja y carne)

El análisis ha permitido evidenciar que entre las causas directas más importantes de la deforestación a nivel país, se encuentra el modelo productivo extractivo que implica la expansión de la frontera agrícola y ganadera. Si bien, este proceso de expansión de la frontera agropecuaria ha sido constante en los últimos cuarenta años, es a partir de la década de los años 90 que el proceso se ha intensificado dramáticamente. Esta situación es sumamente evidente cuando se analizan los datos de la producción agrícola, los cuales indican un aumento en la superficie cultivada de soja (*Glycinemax sp.*), en aproximadamente 550.000 ha en el periodo 2012 – 2020 (CAPECO, 2021). Este incremento de actividades agrícolas se ha dado principalmente en la región Oriental, mientras que en la región Occidental se ha concentrado la expansión de la superficie destinada a la ganadería.

Particularmente este incremento ganadero, se debe a que la presión ejercida por el avance de la frontera agrícola en términos de superficie destinada a la producción (incentivada por la alta demanda local e internacional) y de igual forma obstaculizada por la vigencia desde el año 2004 de la “Ley N° 2524/04 de prohibición de las actividades de transformación y conversión de superficies de cobertura de bosques en la región Oriental del país”, contribuyó al desplazamiento masivo de las actividades a la región Occidental del país (a la cual no se aplica la misma restricción), también como consecuencia de la disminución de la cobertura boscosa (WWF-ID, 2014). Igualmente pese a la prohibición vigente, en la región Oriental sigue ocurriendo la deforestación ilegal (PNC ONU REDD+, 2016).

Teniendo en cuenta a la actividad ganadera en el Chaco paraguayo, también experimentó un gran crecimiento en la cantidad de cabezas de ganado bovino (hato). En todo el país, al año 2020, el hato ganadero es de poco más de 14.000.000 cabezas (SENACSA y MAG, 2021); experimentando en años recientes un impulso en cuanto a calidad de la carne y manteniendo al país como uno de los 10 mayores exportadores a nivel mundial (ARP, 2017 y Ministerio de Relaciones Exteriores, 2020). En esta zona del país, se espera se mantenga esta tendencia de incremento, dadas las restricciones legislativas y el alto precio de la tierra en la región Oriental.

Complementando lo afirmado en cuanto a las principales causas directas de la deforestación, existen además varias causas subyacentes que impulsan el proceso de la deforestación. Entre estas causas. Entre estas causas se encuentran:

- Proceso de colonización, acceso a tierras a través de las ocupaciones a propiedades privadas “invasiones”: a la desigualdad en la distribución de la tierra se suma la falta de regularización de la condición jurídica de la tenencia de la tierra para los pequeños productores.
- Necesidad de fortalecimiento de las capacidades nacionales para la prevención, control y sanción de la deforestación ilegal; si bien, el Paraguay cuenta con normativas como: Ley N° 716/95 “Que sanciona delitos contra el medio ambiente”; Ley N° 2524/2005 conocida como “Deforestación Cero” (vigente actualmente luego de sucesivas prórrogas), que prohíbe todo cambio de uso del suelo en la Región Oriental. Sin embargo, el cambio de uso sigue ocurriendo, hecho que advierte una clara inaplicabilidad de la ley para contener problemas sociales y económicos, considerando que los campesinos degradan o deforestan sus bosques para subsistir consumiendo y vendiendo leña (MADES/PNUD, 2019).

En relación a normativas en el país, se dispone de la Ley 3001/2006 “De valoración y retribución de los servicios ambientales”; pese a que en los últimos años se ha avanzado en su reglamentación y aplicación, se considera aún insuficiente en términos de brindar alternativas de rentabilidad para los propietarios de bosque.

- Patrones de producción y consumo no sustentables, la expansión de la frontera agropecuaria en el país está relacionada con la demanda y los precios del mercado internacional.
- Crecimiento poblacional y expansión de las zonas urbanas: en el transcurso de dos décadas, la población urbana del país se incrementó considerablemente; estimándose que para el año 2030 el 63.4% de la población del país resida en las ciudades (DGEEC, 2006).
- Demanda energética para uso doméstico e industrial (rural y urbano) de leña y carbón vegetal; el país continúa como uno de los países de la región con alto porcentaje de población rural, alcanzando el 37,9% DGEEC (2019), favoreciendo el uso de biomasa forestal como fuente energética. Al respecto, la matriz energética de Paraguay muestra que aproximadamente un 46% del consumo de energía del país proviene de biomasa (leña y carbón). Según las proyecciones para el año 2016 de la DGEEC, en base a los datos del último Censo Nacional de Población y Vivienda (2012), Paraguay sigue siendo uno de los países de la región con alto porcentaje de población rural, llegando a 36%, condición ésta que favorece el uso de biomasa forestal como fuente energética. Sin embargo, no sólo la población rural utiliza biomasa para las actividades, principalmente de cocción de alimentos, sino gran parte de la población urbana también.
- Extracción selectiva de madera, extrayendo las especies de mayor valor maderable comercial, sin aplicación de medidas de ordenación forestal ni consideración de criterios de sostenibilidad

4.2. Consideración de las circunstancias nacionales

La Decisión 12/CP.17 invita a las partes a tener en cuenta las circunstancias nacionales dentro de un posible ajuste al NREF.

En el caso particular de Paraguay, es importante indicar que los procesos y patrones de deforestación no son los mismos en todo el país, notándose diferencias entre la Región Oriental y la Región Occidental. Tal es así, que mientras en la Región Oriental se encuentra prohibida la conversión de superficies con cobertura boscosa, en la Región Occidental no existe tal restricción. Debido a esta diferencia, en los siguientes párrafos se analizan los efectos de la Ley de Deforestación Cero sobre la tasa de deforestación histórica en la Región Oriental del país y su posible implicancia en la proyección del NREF.

La Ley 2524 de “Prohibición en la Región Oriental de las Actividades de Transformación y Conversión de Superficies con Cobertura de Bosques” (también denominada de Deforestación Cero), entró en vigencia por primera vez en el año 2004 por un periodo inicial de dos años. A partir de esta primera entrada en vigencia se han dado varias ampliaciones, la última en el año 2020 a través de la Ley 6676, extendiendo la prohibición hasta diciembre del año 2030.

Esta Ley, representa uno de los elementos jurídicos más fuertes implementados en Paraguay a fin de detener el proceso de deforestación en la región Oriental, logrando con ello una importante reducción a partir de su entrada en vigencia. Sin embargo, esta reducción motivó a

un desplazamiento o fuga de la deforestación y consecuente fuente de emisiones a la región Occidental. En tal sentido, en la Figura 7, se observa la tendencia decreciente a partir del año 2005 en el BHRO (r. Oriental), mientras que en los estratos de BSCH (r. Occidental) y BSHIRP (en ambas regiones) se incrementa a partir del mismo año.

Esta tendencia representada en la figura, corresponde a los valores de superficie promedio de deforestación en (hectáreas) por cada estrato de bosque, considerando cada serie temporal del período de análisis total contemplado para la generación de los mapas de clasificación de coberturas de uso del IPCC (SNMF, 2020).

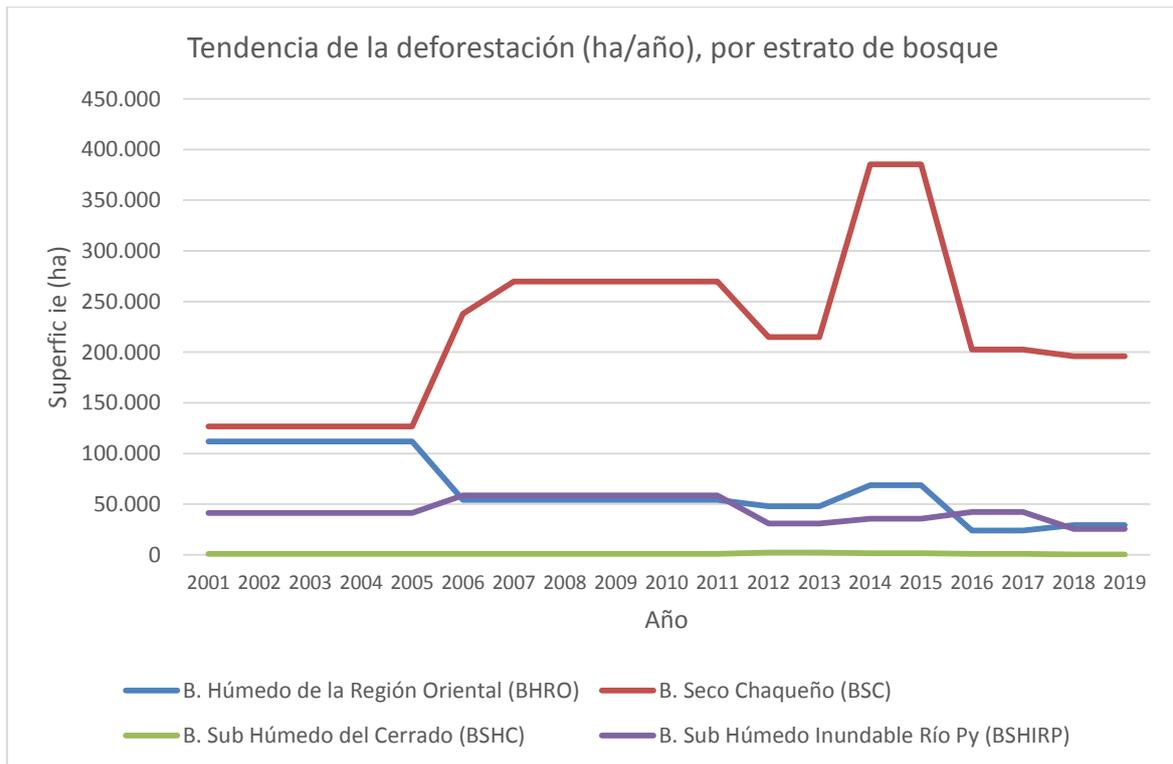


Figura 7. Superficie de deforestación promedio (ha/año) por estrato de bosque, y para cada período de tiempo analizado.

Fuente: SNMF (INFONA/MADES, 2021)

5. INFORMACIÓN TRANSPARENTE, COMPLETA, CONSISTENTE Y PRECISA

De acuerdo con el párrafo 2(c) del Anexo a la Decisión 13/CP.19, la información provista en relación a la presentación de un NREF/NRF debe ser transparente, completa, consistente y exacta y debe incluir información metodológica y una descripción de los conjuntos de datos, enfoques, métodos, modelos, y si aplicable, de los supuestos utilizados.

La información transparente y completa con relación al NREF implica que debe permitir la reconstrucción del NREF, debe ser consistente y precisa (CMNUCC, Anexo a la Decisión 12/CP.17), incluyendo información metodológica, utilizada para la construcción del NREF; con información de los datos, enfoques, métodos, si se aplica modelos y presunciones utilizadas, descripción de las políticas relevantes y planes, así como detalles de cambios respecto a presentaciones previas.

Todos los procesos y metodología aplicadas para la estimación de los “datos de actividad”, “factores de emisión” y construcción del NREF están reportados en el presente documento, incluyendo los Anexos y los documentos externos relacionados al proceso, citados más abajo. En relación a la información completa, toda la documentación relacionada que fue utilizada para la construcción del NREF del Paraguay, está disponible en una plataforma web de público acceso a través del siguiente link: <http://www.infona.gov.py/index.php/604>

A continuación, la lista de los mencionados documentos:

- Manual de Campo del Inventario Forestal Nacional (IFN). Programa ONU REDD+. Versión Programa ONU REDD+. 2015.
- Documento de Metodología de procesamiento y análisis de datos del IFN. Programa ONU REDD+. versión octubre 2015.
- Desarrollo de Ecuaciones alométricas para biomasa de árbol en ecosistemas forestales del Paraguay. Sato *et al.* (2015).
- Ecuaciones alométricas para *Ceiba chodatii* en la región Occidental o Chaco del Paraguay. Sato *et al.* (2015).
- Tercer Informe Bienal de Actualización sobre cambio climático del Paraguay (IBA 3). Agosto 2021. Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADES).
- Informes finales de evaluación de exactitud temática de los mapas de acuerdo a la clasificación de tierras del IPCC, para los años: 2011 – 2013 – 2015 y 2015 – 2017 - 2019. MADES, mayo 2021. Dirección de Geomática/Proyecto Bosques para el Crecimiento Sostenible (BCS/PNUD)
- Base de datos de cálculos para determinación de biomasa viva (incluyendo sotobosque) en todos los estratos de bosque, de las remediciones del IFN (2019).
- Planillas de cálculo para construcción del segundo NREF del Paraguay y estimaciones de la precisión del NREF, asociadas a FE y DA.

En lo concerniente a la información precisa utilizada en la construcción de este NREF, se reportan los valores de la propagación de la incertidumbre (nivel 1) asociados a los “factores de emisión” y “datos de actividad” utilizados. Este procedimiento es de carácter preliminar, debido a que los DA se actualizarán y se reportarán en una nueva versión de este documento, una vez finalice el proceso de evaluación técnica por parte de la CMNUCC.

Respecto a la consistencia de la información presentada, este segundo NREF propuesto se construyó empleando una metodología y un conjunto de datos únicos y consistentes entre sí.

Para la determinación de los DA históricos, se empleó una sola fuente de información que fueron los mapas de cobertura de uso de la tierra y cambio de cobertura de acuerdo a la clasificación propuesta por el IPCC, generados mediante la aplicación de una metodología transparente, coherente y replicable. Mientras que los FE utilizados, son los mismos para todos los años de análisis y proceden también de la aplicación de una misma metodología sistematizada, que corresponde a la establecida por el Manual de campo del Inventario Forestal Nacional (IFN).

En cuanto a la consistencia con el reporte del sector UTCUTS del INGEI contenido en el Tercer IBA del Paraguay, son necesarias algunas aclaraciones, las cuales se presentan en la sección siguiente.

6. Consistencia entre Reportes de emisiones presentados a la CMNUCC

6.1. Consistencia entre el NREF y el Tercer Informe Bienal de Actualización sobre cambio climático

El NREF debe mantener consistencia con las estimaciones del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) del Paraguay; de acuerdo a la CMNUCC, Decisión 13/CP.19, Anexo par. 2. La consistencia también implica utilizar las Directrices y Guías del IPCC, para ambos reportes, como fundamento para estimar las emisiones por fuentes y absorciones por sumideros relacionadas a los bosques (GFOI, 2014).

A continuación, se explica con detalle tanto la sinergia entre ambos reportes como las principales disparidades:

Actividades incluidas y período de análisis:

Al igual que para las estimaciones de este NREF, que solo considera las emisiones de CO₂ por “deforestación de bosque nativo” y aún no reporta las procedentes de la “degradación de bosque nativo”; el INGEI del IBA 3 no pudo estimar las pérdidas por perturbaciones (incendios) equivalentes a un tipo de: “degradación del bosque”. La justificación hace referencia a la falta de ajustes metodológicos entre datos de actividad y parámetros (principalmente debido a la falta de tiempo por la pandemia del COVID-19).

Estos puntos podrían sobreestimar las absorciones de las existencias en crecimiento o subestimar las emisiones resultantes (MADES-DNCC/PNUD-FMAM, 2021).

En relación al período de análisis, el INGEI del IBA 3 contempla las estimaciones de la serie temporal de 1990 – 2017, mientras que este NREF abarca el período comprendido de 2012 – 2019. Por lo tanto, el período común de análisis corresponde al 2012 – 2017.

Datos de actividad (DA):

El más reciente resultado de las estimaciones de tCO₂e del componente forestal¹⁶ del sector UTCUTS (de AFOLU) del INGEI contenido en el Tercer Informe Bienal de Actualización sobre cambio climático del Paraguay/IBA 3 (MADES-DNCC/PNUD-FMAM, 2021) es consistente con los reportados en el presente documento, al emplear las mismas cifras de DA sin sesgo (procedentes de la primera EET aplicada) para los mismos estratos de bosque nativos identificados por el IFN (BHRO, BSCH, BSHIRP y BSHC). Al respecto, y como se indicó en el apartado 3.2, los DA aplicados para la determinación de esta propuesta de NREF, son considerados preliminares.

En consecuencia, el próximo INGEI del país a generarse (a ser incluido en la Cuarta Comunicación Nacional o Informe de Transparencia Bienal – BTR, por sus siglas en inglés), dispondrá y empleará los mismos resultados de DA sin sesgo, asegurando con ello la consistencia de ambas

¹⁶ Específicamente en las categorías de: cambios que ocurren de “Tierras forestales (TF) a Tierras de cultivos”, “TF a Asentamientos humanos”, “TF a Humedales” y “TF a Otras tierras”, en el período 2012 – 2017 del sector UTCUTS del INGEI del IBA 3.

estimaciones. El objetivo de la utilización de esta información, es el aseguramiento en la incorporación de datos más actualizados y mejorados (menor incertidumbre asociada).

Factores de emisión (FE):

Los FE empleados para la construcción de este NREF corresponden a los resultados de una actualización efectuada en el año 2021 de las cifras procedentes de las remediciones del IFN (colecta de información en el período 2018 – 2019). Al respecto, esta actualización es el fruto de una revisión de los datos que fueron incluidos del registro procedente de las planillas de campo a la Base de datos del IFN; detectándose unas mínimas diferencias en cuanto a los resultados de contenido de carbono en la *biomasa viva en el estrato del BHRO y en el carbono del sotobosque del BSHIRP* (que en consecuencia representan leves disparidades en los resultados finales de emisiones de tCO₂e). Estos valores actualizados no están incorporados en el INGEI del Tercer IBA, por razones de tiempo; hecho que, en consecuencia, implica que deben utilizarse en el próximo INGEI a elaborarse.

Depósitos:

El INGEI del IBA 3 incluye la estimación de CO₂ en los depósitos de carbono de biomasa viva total, materia orgánica muerta y carbono en suelo, asumiendo que para el país todos los suelos son minerales, de acuerdo a lo afirmado en el IBA 2 (MADES/PNUD/FMAM, 2018). Asimismo, se evidencia la existencia de productos maderables y las existencias de pérdidas por perturbaciones (incendios), sin embargo, debido a la falta de información no pudo ser estimada la totalidad de los depósitos de carbono para cada una de las categorías incluidas en el INGEI, ni la categoría de productos de madera recolectada.

Como antecedente en cuanto a los reportes de “carbono en el suelo”, si bien el mismo fue reportado en el primer Informe Bienal de Actualización (SEAM, 2015) con los resultados preliminares procedentes del primer IFN, por la significancia en su contribución a las emisiones totales de CO₂ (39,1 % del total), en el Segundo IBA (MADES/PNUD/FMAM, 2018) no se consideró este depósito con la debida justificación de: “este depósito de carbono no pudo ser estimado para la serie temporal considerada por falta de datos confiables acerca de la distribución de las prácticas que influyen sobre la permanencia del C en el suelo de las tierras de cultivo y del nivel de laboreo de las mismas a nivel país. Para un próximo inventario se espera trabajar con actores clave del sector Agricultura para lograr una estimación de la dinámica del carbono en los suelos en las tierras de cultivo que pueda reflejar la realidad del país. Sin embargo, para las estimaciones del IBA 3 se aplicaron los valores propuestos por defecto por el IPCC (2006), tanto de referencia en la existencia para sistemas de uso de la tierra como los distintos factores de cambio de existencias en “carbono del suelo”.

La exclusión de este depósito en la construcción del NREF por deforestación en el Paraguay, se justifica por el hecho de que solo se cuenta con informaciones específicas del país procedentes del “suelo forestal” de origen mineral, y no se dispone de informaciones adicionales disponibles en relación a las existencias de carbono o de volumen en la transferencia/intercambio de las emisiones, en las coberturas resultantes de la conversión de bosque nativo. Este valor de contenido de carbono total corresponde al resultado del primer IFN en cuanto a existencias de “carbono en suelo”, obtenido por colecta de datos en unidades de muestreo localizadas en el bosque; por lo que la utilización de estos resultados sin considerar el contenido de carbono de la cobertura de uso post deforestación en un nivel superior al propuesto por defecto por el IPCC, representaría una sobrestimación al asumir que todo el carbono en el suelo forestal se emite.

Por otro lado, es importante indicar también que, como se mencionó en el documento del primer NREF (PNC ONU REDD+/SEAM/INFONA/FAPI, 2016), en relación a informaciones reportadas de existencia de “suelos orgánicos” en el norte de la región Oriental del país en la Segunda Comunicación Nacional (SEAM, 2011); no hay estudios o investigaciones científicas que avalen esta afirmación. Por lo que se considera necesario recabar información *in situ*, empleando una metodología científica que sustente la confiabilidad de la investigación.

Mientras que, para el depósito de “materia orgánica muerta”, el INGEI emplea los resultados del primer IFN del país (año 2015), correspondientes a existencias de C en hojarasca y en madera muerta.

En síntesis, los resultados presentados en el IBA 3 en cuanto a emisiones totales de UTCUTS difieren de los resultados contenidos en el presente documento, debido a la inclusión de las emisiones correspondientes a estos dos depósitos.

En tal sentido, la figura 7 demuestra la comparabilidad en la contribución de emisiones totales de tCO₂e, para los depósitos de “biomasa viva”, “materia orgánica muerta” y “suelo”¹⁷ en las estimaciones del sector UTCUTS del INGEI/IBA 3, para el año 2017:

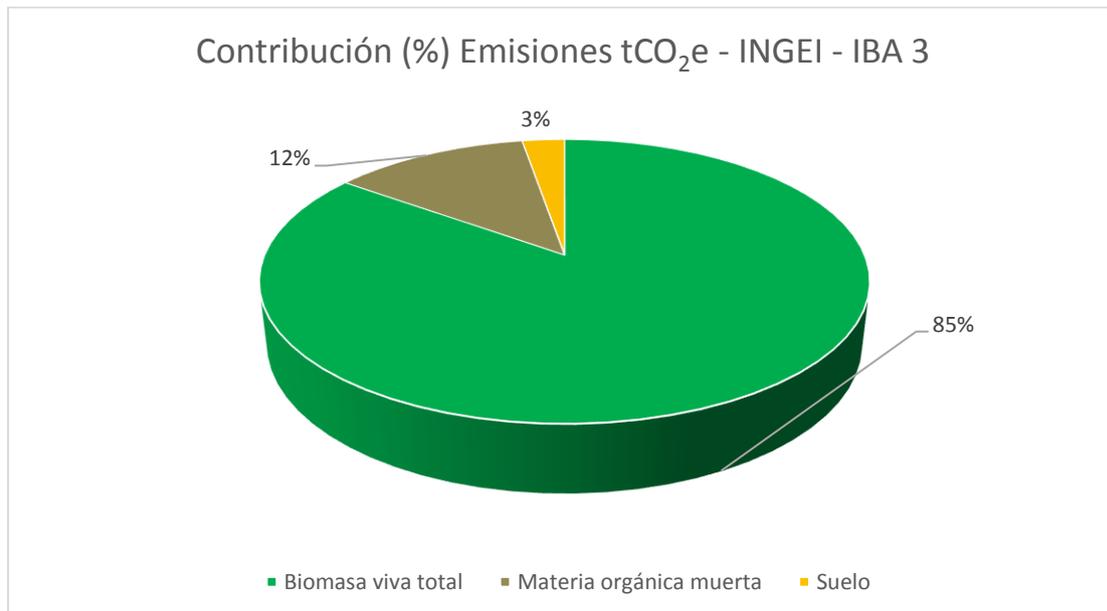


Figura 8. Contribución (%) de los depósitos de Biomasa viva, materia orgánica muerta y C en Suelo, en el total de emisiones (tCO₂e) – año 2017

Fuente: elaboración propia con base en resultados de: UTCUTS – INGEI/IBA 3 (MADES-DNCC/PNUD-FMAM, 2021)

Supuestos y/o presunciones de la metodología de estimación:

El sector UTCUTS contabiliza las emisiones y absorciones de GEI asociadas a las actividades del uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura en tierras gestionadas. Incluye los cambios en las existencias de carbono producidos en los depósitos citados más arriba. De acuerdo al IBA 3 (MADES-DNCC/PNUD-FMAM, 2021), se asume que todas las tierras son gestionadas en el país.

¹⁷ Para obtener la contribución porcentual de cada depósito, se tuvo en cuenta las categorías de conversión de: “Tierras forestales (TF) a Tierras de cultivos”, “TF a Asentamientos humanos”, “TF a Humedales” y “TF a Otras tierras”.

Mientras que, para el NREF, se consideró exclusivamente las emisiones de tCO₂e por conversión de tierras forestales (deforestación bruta de bosque nativo), asumiendo que las existencias de carbono post – conversión tienen un valor de “cero”.

Gases:

Respecto a la diferencia en cuanto a gases reportados; el NREF incluye exclusivamente las emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂), al igual que los resultados del sector UTCUTS – INGEI del IBA 3.

Otras emisiones de gases distintos a CO₂ como Metano (CH₄), asociadas a las transiciones de tierras forestales a tierras no-forestales tampoco se contemplaron en el presente NREF; aunque los procedimientos de tala, roza y quema sea una práctica común en el Paraguay para la conversión de bosque nativo en tierras de cultivo agrícola o para implantación de pastura destinada a actividades ganaderas. Este supuesto, así como también se consideró en la estimación del primer NREF, se debe mantener en las futuras mediciones, reportes y verificaciones de las emisiones por deforestación en el contexto de pagos por resultados para mantener esta consistencia.

En la siguiente figura se observa el detalle de las contribuciones en las emisiones de tCO₂e, desplegados en el Segundo y en el Tercer Informe Bienal de Actualización, correspondiente al año base: 2015 (barra o columna de la izquierda) y año base: 2017 (barra/columna derecha), respectivamente.

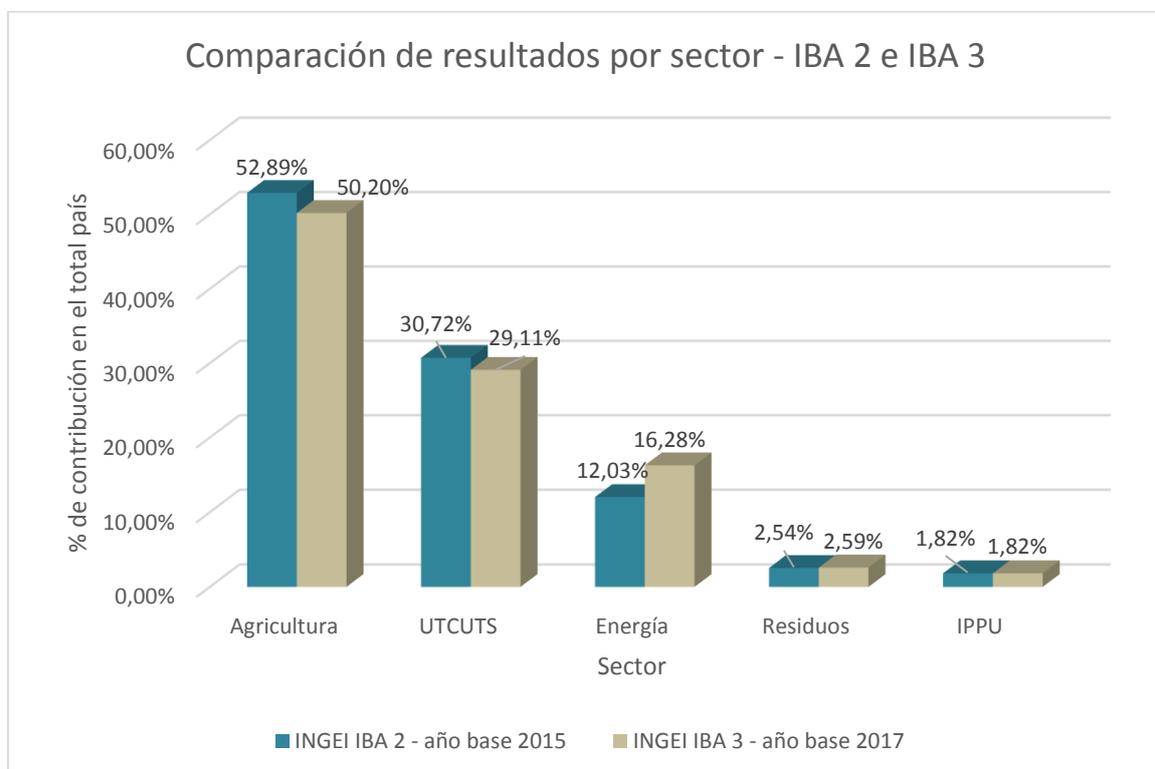


Figura 9. Contribución (%) de cada sector del INGEI en las emisiones de CO₂e: IBA 2, e IBA 3.

Fuente: MADES/PNUD/FMAM (2018) y MADES-DNCC/PNUD-FMAM (2021)

6.2. Diferencias con el primer NREF

Fundamentalmente, Este hecho conlleva a distinciones que seguidamente se presentan, así como también se incluyen las principales actualizaciones en cuanto a información que es empleada para la estimación de este segundo NREF; y que, en consecuencia, difieren con los utilizados en la construcción del primer NREF.

Tabla 9. Principales diferencias entre el primer NREF y segundo NREF

Detalle	Primer NREF	Segundo NREF
Definición de bosque nativo	Definición de bosque nativo formulada a los efectos del Programa ONU REDD+ (ver sección 2.3 de este documento)	La determinación de este segundo NREF toma como base la misma definición de bosque nativo del primer NREF en cuanto a criterios y parámetros; con la salvedad de que se ajusta a lo establecido en el Decreto 7702/2017 en cuanto a la nomenclatura de "Otras tierras forestales" que comprende al Bosque Palmar (BP).
Factores de emisión (FE)	<p>Los FE empleados para la determinación del primer NREF corresponden en su mayoría a resultados preliminares del primer IFN del año 2015.</p> <p>Igualmente, emplea un resultado ponderado (preliminar) del FE correspondiente al BP y al Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay (BSHIRP).</p>	<p>El contenido de carbono promedio de la biomasa viva total correspondiente a este segundo NREF (62,65 tn/ha) representa un incremento del 8,1% aproximadamente con el utilizado en la construcción del primer NREF (57,57 tn/ha). Esta diferencia se debe primeramente a que, esta propuesta de NREF emplea resultados finales de las remediciones del IFN (efectuadas en los años 2018 y 2019).</p> <p>Además, solo contempla el FE específico del BSHIRP excluyendo al del BP (de acuerdo al Decreto citado).</p>
Datos de actividad (DA)	<p>Se emplearon los resultados de los mapas de cobertura y cambio en la cobertura forestal del SNMF, el mismo consideraba tres categorías de cobertura: "bosque estable", "no bosque estable" y "cambio".</p> <p>Asimismo, se utilizaron los resultados del mapa de cobertura del Palmar del año 2011, incluyendo como parte de la cobertura del BSHIRP. Las estimaciones de DA se efectuaron sin tener en cuenta los cambios ocurridos en años previos y posteriores, debido a que no se contaba con un mapa multitemporal de esta cobertura.</p>	<p>Se utilizan los resultados de mapas basados en la clasificación de tierras propuesta por el IPCC (ver sección 3.2 y Anexo I), los mismos fueron generados empleando algoritmos más precisos y aplicando índices en algunas bandas con el fin de obtener mejor calidad en la clasificación de las tierras (principalmente para la región Occidental del país).</p> <p>Igualmente, al excluir al Bosque Palmar de las estimaciones, no se emplean los resultados del mapa de cobertura de esta formación como parte de los DA vinculados a este NREF.</p>

Período de análisis	<p>Las emisiones promedio de tCO₂e fueron estimadas tomando en cuenta el período 2000 – 2015, de forma a disponer de un escenario que contemple las circunstancias nacionales de afectación (<i>drivers</i>) en las emisiones, entre ellas la época pre y post promulgación de la Ley 2524/2005 de prohibición de conversión de uso de la tierra en la región Oriental del país.</p> <p>La cifra promedio de emisiones de tCO₂e en el período 2000 – 2015 es de 58.763.376,14 (primer NREF)</p>	<p>Esta propuesta de NREF corresponde al promedio de las emisiones de tCO₂e en el período: 2012 – 2019, con el objetivo de que estos resultados puedan reflejar la situación nacional más actual producto de la implementación de las políticas públicas (ver sección 4 “Circunstancias nacionales”).</p> <p>La cifra promedio de emisiones de tCO₂e en el período 2012 – 2019 es de 53.116.279 (propuesta de segundo NREF)</p>
---------------------	---	---

Fuente: elaboración propia de acuerdo a descripciones contenidas en el documento de NREF (2016) y los insumos empleados para la determinación de esta propuesta de NREF.

Teniendo en consideración el período de análisis de cada NREF, la figura siguiente representa la comparación de los resultados de cada línea base: primer NREF (línea azul) y propuesta de segundo NREF (línea roja).

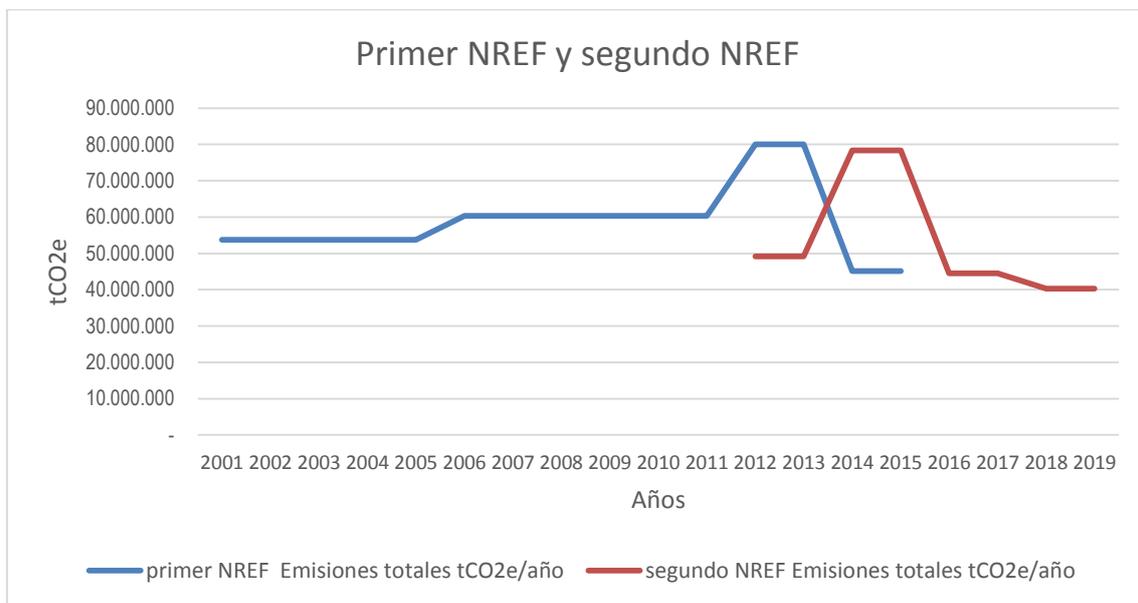


Figura 10. Comparación de las emisiones promedio de tCO₂e, a nivel país: primer NREF y segundo NREF
Fuente: elaboración propia, de acuerdo a PNC ONU-REDD+/SEAM/INFONA/FAPI (2016) y resultados del presente documento.

Las líneas de tendencia indican una disparidad entre los años 2012 y 2015, es decir en el primer NREF las cifras de DA eran mayores en los años 2012 y 2013 en comparación a las del segundo NREF. Por su parte, los valores en los años 2014 y 2015 corresponden a la inversa: son mayores para el segundo NREF. El motivo responde a la utilización de fuentes distintas de DA; es decir, mapas de cobertura y cambio forestal para el primero y mapas de clasificación de tierras del IPCC para el segundo.

Se espera identificar la razón de estas incompatibilidades durante el proceso de la segunda EET (con un margen de error menor) a aplicar a estos últimos mapas generados por el SNMF.

7. Consideraciones en cuanto a capacidades, limitaciones y futuras mejoras a implementar

El Paraguay se ampara en el enfoque gradual o *step-wise* de la CMNUCC, Decisión 12/CP.17, par. 10 y 12, el cual reconoce que los países en desarrollo pueden encontrar útil mejorar el NREF en el tiempo, al incorporar datos de mayor calidad, mejorar las metodologías, y cuando sea apropiado, reservorios o depósitos adicionales. También sugiere que los países deben actualizar su NREF periódicamente teniendo en cuenta nuevos conocimientos, tendencias o cualquier modificación en el alcance y las metodologías.

En referencia a esto, con base en las recomendaciones realizadas por los expertos del equipo de evaluación (TA, por sus siglas en inglés) en el marco de la Evaluación Técnica en el Proceso de Análisis y Consulta Internacional (ICA, por sus siglas en inglés) del documento del Anexo Técnico REDD+ del Segundo Informe bienal de actualización (IBA 2), y que por sus atributos podría aplicarse a esta propuesta de NREF período 2012 - 2019, el país deberá lograr un mejoramiento técnico en aspectos como:

- Asegurar la consistencia entre el NREF y los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (INGEI).
- Añadir los depósitos de carbono correspondientes a la necromasa y el carbono orgánico del suelo en los próximos esfuerzos de monitoreo y contabilización.
- Considerar la inclusión de otros gases de efecto de invernadero distintos del CO₂.
- Conducir investigaciones y análisis más profundos sobre el comportamiento de las circunstancias nacionales debido a las dinámicas sociales y económicas originadas después del Acuerdo de Paz.
- Reducir el nivel de incertidumbre de las estimaciones
- Incorporar los efectos de la degradación forestal en los futuros análisis

Sin embargo, por limitaciones en los recursos disponibles aún no se logró plenamente la adopción de estas recomendaciones, implicando que estas mejoras están sujetas tanto a las capacidades como a las políticas nacionales. En tal sentido, el Gobierno del Paraguay está comprometido firmemente en la continua mejora de las estimaciones para los próximos NREF, en línea con el enfoque gradual permitido.

A raíz de ello; primeramente, conviene destacar los resultados positivos para el fortalecimiento de capacidades en el marco del mecanismo REDD+, obtenidos gracias a la voluntad y el esfuerzo en años recientes realizados por el país en cuanto a mejora de las capacidades institucionales (técnica, logística y en recursos humanos), con el apoyo de iniciativas financiadas por organismos internacionales. A través de las mismas, las instituciones del Gobierno involucradas desarrollaron las remediciones del 50% de las UM del primer Inventario Forestal Nacional de forma a disponer de información de la dinámica del contenido de biomasa/carbono en los distintos estratos de bosque del país. Así como también, se logró la generación de mapas de acuerdo a la clasificación de tierras del IPCC, empleando una metodología actualizada y estandarizada en los procesos.

En atención a otra recomendación expresada durante la evaluación técnica del primer NREF, de considerar al **Bosque Palmer** como un estrato independiente y no emplear un FE ponderado; al respecto, el Decreto 7702/2017 determina la inclusión de esta formación en la categoría de "Otras tierras forestales". Esta disposición permite obtener resultados de las emisiones de CO₂e

asociadas de forma independiente y al mismo tiempo, excluirla de la construcción de la línea base que representa este segundo NREF, considerando las desavenencias en las posturas de distintos sectores del país (de la producción, de conservación) con relación a esta formación.

Asimismo, se prevé considerar a este estrato de la misma forma para las estimaciones de los futuros INGEI, con el propósito de mantener la consistencia entre todos los reportes del país.

Mejoras a implementar en relación a “definición de bosque”

En relación a las limitaciones actuales y futuras mejoras a implementar, muchas de ellas siguen siendo las mismas ya destacadas en el documento del primer NREF; es decir, corresponden a temas que no lograron una resolución debido a múltiples factores. Entre ellas, la **definición de bosque** a los efectos REDD+ utilizada para la determinación del NREF, la cual contempla dos umbrales o unidades mínimas de cobertura, una para cada región natural del país: 10% de cobertura mínima para la región Occidental y 30% para la región Oriental. Sin embargo, como se mencionó en la sección 2.3 y 3.2.1, restricciones en cuanto a la capacidad del sensor utilizado para el análisis de las distintas coberturas y cambios en el uso/cobertura (Landsat, de resolución espacial media), en la práctica se contempla una cobertura mínima de bosque del 30% (unidad mínima que puede ser identificada).

Se considera en que a futuro se debe estimar los cambios en la cobertura y uso de la tierra, considerando un área mínima inferior, es decir que sea consistente con el umbral definido como 10% para la región Occidental. Para lograr esta implementación, es necesario disponer de recursos para la adquisición de imágenes satelitales de mejor resolución y de la implementación de una metodología que permita la adecuada identificación de esta formación forestal.

Mejoras a implementar en relación a “actividades REDD+ a reportar”

Respecto a la actividad de “**reducción de las emisiones por Degradación de bosque nativo**”, actualmente el Paraguay está en etapa inicial de discusión y análisis de una definición, por lo que se estima prudente no incluir aún ninguna información oficial. No obstante, se está trabajando en una metodología para estimar geo espacialmente las superficies afectadas por incendios forestales, que supondría el cimiento para obtener resultados de DA correspondientes a la “degradación de bosque a causa de incendios”.

Por los motivos señalados, aún no se puede evaluar el potencial de significancia en las emisiones totales a nivel país, a causa de ausencia de información adecuada y confiable. Por otra parte, además de la degradación del bosque por incendios, se deben identificar los insumos necesarios y para estimar y monitorear la degradación de bosque debida a la extracción anual de leña, aprovechamiento de bosques y/u ocasionada por otros disturbios distintos a incendios, entre otras afectaciones que pudieran identificarse.

Mejoras a implementar en relación a “depósitos distintos a biomasa viva total”

De acuerdo a lo dispuesto por la CMNNUC, en la Decisión 12/CP.17 *sub-paragraph* (c) del Anexo, cualquier exclusión de depósitos significativos debe ser justificada. En lo que concierne a los resultados del contenido de carbono en el **depósito “carbono en el suelo”**, como se mencionó en la sección 2.5, se resolvió no incluir en este NREF por los motivos expresados seguidamente:

La medición del carbono en el suelo se realizó en el bosque, es decir, el resultado que reporta el INGEI es el contenido pre - conversión de cobertura, y respecto al contenido de carbono en suelos post-conversión de cobertura, aún no se dispone de esta información por lo que es

incierto el grado de variación o cambio en las existencias de este depósito. Es necesario un análisis más amplio en base a resultados de mediciones, para determinar certeramente el contenido final de carbono en las coberturas que se implantan luego de la conversión de bosque nativo. Al respecto el IPCC (2003) menciona que los cambios en el carbono del suelo producto de la conversión de tierra forestales a otras coberturas de uso, se estiman de la diferencia entre el contenido de referencia de carbono en el suelo del bosque y el carbono del suelo contenido en el nuevo uso de la tierra, utilizando un período de transición por defecto de 20 años.

En referencia a los “suelos orgánicos” mencionados en la Segunda Comunicación Nacional (SEAM, 2011), no hay información de carácter científico recabada *in situ*, que pueda ser incluida en el cálculo de la determinación del NREF del país. Por este motivo, se recomienda la realización de estudios científicos como colecta de información, elaboración de mapas y otros, que ayuden a sustentar esta afirmación.

En relación a las estimaciones de contenido de carbono para los demás depósitos, como ser “**materia orgánica muerta**”, si bien se reportan en el INGEI del Tercer IBA, se resolvió no incluir como parte de las estimaciones de esta propuesta de NREF. Esta exclusión se fundamenta en el supuesto de que el contenido de carbono en detritus no se pierde completamente luego de la conversión de uso de la tierra (deforestación), debido a residuos que permanecen en el suelo. De esta manera, se asume que al reportar una pérdida total del carbono se estaría incurriendo en una sobre -estimación de las emisiones.

Por lo expuesto, como medida conservadora, no se incluyeron en el cálculo para determinar este NREF ni el anterior.

Mejoras a implementar en relación a “ecuaciones alométricas”

Las **Ecuaciones alométricas** generadas en el país para obtención de biomasa arriba del suelo y total, a nivel de bioma o zona climática y específicas para la especie *Ceiba chodatii* (Sato *et al.*, 2015) y que son empleadas para todas las estimaciones de contenido de biomasa en bosques nativos; proveen errores relativamente bajos, pese a que las unidades de muestreo son limitadas. La recomendación brindada se refiere a ejecutar más muestreos destructivos empleando un mayor número de especies nativas y de individuos, con el objetivo de mejorar la representatividad de estas ecuaciones generadas a nivel local para los distintos estratos de bosque nativo, teniendo en cuenta su variabilidad y riqueza en especies florísticas.

Por este motivo, se emplearon las EA de Sato *et al.*, en combinación con otras desarrolladas para los trópicos (para el Bosque del Cerrado), debido a los buenos ajustes y a los valores más conservadores brindados por estas últimas.

8. Siglas y Acrónimos

AFOLU*	Agricultura, Silvicultura (Forestal), y Uso de la tierra
AGB*	Aboveground Biomass
BGB*	Belowground Biomass
BHRO	Bosque Húmedo de la Región Oriental.
BP	Bosque Palmar.
BSCH	Bosque Seco Chaqueño.
BSHC	Bosque Sub húmedo del Cerrado.
BSHIRP	Bosque Sub húmedo Inundable del río Paraguay
BUR*	Biennial Update Report
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.
CP	Conferencia de las Partes
DA	Dato de actividad
EA	Ecuaciones alométricas
FAPI	Federación por la Autodeterminación de los Pueblos Indígenas.
FE	Factor de emisión
FFPRI	Instituto de Investigación Forestal y de Productos Forestales del Japón.
FRA*	Global Forest Resources Assessment
GEE*	Google Earth Engine.
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GHG*	Greenhouse gases
IA*	Inteligencia artificial
IBA	Informe Bianual de Actualización.
ICA*	International Consultation and Analysis
IFN	Inventario Forestal Nacional.
INFONA	Instituto Forestal Nacional.
INGEI	Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero.
IPCC*	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático.
LULUCF*	Land Use, Land Use Change and Forestry

MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería.
NASA*	Agencia Aeroespacial Estadounidense.
NREF	Nivel de Referencia de las emisiones forestales
OBIA*	Clasificación Basada en Objetos.
PNC ONU-REDD+	Programa Nacional Conjunto ONU-REDD+.
REDD+	Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de los Bosques, conservación, manejo sustentable de bosques y mejora de los stocks de carbono.
SEAM	Secretaría del Ambiente.
SNIF	Sistema Nacional de Información Forestal.
SSMT	Sistema Satelital de Monitoreo Terrestre
TA*	Technical Analysis
UM	Unidad de muestreo
UMM	Unidad mínima de mapeo
UNFCCC*	United Nations Framework Convention on Climate Change
UTCUTS	Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura.
USGS*	Servicio Geológico de los Estados Unidos.

*Por sus siglas en inglés.

9. Referencias bibliográficas

Asociación Rural de Paraguay (ARP). 2017. Introducción a Paraguay y su Sector Cárnico. Disponible en: <https://www.arp.org.py/images/Paraguay-y-el-Sector-Carnico.pdf>

Arevalo, P., Olofsson, P., Woodcock, C. 2019. Continuous monitoring of land change activities and post-disturbance dynamics from Landsat time series: A test methodology for REDD+ reporting. Department of Earth & Environment, Boston University. Elsevier. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425719300136>

Bullock, E., Arévalo, P., Olofsson, P., Singh, D. 2019. Geo for Good Summit Presentation: AREA2 (Area Estimation & Accuracy Assessment). Disponible en <https://area2.readthedocs.io>
Cairns, M.; Brown, S.; Helmer, E.H.; Baugardner, G.A. Root biomass allocation in the words upland forest. 1997. *Oecologia* 111:1 -11.

Cámara Paraguaya de Exportadores de Cereales y Oleaginosas (CAPECO). 2021. Estadísticas de estimación del área sembrada de soja campaña 2012-2021. Disponible en: <https://capeco.org.py/area-de-siembra-produccion-y-rendimiento/>

Chave, J.; Andalo, C.; Brown, S.; Cairns, D.; Chambers, J.; Eamus, D.; Folster, H.; Fromard, F.; Higuchi, N.; Kira, T.; Lescure, P.; Nelson, B.; Ogawa, H.; Puig, H.; Riera, B.; Yamakura, T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Ecologia* 145: 87-99.

Cochran, W. 1977. *Sampling Techniques*. 3rd edition. New York. 442 p.

Decreto 3246 “Por el cual se reglamenta el Sistema Nacional de Monitoreo Forestal de la República del Paraguay”. Enero de 2020. Disponible en: http://www.mades.gov.py/wp-content/uploads/2020/01/DECRETO3246_lpx2nk9l.pdf

Dirección General de Encuestas, Estadísticas y Censos (DGEEC). 2006. Paraguay, proyección de la población por sexo y grupo de edad, según área urbana y rural 2000-2030.

Dirección General de Encuestas, Estadísticas y Censos (DGEEC). 2019. Encuesta Permanente de Hogares 2009-2016, Encuesta Permanente de Hogares Continua 2017 – 2018. Disponible en: <https://www.dgeec.gov.py/Publicaciones/Biblioteca/CONDICIONES%20DE%20VIDA/2018/Condiciones%20de%20vida%202009-2018%20absoluto%20y%20relativo.pdf>

Dirección General de Encuestas, Estadísticas y Censos (DGEEC). 2019. Proyecciones de la población nacional, áreas urbana y rural, por sexo y edad. Disponible en: https://www.dgeec.gov.py/Publicaciones/Proyecciones%20departamentos/2019/Paraguay_Triptico_2019.pdf

Di Rienzo, J; Casanoves, F; González, L; Tablada, M; Díaz, M; Robledo, W; Balzarini, M. 2008. *Estadística para las ciencias agropecuarias*. Sexta Edición, Córdoba, Argentina. Disponible en: <http://vaca.agro.uncor.edu/~estad/EstadisticaPCA.pdf>.

DNCC/MADES. 2021. Actualización de la NDC de la República del Paraguay al 2030. Asunción, Paraguay. 126 p. Dirección Nacional de Cambio Climático/Ministerio del Ambiente y Desarrollo

Sostenible. Disponible en:
https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Paraguay%20First/ACTUALIZACION%20DE%20LA%20NDC%20DEL%20PARAGUAY_Versi%C3%B3n%20Final.pdf

Food and Agriculture Organizations (FAO). 2014. Emerging approaches to Forest Reference Emission Levels and/or Forest Reference Levels for REDD+. Programa ONU-REDD+. FAO/PNUD/PNUMA. 54 p.

Food and Agriculture Organizations (FAO). 2015. Manual de campo: procedimientos para la planificación, medición y registro de información del Inventario Forestal Nacional del Paraguay. Inventario Forestal Nacional/Instituto Forestal Nacional/Sistema Nacional de Monitoreo e Información Forestal. Versión 2014. 188 p.

Food and Agriculture Organizations (FAO). 2015b. FRA 2015: Términos y definiciones de la evaluación de los recursos forestales mundiales: documento de trabajo No. 180. Disponible en: <https://www.fao.org/3/ap862s/ap862s00.pdf>

Global Forest OI (GFOI). 2014. Integración de las observaciones por teledetección y terrestres para estimar las absorciones y emisiones de gases de efecto invernadero en los bosques: Métodos y orientación de la iniciativa Mundial de Observación de los Bosques. Publicación: Grupo de Observación de la Tierra, Ginebra (Suiza). 190 p.

Google Developers, 2019. Google Earth Engine API. IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2003. Disponible en: <https://developers.google.com/earth-engine/>

Greenhouse Gas Protocol. 2007. Global Warming Potential. Adapted from table 2.14 of the IPCC 4th Assessment Report. <http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/tools/Global-Warming-Potential-Values.pdf>

Guyrá Paraguay. 2015. Ecuación alométrica del Bosque de *Copernicia alba*. Sin publicar.

Hansen, M. C., P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S. V. Stehman, S. J. Goetz, T. R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C. O. Justice, and J. R. G. Townshend. 2021. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science* 342 (15 November): 850–53. Data available on-line from: <https://glad.earthengine.app/view/global-forest-change#dl=1;old=0;bl=off;lon=-58.29022788186745;lat=-23.22276312363147;zoom=6;>

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2003. Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura. Programa del IPCC sobre Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Organización Meteorológica Mundial (OMM), Geneva, SUIZA.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. Directrices del IPCC para los Inventarios de Gases de Efecto Invernadero; Volumen 4 (Agricultura, Silvicultura y otros usos de la tierra). IGES, Hayama Kanasawa, JAPÓN. Disponible en: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/>

Inventario Forestal Nacional (IFN)/ Sistema Nacional de Monitoreo Forestal (SNMF). 2021. Resultados de las remediciones del primer Inventario Forestal Nacional, años 2018 – 2019.

Ley 2524 “de prohibición en la Región Oriental de las actividades de transformación y conversión de superficies con cobertura de bosques”. 2004. 2 p.

Ley 6123 de “Creación del Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible”. 2018.

Ley 6676 2que prohíbe las actividades de transformación y conversión de superficies con cobertura de bosques en la Región Oriental”. 2020. Disponible en: <https://www.bacn.gov.py/archivos/9496/LEY%206676.pdf>

Lojan, L. 1966. Apuntes del curso de dasometría. IICA. Turrialba. Costa Rica. C.A. 189 p.

Ministerio de Agricultura y Ganadería. 2009. Censo Agropecuario Nacional del año 2008. 105 p.

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). 2013. Marco estratégico agrario 2014/2018.

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y Sistema Integrado de Gestión para el Desarrollo Agropecuario y Rural (SISGEST). 2013. Marco Estratégico Agrario Directrices Básicas 2014 / 2018.

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). 2020. Cantidad de cabezas de bovinos, por departamento y total país. Dirección de Censo y estadísticas agropecuarias (DCEA) y SENACSA.

Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADES). 2018. Anexo Técnico REDD+ de la República del Paraguay, para pago por resultados en el marco del mecanismo REDD+. Disponible en:

https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Modified%20Technical%20Annex%20on%20REDD%2B%20Anexo%20Tecnico_Py_030619.pdf

Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADES). 2019. Primer Resumen de Información sobre el Abordaje y Respeto de las Salvaguardas de REDD+ en Paraguay para el periodo 2011-2018. Asunción, Paraguay: Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible, Dirección Nacional de Cambio Climático. Disponible en: https://redd.unfccc.int/files/paraguay_resumen_de_informacion_salvaguardas.pdf

Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADES). 2019. Estrategia Nacional de Bosques para el Crecimiento Sostenible. Programa Nacional Conjunto ONU REDD+/Bosques para el Crecimiento sostenible/FCPF/PNUD. Disponible en: https://redd.unfccc.int/files/estrategia_nacional_bosques_para_el_crecimiento_sostenible.pdf

MADES-DNCC/PNUD-FMAM. 2021. Tercer Informe Bienal de Actualización sobre Cambio Climático ante la CMNUCC. Proyecto IBA3. Asunción, Py. 452 p. Disponible en: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/IBA3_MADES_pliegos.pdf

Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADES). 2021a. Informe de Evaluación de exactitud temática (EET) del mapa de categorías de cobertura de la tierra de acuerdo al IPCC, período: 2011 – 2013 – 2015. Dirección de Geomática

Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADES). 2021b. Informe de Evaluación de exactitud temática (EET) del mapa de categorías de cobertura de la tierra de acuerdo al IPCC, período: 2015 – 2017 – 2019. Dirección de Geomática. 45 p.

MacLean, M.; Congalton, R. 2012. Map accuracy assessment issues when using an object-oriented approach. In: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing 2012 Annual Conference, 19-23 March. Sacramento, CA. 5 p.

Mereles, F. 1998. Estudios cuantitativos en las sabanas de "Karanda'y", *Copernicia alba* Morong. En el Chaco Boreal y la sub-cuenca del lago Ypacaraí, Paraguay. *Rojasiana* 5 (2) 279-290.

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). 2008. Censo Agropecuario Nacional. Paraguay.

Ministerio de Relaciones Exteriores/MRE. 2020. Paraguay, país de oportunidades. Disponible en: https://www.mre.gov.py/la/application/files/1916/0250/8061/PAIS_DE_OPORTUNIDADES.pdf

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

Pearson, T.; BROWN, S.; Ravindranath, N. 2005. Integrating carbon benefit estimates into GEF projects. United Nations Development Programme, Global Environment Facility. 64 p.

Programa Colaborativo de las NNUU (ONU-REDD+ Panamá). 2015. Mapa de cobertura y uso de la tierra 2012. Ciudad de Panamá. S. p.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). 2010. Sector rural paraguayo: una visión general para un diálogo informado. Número especial. Asunción, Paraguay. 146 p.

Programa Nacional Conjunto (ONU-REDD+ Paraguay). 2014. Informe de Estimación superficie y distribución de Palmar de Karanda'y (*Copernicia alba* Morong.) en la zona del bajo Chaco mediante la utilización de imágenes de satélite de mediana resolución espacial. s.p.

Programa Nacional Conjunto (ONU-REDD+ Paraguay). 2015a. Metodología de elaboración de Mapas de cambio de uso de la tierra en el Paraguay: Informe del equipo técnico. Versión de diciembre 2015. S. p.

Programa Nacional Conjunto (ONU-REDD+ Paraguay). 2015b. Metodología de procesamiento y análisis de datos del Inventario Forestal Nacional (IFN): Informe del equipo técnico. Versión de setiembre 2015. S. p.

Programa Nacional Conjunto (ONU-REDD+ Paraguay). SEAM/INFONA/FAPI. 2016. Nivel de Referencia de las Emisiones Forestales por Deforestación en la República del Paraguay para pago por resultados de REDD+ bajo la CMNUCC. Enero 2016. PNUD/FAO/PNUMA. Disponible en: https://redd.unfccc.int/files/2016_submission_frel_paraguay_es.pdf

Programa SilvaCarbon/Universidad de Boston. 2020. Estimación del área y precisión del mapa basada en muestras. Capacitación *online* (*webinar*). Disponible en: <https://edoiu.doi.gov/login/index.php>

Report on the Technical Assessment of the proposed Forest Reference Emission Level of Paraguay submitted in 2016. FCCC/TAR/2016/PRY. 16 páginas. Disponible: <https://unfccc.int/resource/docs/2016/tar/pry.pdf>

República del Paraguay; Secretaría Técnica de Planificación del Desarrollo Económico y Social. 2014. Plan Nacional de Desarrollo, 2030. Paraguay. Disponible en <http://www.stp.gov.py/pnd/wp-content/uploads/2014/12/pnd2030.pdf>

Sato, T.; Saito, M.; Ramírez, D.; Pérez, L.; Toryama, J.; Kiyono, Y.; Herebia, E.; Dubie, N.; Vera, M.; Duré, E.; Ramírez, J. 2015. Development of allometric equations for tree biomass in forest ecosystems in Paraguay. FFPRI/UNA/INFONA, Asunción, PY.

Sato, T.; Saito, M.; Ramírez, D.; Pérez, L.; Toryama, J.; Kiyono, Y.; Herebia, E.; Dubie, N.; Vera, M.; Duré, E.; Ramírez, J. 2015. Allometric equations for bottle-shaped tree (*Ceiba chodatii*) in the Chaco region, western Paraguay. FFPRI/UNA/INFONA, Asunción, PY.

Secretaría del Ambiente. 2007. Resolución Número 941/07, por la cual se establece la definición de Bosque para los Proyectos de captura/reducción de Carbono. 26 de junio 2007.

Secretaría del Ambiente. 2011. Segunda Comunicación Nacional, Paraguay. PNUD/GEF, PARAGUAY. 177 p.

Secretaría del Ambiente. 2015. Primer Informe Bienal de Actualización (IBA). Gobierno del Paraguay/PNUD/FMAM. 108 p.

Servicio Nacional de Sanidad Animal (SENACSA). 2021. Estadísticas de ganado vacuno sanitado.

Serna Pineda, S. C. 2009. Comparación de árboles de regresión y clasificación y regresión logístico (en línea). Tesis Mag. Estadística. Medellín, Colombia. 60 p. Consultado 26 nov 2015. Disponible en: http://www.bdigital.unal.edu.co/671/1/42694070_2009.pdf.

Sistema Nacional de Monitoreo Forestal (SNMF)/Proyecto Bosques para el Crecimiento Sostenible/Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). 2019. Informe de consultoría: Identificación de lecciones aprendidas durante la revisión del Anexo Técnico REDD+ y propuesta de hoja de ruta para la mejora continua para la consistencia con el INGEI. Asunción, Paraguay. Sin publicar.

Sistema Nacional de Monitoreo Forestal (SNMF)/Proyecto Bosques para el Crecimiento Sostenible (BCS) /Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). 2020a. Informes de Consultorías de Asistentes SIG para el Sistema Satelital de Monitoreo Terrestre (SSMT): región Oriental y Occidental. S.p.

Sistema Nacional de Monitoreo Forestal (SNMF)/Proyecto Bosques para el Crecimiento Sostenible (BCS)/Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). 2020b. Informe de consultoría – producto 12: Informe que presente una propuesta de protocolo de aseguramiento de la consistencia y la calidad de los datos y resultados reportados del SNMF, que represente una guía para el control adecuado de los resultados a ser empleados como insumos para diversos reportes internacionales; conforme recomendaciones del reporte de la evaluación técnica del Anexo Técnico REDD+, de documentar el proceso de Control y aseguramiento de la calidad (QA/QC). Sin publicar

Sistema Nacional de Monitoreo Forestal (SNMFa). 2021. Resultados de los mapas de cobertura de la tierra del IPCC. Dirección del Sistema Nacional de Monitoreo Forestal (DSNIF)/Instituto Forestal Nacional (INFONA)

Sistema Nacional de Monitoreo Forestal (SNMFb). 2021. Resultados preliminares de áreas quemadas del Paraguay, años 2019 y 2020. Dirección del Sistema Nacional de Monitoreo Forestal (DSNIF)/Instituto Forestal Nacional (INFONA)

Technical report on the technical analysis of the technical annex to the second biennial update report of Paraguay submitted in accordance with decision 14/CP.19, paragraph 7, on 27 December 2018. FCCC/SBI/ICA/2019/TATR.1/PRY. Setiembre 2019. Disponible en: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/tatr1_2019_PRY_advance_0.pdf

UNFCCC. 2021a. UNFCCC REDD+ Platform [online]. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). <http://redd.unfccc.int/submissions.html>

UNFCCC. 2021b. Biennial update reports (BURs) from non-Annex I Parties [online]. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). http://unfccc.int/national_reports/non-annex_i_natcom/reporting_on_climate_change/items/8722.php

United States Geological Service. 2015. USGS Landsat Project. Disponible en línea en: <http://landsat.usgs.gov/>.

WWF/Investigación para el Desarrollo (ID). 2014. Análisis social, económico y ambiental de la producción de soja y carne en Paraguay. Disponible en: <http://desarrollo.org.py/admin/app/webroot/pdf/publications/05-08-2016-16-36-43-5669>

Anexos

10. Anexos

II. Metodología de elaboración de los mapas de categorías de cobertura de la tierra del IPCC

Los valores de “*datos de actividad*” empleados en este reporte, corresponden a las cifras sin sesgo (resultantes del proceso de EET) del mapa de cobertura forestal y cambio en la cobertura forestal del Paraguay (clasificado de acuerdo a las categorías de uso de la tierra propuestas del IPCC); el mismo en su totalidad corresponde a los periodos: 2011 – 2013 – 2015 y 2015 - 2017 – 2019. Para su elaboración, se empleó una metodología similar a la desarrollada para la generación de los mapas de cobertura forestal y cambio en la cobertura forestal (categorías: “bosque estable”, “no bosque estable” y “cambio”, del período 2000 – 2015) y los períodos siguientes: 2015 – 2016 y 2016 – 2017, cuyos resultados se utilizaron como “*Datos de Actividad*” en la construcción del primer Nivel de Referencia de las Emisiones Forestales (NREF) y para el primer Anexo Técnico de reducción de emisiones de CO₂ de REDD+ del Paraguay contenido en el Segundo Informe Bienal de Actualización sobre Cambio Climático ante la CMNUCC - IBA 2 (MADES/PNUD/FMAM, 2018), respectivamente.

Las principales diferencias entre este mapa y los citados, radica en el rango de selección de las imágenes para el análisis de cada período, la utilización del algoritmo *Random Forest* y la discriminación de las categorías resultantes de los cambios ocurridos, tomando en cuenta la nomenclatura propuesta por el IPCC. En cuanto al algoritmo, el *Random forest* (o *random forests*) también conocido en español como “Bosques Aleatorios” es una combinación de árboles predictores tal que cada árbol depende de los valores de un vector aleatorio probado independientemente y con la misma distribución para cada uno de estos. Es una modificación sustancial de “*bagging*” que construye una larga colección de árboles no correlacionados y luego determina el promedio. El objetivo principal del “*bagging*” es obtener promedios de varios modelos “ruidosos”, pero aproximadamente imparciales, y por tanto reducir la variación.

Al respecto, la metodología implica una combinación de la clasificación de las coberturas de la tierra (mediante muestras de entrenamiento y agrupación de píxeles basados en su respuesta espectral) empleando principalmente la plataforma *Google Earth Engine* (GEE, por sus siglas en inglés).

La plataforma GEE es de escala planetaria “en la nube” y en ella se procesan imágenes de satélite y otras informaciones de observación de la tierra; fue desarrollada en conjunto por *Google*, *Carnegie Mellon University*, la *NASA*, *United States Geological Survey* y *TIME*. La plataforma dispone un catálogo de datos para análisis, en el que investigadores o interesados involucrados en la tema pueden en colaboración compartir información, algoritmos y pueden visualizar los resultados o productos mediante URLs (links de acceso a la web).

Fueron empleadas las siguientes herramientas, además de la plataforma GEE para el procesamiento de imágenes y la clasificación supervisada:

- ✓ Para la segmentación (clasificación basada en objetos, OBIA por sus siglas en inglés), se empleó el software gratuito (libre) *Monteverdi2*;
- ✓ Los softwares *Quantum GIS* libre (QGIS) y de licencia *ARCGIS* para la corrección manual de la clasificación, así como para el manejo de bases de datos geoespaciales y el diseño de impresión de los mapas finales.

Las imágenes empleadas son las del satélite Landsat 5 *Thematic Mapper* (TM), 7 *Enhanced Thematic Mapper* (ETM), y Landsat 8 *Operational Land Imager* (OLI), que en la actualidad el programa se encuentra en su octava versión denominada: “*Landsat Data Continuity Mission*” (LDCM). El Landsat 8 cuenta con dos sensores de observación terrestre, el primero de ellos denominado OLI y el sensor térmico infrarrojo *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). Ambos recogen datos de forma conjunta para proporcionar imágenes coincidentes de la superficie terrestre. La lista completa de las escenas empleadas, con el detalle de las fechas que componen el mosaico para cada órbita y punto, se puede observar en las tablas 9 y 10:

Seguidamente, el proceso metodológico empleado (SNMF/BCS/PNUD, 2020) para obtención de los mapas empleados para la construcción de este NREF:

Para la ejecución de los primeros pasos de generación del Mapa, se emplea la plataforma GEE, cuyo manejo se realiza principalmente mediante el uso de lenguajes como *Javascript* y *Python*, a través de una interfaz de usuario que permite la creación y visualización de análisis geospaciales complejos, como procesamiento de imágenes, clasificación, detección de cambios, análisis multitemporales, uniones, conversiones ráster-vectorial, extracción de características basadas en vectores, entre otras funciones (*Google Earth Engine Team*, 2017).

- a) **Pre procesamiento y selección de imágenes:** consiste en la selección de las escenas consideradas de mayor calidad y con menor cobertura de nubes. Al emplear los productos Landsat “L1T”, no es necesaria la aplicación de correcciones geométricas adicionales, ya que estos productos constituyen escenas que cuentan correcciones radiométricas y geométricas sistemáticas aplicadas.

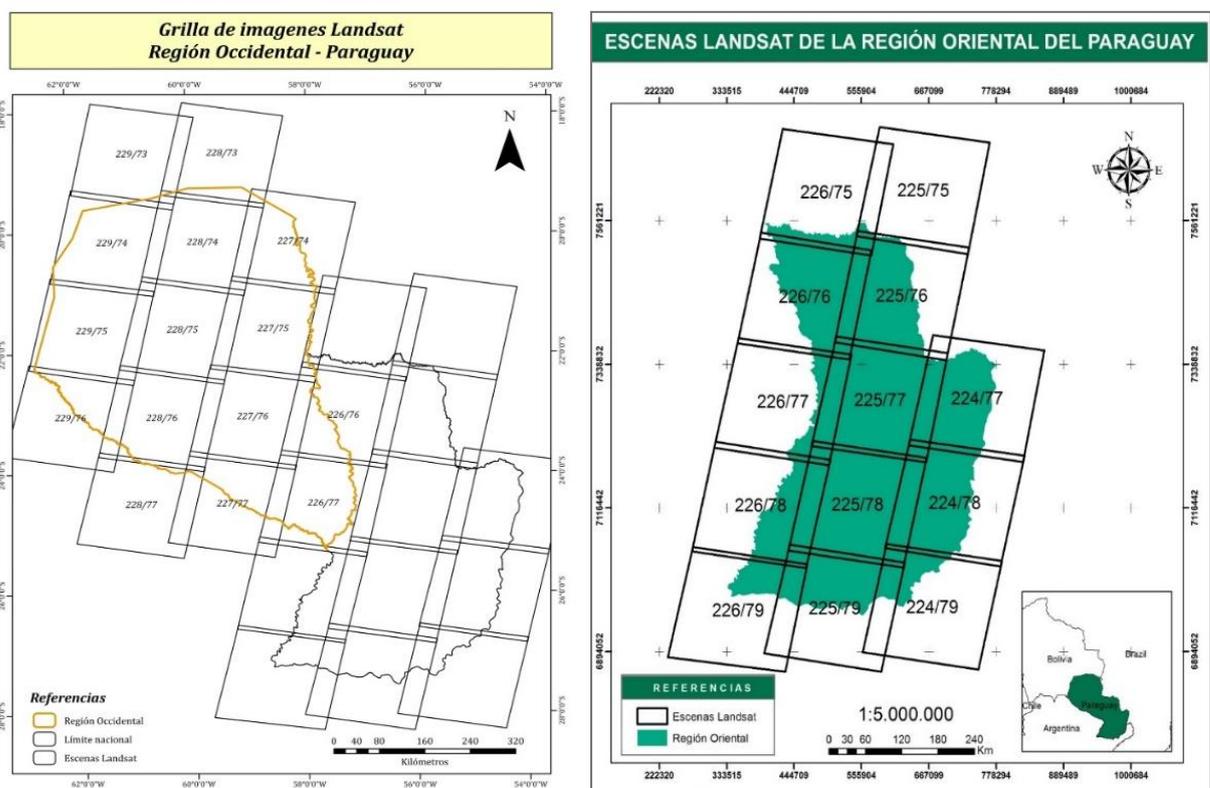


Figura 11. Cobertura de imágenes satelitales Landsat para el Paraguay (punto y órbita), por región.
Fuente: BCS/PNUD (2020).

Seguidamente, se describirán detalles concernientes a cada región del país y discriminando algunas particularidades que hacen referencia a una serie temporal específica (cada serie a su vez, se compone de 3 años de análisis: 2011 – 2013 – 2015; o 2015 – 2017 - 2019). Se resaltan algunas diferencias en algunos procedimientos, atendiendo a que se trabajó de forma independiente para cada región y con insumos/fechas distintas para cada serie temporal (Proyecto BCS/PNUD, 2020).

Primeramente, en alusión a las especificidades del procedimiento aplicado para las escenas de la **región Oriental** del país:

Para la serie temporal de 2011 – 2013, se emplearon las imágenes satelitales del sensor Landsat 5 TM, mientras que para las siguientes series temporales se utilizaron imágenes satelitales Landsat 8 OLI. La selección de las escenas para posteriormente componer el mosaico, se realizó teniendo en cuenta el porcentaje de nubosidad y la calidad de la imagen, utilizándose algoritmos que calculan un valor máximo de 5 a 15 % de nubes para cada píxel basándose en el brillo, la temperatura y el valor de Índice Normalizado de Nieve/NDSI (Google Developers 2015). También se aplicaron algoritmos como “*ee.Reducer.median*”, el cual reduce la colección de imágenes a una imagen individual. Específicamente, la salida de píxeles se calcula de manera a que cada píxel en la salida se componga del valor mediano de todas las imágenes en la colección en esa ubicación.

El último paso de esta fase, consiste en la generación de un mosaico multi-fecha que implica la unión de cada mosaico (de cada año de análisis) en un mosaico o archivo ráster único. De esta forma, se produce un mosaico final que integra la totalidad de las bandas empleadas en su composición inicial para ambos años de inicio y fin del análisis.

El mosaico multibanda Landsat consistió en unir bandas de tres mosaicos para formar un solo mosaico final de 17 bandas para el primer periodo de análisis: 2011 – 2013 - 2015. Las cinco primeras bandas (B1, B2, B3, B4, B5) representan el primer año (2011), las seis siguientes bandas (B6, B7, B8, B9, B10, B11) representan el segundo año de estudio (2013) y las últimas seis bandas (B12, B13, B14, B15, B16 y B17) representan el tercer año en estudio (2015).

Mientras que, el mosaico multibanda para el período: 2015 – 2017 – 2019 de la región Oriental, consistió en 18 bandas. Las seis primeras bandas (B1, B2, B3, B4, B5, B6) representan el primer año (2015), las seis siguientes bandas (B7, B8, B9, B10, B11, B12) representan el segundo año de estudio (2017) y las últimas seis bandas (B13, B14, B15, B16, B17, B18) representan el tercer año en estudio (2019).

Para el último año de análisis: 2019, se utilizó un algoritmo y un script adicional para la selección de imágenes considerando el período de menor precipitación, con un rango de abril a julio (tomando un promedio estadístico de los píxeles de cada una de las escenas de estos meses). Esta técnica permite seleccionar un mayor número de escenas por órbita y punto, disminuyendo con ello los errores en la clasificación al asegurar que todos los píxeles seleccionados posean las condiciones requeridas.

Como se puede apreciar en la tabla siguiente, para cada órbita y punto (*path/row*), se seleccionaron varias escenas (fechas distintas en el transcurso de varios meses), realizándose una mezcla o combinación de los mejores píxeles teniendo en cuenta parámetros para la búsqueda de imágenes que realiza de forma automática la plataforma GEE considerando principalmente una máxima cobertura de nubes admisible (basándose en el brillo y la temperatura), en un rango de selección de: enero a diciembre para cada año de análisis.

Seguidamente, se detalla las fechas de todas las escenas seleccionadas por la plataforma GEE, para cada órbita y punto de la región Oriental del país, discriminada por año de inicio y fin de análisis.

Tabla 10. Detalle de las fechas de las escenas empleadas por órbita y punto (2017 - 2019), de la Región Oriental.

Órbita (path)	Punto (row)	Fecha año 2011	Fecha año 2013	Fecha año 2015	Fecha año 2017	Fecha año 2019	
226	75	21/03/2011	16/07/2013	07/08/2015	21/03/2017	22/01/2019	
		06/04/2011	01/08/2013	24/09/2015	25/06/2017	27/03/2019	
		22/04/2011	05/11/2015	13/12/2015	11/07/2017	12/04/2019	
		08/05/2011			27/07/2017	24/12/2019	
		12/08/2011			28/08/2017		
		13/09/2011			13/09/2017		
		29/09/2011			16/11/2017		
	76	06/04/2011	16/07/2013	16/03/2015	17/02/2017	22/01/2019	
		22/04/2011	01/08/2013	07/08/2015	21/03/2017	07/02/2019	
		08/05/2011	17/08/2013	24/09/2015	25/06/2017	23/02/2019	
		12/08/2011	20/10/2013		11/07/2017	24/12/2019	
		13/09/2011	05/11/2013		27/07/2017		
		29/09/2011	23/12/2013		28/08/2017		
		31/10/2011			16/11/2017		
	77	16/01/2011	16/07/2013	16/03/2015	17/02/2017	22/01/2019	
		05/03/2011	01/08/2013	19/05/2015	21/03/2017	07/02/2019	
		06/04/2011	17/08/2013	07/08/2015	09/06/2017	23/02/2019	
		12/08/2011	05/11/2013		25/06/2017	14/05/2019	
		13/09/2011	23/12/2013		11/07/2017	17/07/2019	
		29/09/2011			27/07/2017	24/12/2019	
		31/10/2011			28/08/2017		
	78	16/01/2011	30/06/2013	16/03/2015	17/02/2017	22/01/2019	
		05/03/2011	16/07/2013	01/04/2015	22/04/2017	07/02/2019	
		06/04/2011	01/08/2013	19/05/2015	25/06/2017	23/02/2019	
		12/08/2011	17/08/2013	22/07/2015	27/07/2017	14/05/2019	
		13/09/2011	18/09/2013	07/08/2015	28/08/2017	17/07/2019	
		29/09/2011	05/11/2013		15/10/2017	03/09/2019	
		31/10/2011	07/12/2013		31/10/2017	24/12/2019	
			23/12/2013				
		79	16/01/2011	30/06/2013	22/03/2015	22/04/2017	22/01/2019
			05/03/2011	16/07/2013	01/04/2015	25/06/2017	07/02/2019
			06/04/2011	17/08/2013	19/05/2015	27/07/2017	23/02/2019
			12/08/2011	18/09/2013		15/10/2017	14/05/2019
			13/09/2011	05/11/2013		31/10/2017	17/07/2019
			29/09/2011	07/12/2013			03/09/2019
			31/10/2011	23/12/2013			02/08/2019
	225	75	20/07/2011	07/06/2013	26/04/2015	14/03/2017	31/01/2019
			22/09/2011	25/07/2013	31/07/2015	30/03/2017	04/03/2019
			24/10/2011	27/09/2013	01/09/2015	15/04/2017	24/06/2019
			09/11/2011	30/11/2013	17/09/2015	18/06/2017	10/07/2019
						04/07/2017	11/08/2019
						20/07/2017	28/09/2019

				05/08/2017	30/10/2019
				21/08/2017	
				22/09/2017	
				24/10/2017	
				11/12/2017	
76	22/09/2011	07/06/2013	05/02/2015	09/01/2017	31/01/2019
	24/10/2011	25/07/2013	26/04/2015	14/03/2017	24/06/2019
	09/10/2011	11/09/2013	31/07/2015	30/03/2017	10/07/2019
		14/11/2013	01/09/2015	15/04/2017	11/08/2019
		30/11/2013	17/09/2015	18/06/2017	28/09/2019
				04/07/2017	30/10/2019
				20/07/2017	15/11/2019
				05/08/2017	
				21/08/2017	
				22/09/2017	
				24/10/2017	
				11/12/2017	
77	14/03/2011	07/06/2013	26/04/2015	09/01/2017	15/01/2019
	22/09/2011	25/07/2013	31/07/2015	26/02/2017	31/01/2019
	24/10/2011	11/09/2013	17/09/2015	14/03/2017	04/03/2019
		14/11/2013	22/12/2015	30/03/2017	24/06/2019
				04/07/2017	10/07/2019
				20/07/2017	11/08/2019
				05/08/2017	28/09/2019
				21/08/2017	15/11/2019
				11/12/2017	
78	14/03/2011	07/06/2013	26/04/2015	09/01/2017	31/01/2019
	17/05/2011	25/07/2013	12/05/2015	26/02/2017	04/03/2019
	22/09/2011	11/09/2013	31/07/2015	14/03/2017	24/06/2019
		14/11/2013	17/09/2015	30/03/2017	27/08/2019
		16/12/2013	22/12/2015	20/07/2017	28/09/2019
				05/08/2017	15/11/2019
				21/08/2017	
				11/12/2017	
79	14/03/2011	25/07/2013	21/02/2015	09/01/2017	31/01/2019
	17/05/2011	10/08/2013	09/03/2015	26/02/2017	04/03/2019
	21/08/2011	11/09/2013	10/04/2015	14/03/2017	24/06/2019
	22/09/2011	14/11/2013	26/04/2015	30/03/2017	27/08/2019
		16/12/2013	12/05/2015	17/05/2017	28/09/2019
				04/07/2017	15/11/2019
				20/07/2017	17/12/2019
				05/08/2017	
				21/08/2017	
				24/10/2017	
				11/12/2017	
76	08/04/2011	19/08/2013	18/03/2015	26/05/2017	09/02/2019
	27/06/2011	04/09/2013	05/05/2015	11/06/2017	29/03/2019
	15/09/2011	07/11/2013	22/06/2015	13/07/2017	17/06/2019
	02/11/2011		09/08/2015	29/07/2017	04/08/2019
				30/08/2017	23/10/2019
				17/10/2017	

					02/11/2017	
224	77	08/04/2011	19/08/2013	18/03/2015	11/06/2017	09/02/2019
		11/06/2011	04/09/2013	05/05/2015	13/07/2017	29/03/2019
		13/07/2011	06/10/2013	06/06/2015	29/07/2017	17/06/2019
		15/10/2011	07/11/2013	09/08/2015	30/08/2017	04/08/2019
		17/10/2011			17/10/2017	21/09/2019
					23/10/2019	
		02/11/2011	02/07/2013	18/03/2015	02/11/2017	09/02/2019
	78	08/04/2011	19/08/2013	03/04/2015	11/06/2017	29/03/2019
		11/06/2011	04/09/2013	05/05/2015	27/06/2017	16/05/2019
		17/10/2011	06/10/2013	06/06/2015	13/07/2017	17/06/2019
		02/11/2011	22/10/2013	09/08/2015	29/07/2017	04/08/2019
			07/11/2013		02/11/2017	20/08/2019
			25/12/2013		21/09/2019	
					23/10/2019	
	79	24/04/2011	02/07/2013	13/01/2015	27/06/2017	16/05/2019
		17/10/2011	19/08/2013	18/03/2015	13/07/2017	04/08/2019
		02/11/2011	04/09/2013	03/04/2015	29/07/2017	20/08/2019
			07/11/2013	05/05/2015	02/11/2017	21/09/2019
			23/11/2013	21/05/2015		24/11/2019
		25/12/2013	06/06/2015		19/12/2019	
			09/08/2015			

El inicio del análisis en la región Oriental correspondiente al año 2011, podría estimarse de acuerdo a las fechas de cada escena en su órbita y punto correspondiente; contabilizando las mismas, se identificó que en un 22,6% correspondían al mes de setiembre, 21% a octubre, abril con 17,7%, marzo (11,3%) y agosto con 9,7%, resultando en un 82,3% en la contribución de todas las imágenes (las restantes correspondían a un número menor de escenas de los meses de enero, mayo, junio y julio).

Por su parte, para estimar el fin del análisis en el año 2019, los resultados de cantidad de escenas empleadas arrojan: 13,8% para el mes de agosto, un 12,5% para enero, setiembre y febrero con 11,3%, marzo y junio (10%) y diciembre con 7,5%. Estas escenas contribuyen en un 76,3% del total empleado (las restantes corresponden a los demás meses). Esta disparidad en la distribución de las escenas a lo largo de los años de inicio y fin, resulta en una dificultad para estimar el tiempo total y exacto del análisis de deforestación en esta región del país.

Por su parte, los procedimientos específicos aplicados para la **región Occidental**, se desglosan seguidamente:

para la serie temporal de 2011 – 2013, se emplearon las imágenes satelitales del sensor Landsat 5 TM, mientras que para las siguientes series temporales se utilizaron imágenes satelitales Landsat 8 OLI. Estas últimas corresponden a la colección SR o de Reflectancia de Superficie, disponen de 5 bandas visibles y de infrarrojo cercano (*NIR*), así como 2 bandas de infrarrojo de onda corta (*SWIR*).

Al respecto, se elaboró un mosaico para cada año de la serie temporal, según la disponibilidad encontrada y la calidad (presencia de sombras y el porcentaje de nubes en cada píxel).

La selección de las imágenes se efectuó aplicando los siguientes parámetros:

- *“ee.ImageCollection”*: para ambos sensores se utilizaron las colecciones de Reflectancia de Superficie (SR) Tier 1 de Landsat 8 (LANDSAT/LC08/C01/T1_SR), debido a que corresponden a un conjunto de datos corregidos atmosféricamente mediante el algoritmo LEDAPS e incluyen una máscara de nubes, sombras, agua y nieve producida con CFMASK, así como una máscara de saturación por píxel.
- *“filterDate”*: para cada mosaico se utilizaron los siguientes filtros de fecha:
 - *BSCH_2011-2013-2015*: a) “2011-06-01 a 2011-12-31”, b) “2013-06-01 a 2013-10-31”, y c) “2015-06-01 a 2015-12-31”;
 - *BSCH_2015-2017-2019*: a) “2015-06-01 a 2015-12-31”, b) “2017-06-01 a 2017-12-31”, y c) “2019-06-01 a 2019-12-31”;
 - *BHIRPY_2011-2013-2015*: a) “2011-06-01 a 2011-12-31”, b) “2013-06-01 a 2013-12-26”, y c) “2015-07-01 a 2015-12-31”
 - *BHIRPY_2015-2017-2019*: a) “2015-07-01 a 2015-12-31”, b) “2017-06-01 a 2017-12-31”, y c) “2019-07-02 a 2019-12-31”
- *“filterBounds”*: se aplicaron los filtros correspondientes a los límites según estrato a analizar;
- *“filterMetadata”*: el porcentaje permitido de cobertura de nubes fue del 20% para el año 2011 del BSCH, 30% para los años 2015, 2017 y 2019 para el mismo estrato. Mientras que, para el BHIRPY, hasta el 40% de cobertura de nubes fue permitido para los años 2011, 2013 y 2015, y el 30% para los años 2017 y 2019.

Se aplicó una función para enmascarar nubes utilizando la banda “qa” de las imágenes de Landsat 8, esta función consiste en remover las nubes y sombras a partir de los valores *Bitmask* de dicha banda. Se calculó el valor de la mediana de todos los píxeles utilizando el algoritmo *ee.Reducer.median()*, de esta forma se obtuvo un valor único del píxel para el mosaico de todas las series temporales.

Una vez aplicada la función para remover las nubes y calculada la mediana para todas las imágenes de la colección filtrada, se elaboraron tres mosaicos, de los cuales se seleccionaron y unieron las bandas del visible e infrarrojo para formar un mosaico multitemporal. Así también, se calculó un índice espectral de modo a aumentar la información espectral a ser utilizada por el clasificador. Se obtuvo un mosaico multifecha, tal y como se generó para la región Oriental (rango de fechas a tener en cuenta de acuerdo a parámetros de calidad establecidos).

El mosaico de la región Occidental consistió de 21 bandas para la serie: 2011 – 2013 - 2015, correspondiente a 7 bandas para cada año. Mientras que, para la serie: 2015 – 2017 y 2019, consistió en la unión de 29 bandas en total, desglosadas de la siguiente manera: bandas del visible: R, G, B; Infrarrojo cercano (NIR), Infrarrojo de onda corta (SWIR 1 y 2) e índices: (NDVI, NBR y NDFI), tal y como se aprecia en la figura 10.

Mosaicos	Bandas del visible	BLUE	GREEN	RED
	Banda del Infrarrojo cercano	NIR		
	Bandas del Infrarrojo de ondas cortas	SWIR1		SWIR2
	Índices espectrales	NDFI (Índice de Fracción de Diferencia Normalizada) $\text{NDFI} = \frac{GVshade - (NPV + Suelos)}{GVshade + (NPV + Suelos)}$		

Mosaico	Bandas del visible	BLUE	GREEN	RED
	Banda del Infrarrojo cercano	NIR		
	Bandas del Infrarrojo de ondas cortas	SWIR1		SWIR2
	Índices espectrales	NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) $\text{NDVI} = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$	NBR (Índice de Calcinación Normalizada) $\text{NBR} = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$	NDFI (Índice de Fracción de Diferencia Normalizada) $\text{NDFI} = \frac{GVshade - (NPV + Suelos)}{GVshade + (NPV + Suelos)}$

Figura 12. Información del espectro de cada banda empleada para el mosaico de imágenes de la región Occidental, período 2011 – 2015 (arriba) y 2015 – 2019 (abajo)

Fuente: SNMF/BCS/PNUD (2020)

Atendiendo a la selección de las escenas para cada órbita y punto, en el año 2019 a diferencia de los demás años, la plataforma GEE seleccionó escenas de la órbita 229/73, debido a la extensión de la escena en el área de corte/solape, ya que muchas veces varía la extensión en la cobertura del territorio. Así como también, considerando los parámetros empleados (podría ocurrir que una escena contenga todos los píxeles que reúnen el criterio de calidad establecido y no se requiera de ningún píxel de las órbitas y puntos contiguos).

Por otra parte, cabe resaltar que el número de escenas seleccionadas por GEE presenta una gran variabilidad entre los años y entre cada órbita/punto, debido a la disponibilidad de escenas que presenten los píxeles que reúnan los criterios de especificación para su búsqueda y selección.

Seguidamente, se indican las fechas de las escenas empleadas para cada órbita y punto, correspondientes a la Región Occidental.

Tabla 11. Detalle de las fechas de las escenas empleadas por órbita y punto, 2011 - 2019, de la Región Occidental.

Órbita (path)	Punto (row)	Fecha año 2011	Fecha año 2013	Fecha año 2015	Fecha año 2017	Fecha año 2019
226	75	21/03/2011	16/07/2013	7/8/2015	21/3/2017	22/1/2019
		06/04/2011	01/08/2013	24/9/2015	25/6/2017	27/3/2019
		13/09/2011	05/11/2015	13/12/2015	11/7/2017	12/4/2019
		29/09/2011		7/8/2015	27/7/2017	24/12/2019
		31/10/2011		24/9/2015	28/8/2017	
		12/08/2011		7/8/2015	13/9/2017	
					24/9/2015	16/11/2017
	76	13/09/2011	16/07/2013	7/8/2015	17/2/2017	22/1/2019

227		29/09/2011	01/08/2013	24/9/2015	21/3/2017	07/2/2019
		31/10/2011	17/08/2013	13/12/2015	25/6/2017	23/2/2019
		12/08/2011	20/10/2013	16/03/2015	11/7/2017	24/12/2019
			05/11/2013		27/7/2017	
			23/12/2013		28/8/2017	
					16/11/2017	
	77	13/09/2011	16/07/2013	22/7/2015	17/2/2017	22/01/2019
		29/09/2011	01/08/2013	7/8/2015	21/3/2017	07/02/2019
		31/10/2011	17/08/2013	8/9/2015	09/6/2017	23/02/2019
		12/08/2011	05/11/2013	24/9/2015	25/6/2017	14/05/2019
			23/12/2013	16/03/2015	11/7/2017	17/07/2019
				19/05/2015	27/7/2017	24/12/2019
					28/8/2017	
				31/10/2017		
	78	13/09/2011	30/06/2013	22/7/2015	17/2/2017	22/01/2019
		29/09/2011	16/07/2013	7/8/2015	22/4/2017	07/02/2019
		31/10/2011	01/08/2013	8/9/2015	25/6/2017	23/02/2019
		16/06/2011	17/08/2013	16/03/2015	27/7/2017	14/05/2019
			18/09/2013	19/05/2015	28/8/2017	17/07/2019
			05/11/2013	01/04/2015	15/10/2017	03/09/2019
			07/12/2013		31/10/2017	24/12/2019
		23/12/2013				
	79					
			30/06/2013	22/7/2015	22/4/2017	22/01/2019
			16/07/2013	7/8/2015	25/6/2017	07/02/2019
		17/08/2013	23/8/2015	27/7/2017	23/02/2019	
		18/09/2013	8/9/2015	15/10/2017	14/05/2019	
		05/11/2013	16/03/2015	31/10/2017	17/07/2019	
	07/12/2013	19/05/2015		03/09/2019		
	23/12/2013	01/04/2015		02/08/2019		
				24/12/2019		
73	16/06/2011	16/06/2013	03/02/2015	12/3/2017	06/6/2019	
	04/09/2011	04/07/2013	23/3/2015	13/4/2017	22/06/2019	
	06/10/2011	09/09/2013	08/04/2015	29/4/2017	08/8/2019	
	22/10/2011		27/6/2015	18/7/2017	09/8/2019	
			29/7/2015	19/8/2017	25/8/2019	
			30/8/2015	4/9/2017	28/10/2019	
			15/9/2015	20/9/2017		
			04/2/2015	6/10/2017		
	74	13/04/2011	05/06/2013	03/02/2015	12/3/2017	19/3/2019
		16/06/2011	09/09/2013	23/3/2015	13/4/2017	05/5/2019
		04/09/2011		08/04/2015	16/6/2017	06/6/2019
		06/10/2011		29/7/2015	18/7/2017	22/6/2019
		22/10/2011		30/8/2015	04/9/2017	08/7/2019
		07/11/2011		15/9/2015	20/9/2017	12/10/2019
				04/2/2015	06/10/2017	28/10/2019
				6/10/2017		
				23/11/2017		
	75	12/03/2011	05/06/2013	23/3/2015	08/2/2017	05/5/2019

228		16/06/2011	12/11/2013	24/04/2015	12/3/2017	06/6/2019	
		03/08/2011		27/6/2015	13/4/2017	22/6/2019	
		04/09/2011		29/7/2015	16/6/2017	08/7/2019	
		06/10/2011		30/8/2015	18/7/2017	12/10/2019	
		22/10/2011		15/9/2015	4/9/2017	28/10/2019	
		07/11/2011		01/10/2015	20/09/2017	15/12/2019	
					6/10/2017		
					23/11/2017		
		76	12/03/2011	05/06/2013	23/3/2015	13/4/2017	02/3/2019
			16/06/2011	23/07/2013	27/6/2015	16/6/2017	05/5/2019
			03/08/2011	09/09/2013	29/7/2015	18/7/2017	06/6/2019
			04/09/2011	25/09/2013	30/8/2015	4/9/2017	22/6/2019
	06/10/2011		12/11/2013	15/9/2015	20/09/2017	08/7/2019	
	22/10/2011		14/12/2013		6/10/2017	26/09/2019	
					23/11/2017	12/10/2019	
	77					28/10/2019	
		12/03/2011	05/06/2013	23/3/2015	13/4/2017	02/3/2019	
		03/08/2011	23/07/2013	30/8/2015	16/6/2017	05/5/2019	
		06/10/2011	09/09/2013	15/9/2015	18/7/2017	06/6/2019	
			25/09/2013		20/09/2017	08/7/2019	
			12/11/2013		23/11/2017	26/09/2019	
			14/12/2013		25/12/2017	12/10/2019	
	73					28/10/2019	
						29/11/2019	
		20/04/2011	30/07/2013	09/1/2015	23/6/2017	29/6/2019	
		06/05/2011	15/08/2013	01/5/2015	25/7/2017	31/7/2019	
		09/07/2011	31/08/2013	21/8/2015	26/8/2017	16/8/2019	
		25/07/2011	05/12/2013	22/9/2015	14/11/2017	17/09/2019	
11/09/2011			9/11/2015		04/11/2019		
27/09/2011							
29/10/2011							
74		20/04/2011	30/07/2013	26/2/2015	19/3/2017	20/1/2019	
		06/05/2011	15/08/2013	14/3/2015	23/6/2017	21/2/2019	
		09/07/2011	31/08/2013	01/5/2015	25/7/2017	10/4/2019	
	25/07/2011		21/8/2015	26/8/2017	29/06/2019		
	11/09/2011		22/9/2015	27/9/2017	31/07/2019		
	27/09/2011		09/11/2015	14/11/2017	16/08/2019		
	29/10/2011			16/12/2017	17/09/2019		
					04/11/2019		
					20/11/2019		
					06/12/2019		
75	20/04/2011	30/07/2013	26/02/2015	19/3/2017	20/1/2019		
	06/05/2011	15/08/2013	14/03/2015	23/6/2017	21/2/2019		
	09/07/2011	31/08/2013	30/03/2015	25/7/2017	10/4/2019		
	25/07/2011	18/10/2013	01/5/2015	26/8/2017	31/07/2019		
	11/09/2011	05/12/2013	21/8/2015	27/9/2017	16/08/2019		
	27/09/2011		22/9/2015	14/11/2017	17/09/2019		
	29/10/2011		09/11/2015	16/12/2017	04/11/2019		
			9/11/2015		20/11/2019		
				06/12/2019			

		04/05/2011		09/02/2015	09/09/2017	29/07/2019
		24/08/2011				30/08/2019
						15/09/2019
						18/11/2019
	74	28/01/2011	28/07/2013	08/02/2015	28/01/2015	08/04/2019
		04/05/2011	29/08/2013	20/09/2015	23/07/2017	26/05/2019
		24/08/2011	17/11/2013	06/10/2015	24/08/2017	29/07/2019
		25/09/2011	03/12/2013		09/09/2017	30/08/2019
					12/11/2017	15/09/2019
					14/12/2017	02/11/2019
						18/11/2019
	75	28/01/2011	28/07/2013	08/02/2015	28/01/2015	08/04/2019
		24/08/2011	29/08/2013	03/08/2015	23/07/2017	30/08/2019
		25/09/2011	17/11/2013	20/09/2015	24/08/2017	15/09/2019
		27/10/2011		06/10/2015	12/11/2017	01/10/2019
				22/10/2015	30/12/2017	02/11/2019
						18/11/2019
	76	09/09/2011	28/07/2013	07/01/2015	28/01/2015	02/01/2019
		25/09/2011	17/11/2013	08/02/2015	01/03/2017	19/02/2019
		27/10/2011	19/12/2013	12/03/2015	23/07/2017	08/04/2019
				19/08/2015	24/08/2017	30/08/2019
				06/10/2015	12/11/2017	15/09/2019
					30/12/2017	01/10/2019
						02/11/2019
						18/11/2019

Como se indicó más arriba, la plataforma GEE permite la especificación de parámetros para la búsqueda y selección de píxeles de mayor calidad (porcentaje de nubes máximo aceptado por píxeles para el filtro de la colección); de esta forma GEE “elige y combina” píxeles correspondientes a varias escenas (fechas) de una misma órbita y punto. De esta forma y atendiendo a que este mapa corresponde a una serie temporal que consta de 3 mapas elaborados de acuerdo a la clasificación de tierras propuesta por el IPCC, para los cuales el Gobierno resolvió que el análisis corresponda a un año conforme el calendario de enero a diciembre y en la medida que la calidad de las escenas permita su empleo en ese rango. Esta decisión se debe a la dificultad que suponía la discriminación anual en un rango del calendario, ya que el análisis iniciaba empleando escenas de mediados de año (junio – agosto) hasta el mismo periodo del año siguiente (considerado como año 1). Sin embargo, ante la escasa disponibilidad de escenas calidad adecuada, en el rango de enero a mayo para la r. Occidental, se emplearon las escenas de los meses siguientes (de forma similar al rango anteriormente considerado).

Realizando una contabilización de cantidad de escenas empleadas para cada órbita/punto en la r. Occidental (tal y como se efectuó en la r. Oriental), para el año de inicio del análisis de este NREF: 2011; de acuerdo a los parámetros establecidos en la plataforma GEE, supuso una selección del 67,6% de escenas en el rango de julio a octubre, considerando la totalidad de empleada (para setiembre: 28,4%; para octubre: 21,6%; para julio y agosto: 8,8%). Mientras que, para estimar el fin del análisis en el año 2019, se identificó que las escenas en el rango de julio

a diciembre representaban un 61,1% del total de escenas empleadas. De las restantes, destaca el mes de febrero con un 11,1% de contribución. De esta forma, para esta región podría afirmarse que, el período de inicio del análisis parte de mediados de 2011 hasta casi fines de 2019.

Los eventuales cambios de uso (deforestación) que no fueron cubiertos por algunas escenas de ciertas órbitas y puntos, indefectiblemente se visualizarán en el siguiente período de análisis (2019 - 2020).

b) Selección de las muestras de entrenamiento: para el efecto, se aplican las muestras identificando las coberturas de la tierra en las escenas, y se procede a clasificar las categorías mencionadas (si la categoría de Bosque estable se generó previamente, se la utiliza como máscara para obtener las demás coberturas). Por otra parte, es importante analizar los resultados generados y en caso de ser necesario, agregar muestras en zonas conflictivas. Finalmente, cada sección del mosaico se clasifica también mediante el algoritmo “*Random Forest*”, que constituye básicamente un clasificador que utiliza métodos de aprendizaje automático para la construcción de modelos de predicción a partir de los datos suministrados.

Específicamente para la región Oriental, La clasificación supervisada se realizó por estrato de Bosque Nativo. Para el estrato correspondiente al BHRO, se tomaron 104 muestras en total, de las cuales 19 corresponden a “cobertura forestal”, 18 muestras corresponde a “cambio 2011-2013”, y 18 muestras corresponden a “cambio 2013-2015”.

Para el BSHC, se consideraron una totalidad de 59 muestras, de las cuales 12 corresponden a “cobertura forestal”, 10 a “cambio 2015-2017”, y 11 a “cambio 2017-2019”. Por su parte, en el BSHIRP, se tomaron un total de 142 muestras, distribuidas de la siguiente forma: 47 de “cobertura forestal”, 5 a “cambio 2015-2017”, y 7 a “cambio 2017-2019”.

Los puntos de entrenamiento (*training points*) así como las muestras o datos de referencia (segmentos), difieren considerando cada serie temporal de los dos mapas de categorías del IPPCC. Igualmente, difieren de los que fueron empleados en los mapas que sirvieron de insumo para la construcción del primer NREF.

Cabe mencionar en este punto, que además de emplear la clasificación de las coberturas de uso de la tierra, propuesta por el IPCC, se generaron capas de cobertura multitemporales del estrato Palmar a partir del año 2000 que cubren la misma serie temporal empleada para este NREF: 2011 – 2015 y 2019. Sin embargo, no se especifican los cambios ocurridos; es decir, no se cuenta aún con el detalle de las coberturas resultantes de la dinámica identificada a través del tiempo (el detalle de la metodología empleada se presenta en un documento independiente y en la sección VI de este documento se presentan la estimación de las emisiones en tCO₂e procedentes de la dinámica de esta cobertura).

c) Clasificación de imágenes satelitales: para lo cual se aplica la clasificación supervisada del mosaico multi-fecha (con todas sus bandas). Posteriormente y previo al proceso de edición, el mosaico final de imágenes Landsat con todas las bandas del/os periodo/s en formato ráster (.tif) se descarga de la plataforma. Este proceso se realiza en varias secuencias, empleando una grilla de 1 grado por 1 grado (aproximadamente 100 km x 100 km) diseñada para el efecto.

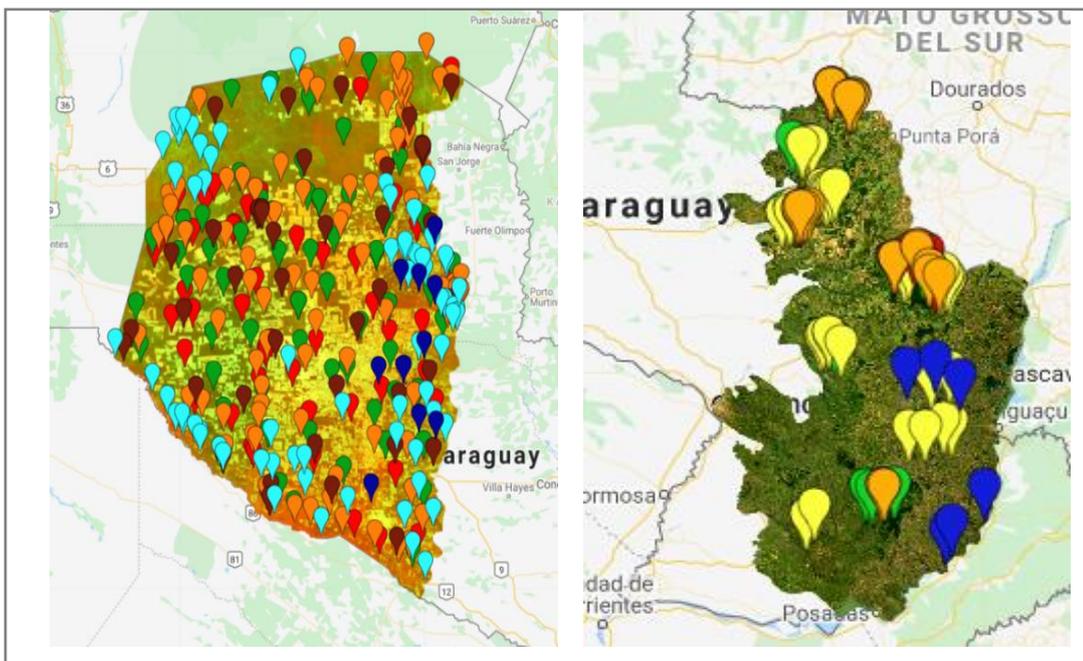


Figura 13. Muestras para la clasificación supervisada obtenida en la plataforma GEE, BSCH y BHRO.
Fuente: Proyecto BCS/PNUD (2020).

Para todos los mosaicos de cada año de ambas series temporales, se utilizó el algoritmo *ee.Classifier.smileRandomForest* y se estableció como número de árboles 30, este valor fue establecido debido al número de bandas del mosaico multitemporal a clasificar.

Cabe mencionar también, que para apoyo en la edición visual y para la delimitación del país y de ambas regiones, se emplean los archivos en formato vectorial de la Dirección de Encuestas Estadísticas y Censos (DGEEC), como ser:

- Región Occidental y Oriental, y su división política: departamentos, distritos y ciudades;
- Recursos hídricos;
- Curvas de nivel;
- Vías de comunicación

d) Segmentación del mosaico: mediante el empleo del Orfeo Toolbox del software Monteverdi2, se realiza la, proceso que consiste en la división de una imagen al agrupar los píxeles similares en aglomeraciones denominadas objetos, también llamados regularmente segmentos o polígonos basados en la similitud del espectro y la particularidad espacial (Baatz y Schapke, 2000). Esta operación de segmentación pretende distinguir si un píxel pertenece o no a un objeto de interés. Para este procedimiento de segmentación, primeramente, se realiza la importación de cada sección o segmento del mosaico a segmentar utilizando la herramienta “*Segmentation*”, determinando ciertos criterios como: unidad mínima de segmentación 1 hectárea o 12 píxeles, número máximo de iteraciones en 100, radio espacial de 2 y rango espectral de 1.

Se realizó la segmentación para el mosaico multitemporal utilizando el Orfeo *Toolbox*, aplicando el algoritmo “*LSMS (Large Scale Mean-Shift Segmentation)*”. Los parámetros empleados fueron:

- Radio espacial: 5,
- Rango espectral: 120,

- Tamaño mínimo de región (segmento): 12 píxeles, equivalente a aproximadamente 1 hectárea.

e) Cálculo de estadísticas zonales o mayoría por segmentos: para este proceso, se empleó el software libre Quantum Gis (o QGis), cuya herramienta “Estadísticas de zona” permite el computo de una estadística para cada zona definida por un conjunto de datos de zona, en base a los valores de otro conjunto de datos (una trama valor). Un valor de salida se calcula para cada zona en el conjunto de datos de zona de entrada.

Con los segmentos generados de las imágenes Landsat y la clasificación obtenida se procede a realizar el cálculo de mayoría (*Estadísticas de zona - mayoría*). En este caso, cada segmento es el límite para el cálculo de la mayoría.

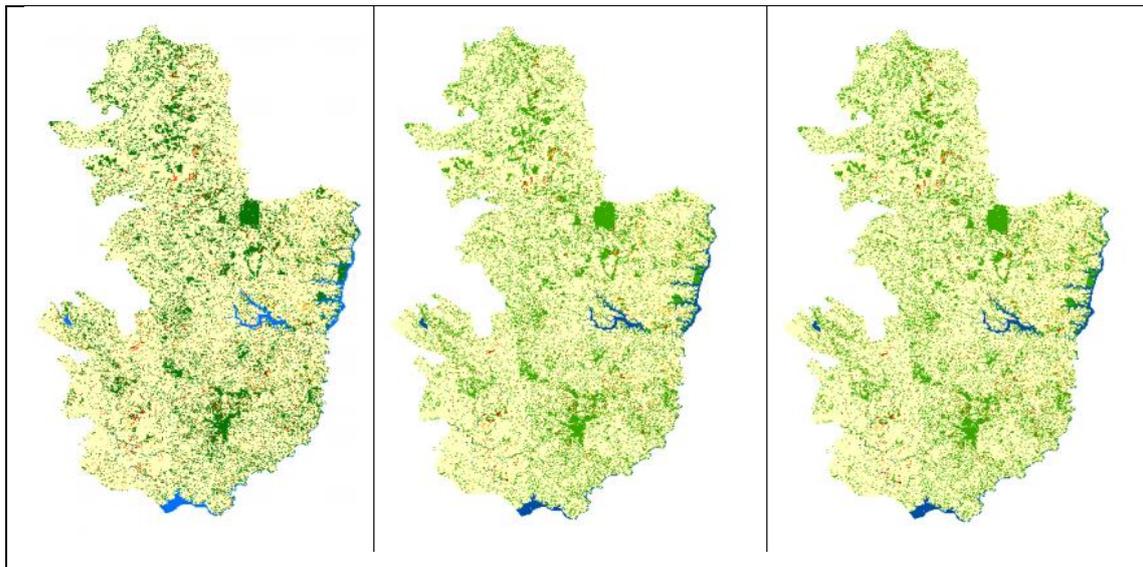


Figura 14. Clasificación supervisada (izquierda), cálculo de mayoría por segmentos (centro) y edición final (derecha), para el BHR0

Fuente: Proyecto BCS/PNUD (2019 y 2020)

f) Edición visual y reclasificación de categorías: los resultados obtenidos del cálculo de “mayoría por segmentos” se editan por medio de un análisis visual, utilizando como referencia las imágenes satelitales que componen el mosaico de los años de análisis, así como también imágenes contenidas en páginas web de navegación como *Google Maps*, *Bing Maps*, *Here*, entre otros. El proceso de edición se realiza con el propósito de detectar posibles anomalías en los cálculos estadísticos y errores en la clasificación; y de encontrarse estas inconsistencias, se procede a la modificación de la tabla de atributos de la capa, modificando los segmentos a las clases correspondientes.

Con respecto al proceso de reclasificación se reasignan las categorías de coberturas y usos de la tierra según la clasificación del IPCC y los cambios ocurridos durante los años de análisis, obteniéndose una leyenda más amplia que de la clasificación inicial.

La reclasificación se ejecuta creando un campo en la tabla de atributos de cada parte denominado “clase”, donde se designa la categoría de tierras de acuerdo al IPCC. En el caso de detectarse cambios, se asigna la letra “a” para cambios detectados en el primer periodo de análisis (2015-2017) y “b” para el segundo periodo (2017-2019). Este procedimiento se aplica para cada serie temporal (ver figura 15).

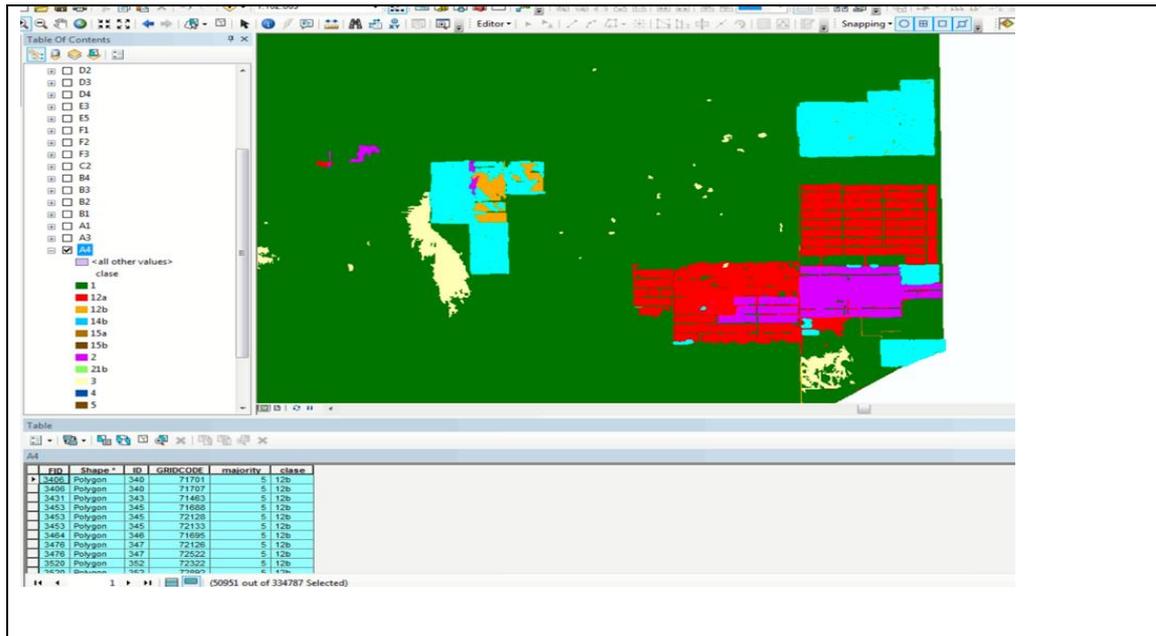


Figura 15. Ejemplo de reclasificación de cambios detectados, de tierras forestales a tierras de cultivo en un período de análisis dado.

Fuente: Proyecto BCS/PNUD (2020).

g) Unión regional: finalmente, se integran mediante operaciones de geoprocésamiento (unión) todas las secciones de la grilla de los resultados de la clasificación previamente editadas, para componer el mapa final del año de análisis (o período), y se realizan las operaciones de cálculo de superficies por categoría o clase de cobertura.

II- Metodología para determinar la incertidumbre y exactitud de los mapas temáticos

Incertidumbre asociada a los mapas de clasificación de cobertura y uso del IPCC

La base metodológica aplicada para la “Evaluación de la exactitud temática – EET” de los mapas de cobertura forestal y cambios de acuerdo a las categorías de cobertura de la tierra propuesta por el IPCC, para los períodos: 2011 – 2013 – 2015 y 2015 – 2017 – 2019, es la misma que ya fue aplicada a otros productos cartográficos previamente generados por el SNMF y que fueron utilizados en diferentes reportes del país. Considerando las variaciones en los criterios que experimenta la metodología de EET aplicada a este mapa (al incluir las categorías de cobertura del IPCC), éstas representan fundamentalmente un nivel de análisis de mayor disgregación y detalle. Para definir estos criterios, se contó con el asesoramiento del Programa SilvaCarbon del Gobierno de USA, en el marco del apoyo técnico que constantemente brinda a los procesos de fortalecimiento institucional en el país, para este tipo de acciones que involucran a la gestión sostenible de los bosques y a la mitigación de los efectos del cambio climático (MADES, 2021).

Con el propósito de asegurar la objetividad en la determinación de la confiabilidad del producto, este proceso de validación oficial que culminó en el mes de mayo del año 2021, realizó una institución no partícipe del proceso de generación, que es el Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADES).

En tal sentido, la evaluación de exactitud temática (EET) es un procedimiento que permite determinar y reportar el grado de confiabilidad del producto final, en términos de porcentaje de exactitud o de nivel de incertidumbre. Concretamente, es el proceso de estimar medidas de precisión del mapa mediante la comparación de etiquetas del mapa y de los datos de referencia en las muestras (una fuente que es considerada de mayor confiabilidad, usualmente a través de un muestreo estadístico). Por su parte, la estimación del área es el proceso de estimar un área de cobertura terrestre o cambio terrestre (por ejemplo, el área de deforestación), mediante la aplicación de un estimador no sesgado a los datos de la muestra (SilvaCarbon/Universidad de Boston, 2020).

Por su parte, la inferencia estadística es el proceso de seleccionar una muestra para hacer una inferencia sobre la población de la que se selecciona la muestra. Es así que la inferencia basada en el diseño es el proceso de hacer una inferencia para un parámetro de población mediante el análisis de una muestra extraída de una población mediante un mecanismo de aleatorización, es decir muestreo probabilístico (SilvaCarbon/Universidad de Boston, 2020). Al respecto, como levantar datos de campo puede ser muy costoso, es posible utilizar fuentes indirectas, tales como imágenes de muy alta resolución, a fin de interpretar a qué categoría corresponden en el terreno las unidades de muestreo (UM).

Los componentes de la evaluación de precisión, son:

- a) Diseño de muestreo
- b) Diseño de respuesta
- c) Análisis

Primeramente, el diseño de muestreo es el proceso utilizado para seleccionar la muestra de referencia, se utiliza para decidir qué elementos de la población (mapa) seleccionar.

a) Los tipos de “**diseño de muestreo**” se describen seguidamente:

a.1. **Muestreo probabilístico:** en el cual todos los casos tienen la misma probabilidad de ser seleccionados. Entre los distintos tipos de muestreos probabilísticos, se destaca el empleado para la EET en el país:

Muestreo estratificado: consiste en considerar categorías típicas diferentes entre sí (estratos) que poseen gran homogeneidad respecto a alguna característica. Lo que se pretende con este tipo de muestreo es asegurarse de que todos los estratos de interés estarán representados adecuadamente en la muestra. Cada estrato funciona independientemente, pudiendo aplicarse dentro de ellos el muestreo aleatorio simple.

a.2. **Muestreo no probabilístico:** todos los casos no tienen la misma probabilidad de ser seleccionados, el investigador selecciona los que más le interesa o aquellos que conoce.

Específicamente, los cálculos de la EET en el Paraguay, se realizan mediante el “muestreo probabilístico estratificado”. Este método consiste en considerar categorías típicas diferentes entre sí (estratos) que poseen gran homogeneidad respecto a alguna característica. Lo que se pretende con este tipo de muestreo es asegurarse de que todos los estratos de interés estarán representados adecuadamente en la muestra. Cada estrato funciona independientemente, pudiendo aplicarse dentro de ellos el muestreo aleatorio simple. La ventaja principal es el potencial de intensificar el muestreo en áreas de interés y la desventaja es el potencial de errores de omisión.

b) Por su parte, el “**diseño de respuesta**” es el protocolo que asigna la clasificación de cobertura terrestre de referencia a cada unidad de muestreo y especifica como se define la concordancia entre la clase de referencia y la clase de mapa. Al respecto, una parte importante del diseño de respuesta son los datos de referencia, cuya fuente incluye datos de alta resolución (imágenes de *Google earth*, Sentinel, Alos, otros), series de tiempo de Landsat, visitas de campo (Inventario Forestal Nacional). En tal sentido, se indica que los datos utilizados para la elaboración de los mapas se pueden emplear también como datos de referencia, pero el proceso de creación de la clasificación de referencia debe ser más preciso que el proceso de elaboración de mapas, a lo que la interpretación manual a menudo satisface este requisito (SilvaCarbon/Universidad de Boston, 2020).

De acuerdo a Olofsson (2014), para la validación de mapas creados por el método de segmentación, el cual consiste en un proceso que divide una imagen al agrupar píxeles similares entre sí, sobre la base de las propiedades espectrales como el color, además del tamaño, forma y textura, así como la particularidad espacial que rodea a los píxeles. Este proceso se considera como un avance respecto al enfoque tradicional basado en píxeles (MacLean y Congalton, 2012).

Las unidades de muestras constituyen las mismas que los segmentos (polígonos), a objeto de ser directamente comparables a los segmentos del mapa.

c) El tercer componente es el “**análisis**”, el cual implica organizar y resumir datos para realizar inferencias de precisión y área sobre la población (área de estudio). Especifica las medidas que emplearán para expresar esta inferencia, así como los procedimientos para estimar las medidas seleccionadas a partir de los datos de la muestra (por ejemplo, seleccionar un estimador). Para lo que, el análisis generalmente tiene dos objetivos clave: evaluación de la precisión de los mapas y estimación del área de categorías de interés.

El análisis de los datos de confiabilidad se hace a través de una matriz de confusión, que permite confrontar la información de sitios de verificación con aquella de la base cartográfica que se pretende evaluar. Además, permite no solo el grado global de acierto, sino que también las

categorías en las cuales se producen confusiones. Los valores de error pueden utilizarse para corregir las estimaciones de superficie asignadas a cada cobertura. Para comparar los resultados de evaluación de dos mapas se puede realizar, por ejemplo, mediante los *índices de kappa*, solo si tienen iguales cantidad de puntos de muestreo evaluados, si tienen distinta cantidad de puntos de muestreo evaluados lo correcto es realizar una normalización de las matrices de confusión (Chuvieco, 2008).

Cálculo para determinar la exactitud del Mapa de cambio en la cobertura

La EET de los mapas generados de acuerdo a las categorías propuestas por el IPCC para el período de análisis para la construcción de este segundo NREF, se basa en un diseño de muestreo probabilístico aleatorio. Se determinó que el número mínimo es de 30 muestras por categoría, considerando la heterogeneidad que presentan los datos y la superficie de cada estrato de bosque en términos porcentuales con respecto a la superficie total del país (peso).

Considerando el tamaño de la muestra, éste normalmente es inexacto ya que su cálculo depende de la exactitud y el área de las clases; esta información suele estimarse para alcanzar valores por aproximación. Para el efecto se utiliza la fórmula de Cochran (1977):

$$n \approx \left(\frac{\sum W_i S_i}{S(\hat{P})} \right)^2$$

W_i : peso del estrato

S_i : error estándar del estrato i ; se estima como

$$\sqrt{p_i(1 - p_i)}$$

Dónde:

p_i : la proporción de la pérdida de bosque en el estrato i

$S(P)$: es el error estándar de la estimación de pérdida de bosque

Observaciones:

- Para que la muestra sea representativa, se debe medir el total de la población.
- Como no se conoce la exactitud del usuario, se estima un valor para cada estrato.
- Se recomienda utilizar un mínimo específico de muestras por estrato.
- Para el estrato con menor superficie se utilizó un único valor mínimo de 30 muestras, debido a que podría quedar subrepresentada en caso de emplear la cifra resultante del cálculo.
- Se debe considerar el porcentaje según la superficie que ocupa cada estrato.

Como menciona MADES (2021), el Intervalo de confianza (IC), en el contexto de estimar un parámetro poblacional, un intervalo de confianza es un rango de valores (calculado en una muestra) en el cual se encuentra el verdadero valor del parámetro, con una probabilidad determinada.

La probabilidad de que el verdadero valor del parámetro se encuentre en el intervalo construido se denomina nivel de confianza, y se denota $1-\alpha$. La probabilidad de equivocarnos se llama nivel de significancia y se simboliza α . Generalmente se construyen intervalos con confianza $1-\alpha=95\%$ (o significancia $\alpha=5\%$).

$$\bar{X} - Z \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{X} + Z \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

En línea con lo señalado, seguidamente, se describe con detalle el proceso de EET aplicado al mapa del período: 2011 – 2013 - 2015 – 2017 – 2019:

Los **materiales empleados** consistieron en (proveídos por los responsables de la elaboración de la cartografía del SNMF):

- Capas vectoriales - formato *shapefile* (.shp) del país (región Oriental y Occidental), con el detalle de tipo de estrato y clase en la tabla de atributos. Formato: una capa que contiene todos los segmentos y otra capa con los segmentos disueltos por geoprocésamiento.
- Mosaico de imágenes satelitales de la serie temporal “Landsat” (5 TM y 7 ETM): 18 bandas en total para la región Occidental y 15 para la región Oriental, 6 y 5 bandas para cada año de la serie de: 2011 – 2013 – 2015, respectivamente
- Mosaico de imágenes satelitales de la serie temporal “Landsat” (8 OLI): 18 bandas en total para el estrato del Bosque Seco Chaqueño (BSCH) y 15 bandas para el estrato del Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay (BSHIRP). Mientras que, 18 bandas se emplearon para generar el mosaico del Bsoque Sub Húmedo del Cerrado (BSHC) y 18 bandas para el Bosque Húmedo de la región Oriental; distribuidas en cantidades iguales (1/3) bandas para cada año de: 2015 – 2017 – 2019, respectivamente.
- Es importante aclarar que, además de las bandas del Azul, Verde y Rojo (B,G,R), se utilizaron las del Infrarrojo cercano, Infrarrojo de onda corta y bandas resultantes de índices como NDVI entre otros, con el objetivo de discriminar adecuadamente las coberturas de uso de la tierra.

Un paso previo a la EET, consiste una de las fases de la generación de los mapas, que implica la edición de capas mediante análisis visual (PNC ONU REDD+/SEAM/INFONA/FAPI, 2016b)¹⁸, puede considerarse como parte del proceso de “*control de la calidad -QC*”, debido a que esta actividad se ejecuta durante la generación del mapa para garantizar su calidad. Este procedimiento se efectúa con el propósito de detectar inconsistencias entre los resultados de la clasificación supervisada aplicada a las imágenes satelitales y lo contrastado mediante análisis visual de las categorías de cobertura de la tierra, modificando la tabla de atributos y asignando la categoría que corresponde al polígono o segmento (objeto de la edición), respectivo. Este análisis visual se realiza teniendo en cuenta patrones como: color, textura, forma, atributos geográficos y otros, como indicadores de ciertas categorías.

Seguidamente, el MADES como ente no partícipe de la elaboración del mapa, se encargó de la EET para asegurar la objetividad del proceso (tal y como se estipula en el Decreto 3246 que reglamenta el SNMF)

En línea con lo mencionado anteriormente, las actividades vinculadas a la EET conforman el proceso denominado como “*garantía de la calidad -QA*”, por el objetivo intrínseco de revisar el “producto final” que es el mapa, y aplicar las correcciones necesarias mediante la ejecución del proceso de estimación de las superficies libres de errores o sesgo (ponderación). Es decir, la EET se encarga de los aspectos temáticos y/o fenómenos del modelo cartográfico y consiste en comparar la información del mapa con información de referencia considerada muy confiable (MADES, 2021).

¹⁸ Documento de metodología de generación de mapas de cobertura y cambio en la cobertura forestal del Paraguay. Disponible en:

http://www.infona.gov.py/application/files/4414/7405/3022/Documento_Tecnico_Metodologia_Mapa_de_Cambios_Paraguay.pdf

Las actividades de esta etapa de la EET, las ejecutó un equipo compuesto por un Analista senior (experto SIG) y tres analistas/revisores asistentes (con conocimiento en interpretación de imágenes satelitales y Sistemas de Información Geográfica – SIG), independientes de la generación del mapa con el propósito de lograr la objetividad. Asimismo, conllevó una interpretación posterior para revisar cada etiqueta de referencia en un esfuerzo de equipo, tal y como aconseja la misma fuente.

Seguidamente, se describen las actividades que se efectuaron previo a los procesos de geoprocésamiento vectorial y *raster*:

a) Agrupamiento en “clusters” (grupos de clases) de las categorías con superficies no significativas en términos porcentuales de contribución en el total del área del país (peso), teniendo en cuenta las recomendaciones vertidas en la reunión indicada con anterioridad y las clases más representativas de acuerdo a los intereses de los INGEI y del mecanismo REDD+.

Los “clusters” están conformados por la agrupación en 7 clases principales de cobertura de uso de la tierra, estos grupos de clases son los considerados como categorías principales para la EET.

b) Selección de las muestras (segmentos al azar): así como se definieron la cantidad de muestras considerando las clases de cobertura de la tierra identificadas, se efectuó el mismo procedimiento para determinar la cantidad de segmentos que corresponde a cada estrato de acuerdo a la superficie de cada uno.

El tamaño de muestra con el margen de error del 20% que se empleó determinó 1.007 de segmentos para el mapa: 2011 – 2013 – 2015 y 981 segmentos a analizar para el mapa: 2015 – 2017 – 2019; sin embargo, se incluyeron 19 y 39 segmentos adicionales: totalizando 1.2026 y 1.020 segmentos (muestras), para cada mapa respectivamente. Se analizaron estos segmentos adicionales, debido a la cantidad limitada de segmentos que correspondían principalmente a las clases de “cambio” en el BSHC, BSHIRP y en menor medida al BHRO. Sumado a esto, el error que arrojaba al trabajar con la cantidad inicial de muestras era significativamente alto, por la superficie de estas clases en comparación a las superficies más extensas de las otras clases presentes en el mismo estrato de análisis (tal y como mencionan Arévalo et al, 2019); de esta forma se determinó incrementar el tamaño de muestras en estas clases de importancia para las estimaciones del mecanismo REDD+.

Los resultados de la revisión se incluyen en una columna adicional con los códigos de la clase (*cluster* o categoría principal) correspondiente determinada. Estos códigos o etiquetas serán empleados para asignar la equivalencia de las etiquetas del mapa (filas de las matrices) en las columnas respectivas de “datos de referencia”:

En la tabla 12, se presenta el detalle de la cantidad de muestras/segmentos analizados en cada clase correspondiente a cada estrato de bosque, desglosado por cada período de análisis. Sin embargo, **a los efectos de este segundo NREF, considerar solo las categorías o clases de cobertura de “cambio” en los períodos respectivos.**

Tabla 12. Número total de muestras para datos de referencia, para cada clase y estrato de bosque.

Código dato de referencia	Bosque Seco Chaqueño (BSCH) Mapa 2011 – 2013 - 2015	Peso (%)	Cantidad de muestras 2011 – 2013 - 2015	Bosque Seco Chaqueño (BSCH) Mapa 2015 – 2017 - 2019	Cantidad de muestras 2015 – 2017 - 2019
1	Tierra forestal	29,36	287	Tierra forestal	287
2	Cambio 11 - 13	1,454	14	Cambio 15 - 17	14
3	Cambio 15 - 17	4,087	40	Cambio 17 - 19	37
4	Tierra agrícola	4,44	43	Tierra agrícola	43
5	Pastizal	1,94	19	Pastizal	19
6	Otras tierras	0,289	3	Otras tierras	3
7	Palmar	1,511	15	Palmar	15
	Sub total	43,081	421	Sub total	418
	Bosque Sub Húmedo del Cerrado (BSHC) Mapa 2011 – 2013 - 2015	Peso (%)	Cantidad de muestras Mapa 2011 – 2013 - 2015	Bosque Sub Húmedo del Cerrado (BSHC) Mapa 2015 – 2017 - 2019	Cantidad de muestras Mapa 2015 – 2017 - 2019
1	Tierra forestal	0,537	15	Tierra forestal	15
2	Cambio 11 - 13	0,012	5	Cambio 15 - 17	7
3	Cambio 13 - 15	0,014	5	Cambio 17 - 19	9
4	Tierra agrícola	0,205	6	Tierra agrícola	6
5	Pastizal	0,291	8	Pastizal	8
6	Otras tierras	0,0048	1	Otras tierras	1
7	Palmar	0,00007	1	Palmar	1
	Sub total	1,06387	41	Sub total	47
	Bosque Sub H. Inundable del río Paraguay (BSHIRP) Mapa 2011 – 2013 - 2015	Peso (%)	Cantidad de muestras	Bosque Sub H. Inundable del río Paraguay (BSHIRP) Mapa 2015 – 2017 - 2019	Cantidad de muestras Mapa 2015 – 2017 - 2019
1	Tierra forestal	6,858	68	Tierra forestal	66
2	Cambio 11 - 13	0,492	10	Cambio 15 - 17	5
3	Cambio 13 - 15	0,94	12	Cambio 17 - 19	21
4	Tierra agrícola	4,278	42	Tierra agrícola	41
5	Pastizal	4,998	49	Pastizal	48
6	Otras tierras	0,737	7	Otras tierras	7
7	Palmar	8,057	80	Palmar	78
	Sub total	26,36	268	Sub total	266
	Bosque Húmedo de la región Oriental (BHRO) Mapa 2011 – 2013 - 2015	Peso (%)	Cantidad de muestras	Bosque Húmedo de la región Oriental (BHRO) Mapa 2015 – 2017 - 2019	Cantidad de muestras Mapa 2015 – 2017 - 2019
1	Tierra forestal	6,322	63	Tierra forestal	62
2	Cambio 11 - 13	1,32	12	Cambio 15 - 17	13
3	Cambio 13 - 15	0,62	12	Cambio 17 - 19	6
4	Tierra agrícola	17,21	172	Tierra agrícola	168
5	Pastizal	3,11	31	Pastizal	30
6	Otras tierras	0,55	4	Otras tierras	5
7	Palmar	0,00001	1	Palmar	1
	Sub total	29,13201	295	Sub total	285
	Cantidad total de muestras (segmentos)		1.026		1.020

c) Geoprocesamiento y ediciones previas al análisis: una vez definido los “clusters” con los cuales se trabajará para cada clase y tipo de bosque, se procedió a separar estas dos capas en subcapas respectivas: cada una de las clases para cada uno de los 4 estratos correspondientes. En tanto, para el mosaico, se realizó cortes empleando la delimitación geográfica de cada estrato o tipo de bosque. Para estas actividades, se utilizaron las herramientas del ArcGis.

d) Selección de las muestras o segmentos al azar (datos de referencia): mediante la herramienta de ArcGis: “select random points” y realizando un cruzamiento con los segmentos de cada una de las capas obtenidas en el paso anterior, empleando “select by location”. Luego, se distribuyeron las capas conteniendo estos segmentos al azar considerando la proporción o porcentaje de cada clase.

e) Análisis o revisión por intérpretes: se emplearon tanto el ArcGis como el QGis para la interpretación visual de los datos de referencia (segmentos). Para el efecto, se utilizaron los mosaicos obtenidos en el paso C, con la combinación de bandas para cada año de análisis (2015 – 2017 – 2019), así como también se empleó imágenes satelitales de mayor resolución como las de los satélites: Sentinel, imágenes de Google Earth, Basemap de ArcGis, Bing de QGis y otras.

f) Conteo y cálculo de superficie de los segmentos en las matrices de error: estas matrices son de tabulación cruzada simple, y contienen las etiquetas de las categorías asignadas por la clasificación basada en datos de sensores remotos (en las filas) contra los datos de referencia de los sitios de muestreo (en las columnas). La regla define que, si estas etiquetas concuerdan, el mapa es correcto para esa unidad, y si las etiquetas discrepan, esta clasificación es errónea (Olofsson *et al.*, 2014).

La matriz de error organiza los datos de muestreo adquiridos de una forma que realiza la sumatoria de los resultados claves (tanto de forma horizontal como vertical) y adiciona la cuantificación de la exactitud y la superficie. La diagonal principal de la matriz de error resalta las clasificaciones correctas para cada categoría que se identificó con el mismo número de referencia, en cambio los elementos fuera de la diagonal exhiben los errores de comisión y omisión.

También, se efectúa la ponderación de los valores teniendo en cuenta la superficie de las unidades de referencia, para lo cual se genera una segunda matriz de error que incorpora el área en cada celda (se reporta conjuntamente con la matriz de error tradicional). Esta segunda matriz está establecida similarmente a la matriz de error tradicional, pero en lugar de que cada unidad de referencia tenga la misma ponderación, las celdas individuales reflejan el área total de las unidades de referencia que corresponden a esa celda (MacLean y Congalton, 2012).

Es importante destacar que, previamente a este procedimiento, se realizó el ajuste de la matriz de error utilizada anteriormente para los mapas de cambio en la cobertura forestal (anteriormente se analizaban 3 y 4 clases) del SNMF. Para esta EET, se procedió a ampliar a 7 clases para cada estrato, totalizando 28 filas y columnas respectivamente. Este ajuste debe considerar la proporción de cada estrato y clase a nivel de superficie del país, así como la totalidad de las filas y columnas para el cálculo de la precisión del productor y usuario (errores de omisión y comisión).

Con los valores detallados en la matriz, se determina la **exactitud del productor** para cada clase de cobertura, que constituye la relación de las observaciones clasificadas correctamente y el total de observaciones de referencia para esa categoría. Mientras que, la **exactitud del usuario** se define como un índice que corresponde a la relación entre las observaciones asignadas

correctamente y el total identificado para esa clase (incluidos los que se clasificaron de forma correcta como los mal clasificados), también se expresa en porcentaje.

Los elementos de esta matriz representan la proporción del área de concordancia y no concordancia entre el mapa y las clasificaciones de referencia. Con estos datos de proporciones (en términos de superficie) se logra la necesaria evaluación de la exactitud espacialmente explícita del mapa y los requerimientos para la estimación de error de superficie, sugerida por las recomendaciones de las Buenas Prácticas (Olofsson *et al.*, 2014).

g) Estimación de superficies ponderadas (*weighted/estimated values*): teniendo las cifras de superficie extraídas del mapa, los datos de la matriz anterior en cuanto a superficie de segmentos y total de superficie para esa categoría (exactitud del usuario), además de las fórmulas incorporadas; las cifras de esta matriz se calculan automáticamente. La exactitud del productor y usuario también se calcula para los valores de las celdas resaltadas en esta matriz, utilizando las mismas fórmulas anteriores respectivas.

En esta etapa, se determina la superficie estimada o ponderada (media ponderada) para cada categoría (en hectáreas), teniendo en cuenta los valores de la superficie de cada una de ellas (expresados en términos de su proporción respecto al área total del país).

La media ponderada es una medida de tendencia central, que es apropiada cuando en un conjunto de datos cada uno de ellos tiene una importancia relativa (o peso) respecto de los demás datos. Se obtiene multiplicando cada uno de los datos por su ponderación (peso) para luego sumarlos, obteniendo así una suma ponderada; después se divide está entre la suma de los pesos, dando como resultado la media ponderada.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} = \frac{x_1 w_1 + x_2 w_2 + x_3 w_3 + \dots + x_n w_n}{w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_n}$$

h) Exactitud global: por último, Corresponde al cociente entre la superficie total de los segmentos muestreados (celdas diagonales), y cuya categoría en los datos de referencia coincide con la del mapa, y el total de la superficie muestreada (I36). Elevados valores de esta relación indican, en general, un alto nivel de concordancia del mapa con la realidad. Por tratarse de una medida global y única de la cartografía, se ha generalizado su uso como primer indicador de calidad de los mapas.

Se aplica de forma general:

- Exactitud global del Mapa (%): \sum celdas diagonales / total de superficie (celda inferior derecha)

Como la exactitud global es un indicador general, suele enmascarar el buen desempeño de algunas categorías con respecto a otras, y es por ello que además de este indicador, se calcula la exactitud para cada categoría temática, considerando el punto de vista del usuario y del productor (PNC ONU REDD+/Ministerio de Ambiente de Panamá, 2015).

Los resultados en cuanto a exactitud del productor y usuario para la matriz de conteo y de superficies, están contenidos en el informe de la EET. Atendiendo a los resultados de superficies sin sesgo, error de estimación (+/-) en hectáreas, e intervalo de confianza, respectivos; los mismos se observan seguidamente*:

Tabla 13. Resultados de superficies ponderadas (sin sesgo) al 95% de confianza, con su respectivo error de estimación (en hectáreas), período 2011 – 2013 - 2015

Estratos de bosque	Clases por estrato	Superficie ponderada (ha)	Estimación (ha) - (+/-)	Intervalo de Confianza
Bosque Seco Chaqueño (BSCH)	Tierras forestales	9.112.319,5	343.476	0,873%
	Cambio 2011 - 2013	429.702,2	85.527	0,217%
	Cambio 2013 - 2015	770.590,4	202.808	0,515%
	Tierras agrícolas	3.727.903,4	271.950	0,691%
	Pastizales	2.097.510,3	313.168	0,796%
	Otras tierras	245.655,8	135.320	0,344%
	Palmar	864.936,2	203.589	0,052%
Bosque Subhúmedo Inundable del Río Paraguay (BSIRP)	Tierras forestales	2.724.002,5	42.617	0,108%
	Cambio 2011 - 2013	61.750,0	17.904	0,046%
	Cambio 2013 - 2015	71.217,2	38.876	0,099%
	Tierras agrícolas	1.667.217,8	251.004	0,638%
	Pastizales	2.636.209,6	264.940	0,673%
	Otras tierras	292.386,4	8.046	0,020%
	Palmar	2.284.302,6	139.375	0,354%
Bosque Subhúmedo del Cerrado (BSHC)	Tierras forestales	155.376,5	35.780	0,091%
	Cambio 2011 - 2013	4.751,0	1.543	0,004%
	Cambio 2013 - 2015	2.958,1	1.543	0,004%
	Tierras agrícolas	131.744,4	34.663	0,088%
	Pastizales	110.908,0	37.763	0,096%
	Otras tierras	3.121,1	0	0,00%
	Palmar	17.316,6	32.490	0,083%
Bosque Húmedo de la Región Oriental (BHRO)	Tierras forestales	2.316.496,8	164.253	0,417%
	Cambio 2011 - 2013	95.736,1	17.075	0,043%
	Cambio 2013 - 2015	137.505,6	85.178	0,216%
	Tierras agrícolas	7.451.988,7	221.106	0,562%
	Pastizales	1.344.398,3	224.994	0,572%
	Otras tierras	446.533,0	0	0,00%
	Palmar	7,4	0	0,00%

Por lo tanto, la exactitud global (preliminar) para el mapa 2011 – 2013 - 2015, considerando la superficie de las clases por estratos es: **87,98%**

***Observación:** a los efectos de este segundo NREF, considerar solo las categorías o clases de cobertura de “cambio” en los períodos respectivos.

Tabla 14. Resultados de superficies ponderadas (sin sesgo) al 95% de confianza, con su respectivo error de estimación (en hectáreas), período 2015 – 2017 - 2019

Estratos de bosque	Clases por estrato	Superficie ponderada (ha)	Estimación (ha) - (+/-)	Intervalo de Confianza
Bosque Seco Chaqueño (BSCH)	Tierras forestales	9.142.081,2	290.538	0,726%
	Cambio 2015 - 2017	405.072,5	33.616	0,084%
	Cambio 2017 - 2019	392.019,5	29.942	0,075%
	Tierras agrícolas	4.656.500,9	278.889	0,697%
	Pastizales	1.791.004,8	199.468	0,499%
	Otras tierras	449.632,5	203.951	0,510%
	Palmar	412.345,1	74.063	0,19%
Bosque Subhúmedo Inundable del Río Paraguay (BSIRP)	Tierras forestales	2.791.355,8	83.387	0,208%
	Cambio 2015 - 2017	84.628,9	22.452	0,056%
	Cambio 2017 - 2019	50.880,4	8.053	0,020%
	Tierras agrícolas	3.144.771,4	180.183	0,450%
	Pastizales	2.332.074,4	213.658	0,534%
	Otras tierras	382.889,1	80.949	0,202%
	Palmar	1.706.916,3	224.148	0,560%
Bosque Subhúmedo del Cerrado (BSHC)	Tierras forestales	171.189,2	32.160	0,080%
	Cambio 2015 - 2017	1.676,8	432	0,001%
	Cambio 2017 - 2019	421,6	238	0,001%
	Tierras agrícolas	145.196,3	39.652	0,099%
	Pastizales	101.586,6	42.197	0,105%
	Otras tierras	6.096,9	0	0,00%
	Palmar	8,2	186	0,00%
Bosque Húmedo de la Región Oriental (BHRO)	Tierras forestales	2.302.319,3	161.998	0,405%
	Cambio 2015 - 2017	48.150,6	9.474	0,024%
	Cambio 2017 - 2019	58.640,1	0	0,00%
	Tierras agrícolas	7.388.454,8	295.538	0,739%
	Pastizales	1.253.814,7	243.819	0,609%
	Otras tierras	741.051,4	117.568	0,294%
	Palmar	0,0	0	0,000%

Por lo tanto, la exactitud global (preliminar) para el mapa 2015 – 2017 - 2019, considerando la superficie de las clases por estratos es: **88,49%**.

Para más detalles ver documentos de EET de los mapas de cobertura y cambios en la cobertura de la tierra de acuerdo a la clasificación del IPCC, para los años 2011 – 2013 – 2015 y 2015 – 2017 – 2019, respectivamente (MADES, 2021).

Finalmente, de forma a **considerar solo el error vinculado a los DA y FE empleados para la construcción de este NREF, ver Anexo IV: “Propagación de errores de FE y DA del segundo NREF”**.

III- Procedimiento general de las remediciones del Inventario Forestal Nacional (IFN) para la colecta de datos de campo y procesamiento estadístico de los resultados

Diseño general del Inventario Forestal a escala nacional

Un factor de emisión se refiere a un coeficiente que cuantifica las emisiones o absorciones de un gas por actividad unitaria (IPCC, 2006). Para el caso de bosques, tanto para el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero - INGEI (sector Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura - UTCUTS) y para la construcción del Nivel de Referencia de las emisiones forestales del país (NREF), los factores de emisión para todas las actividades y categorías en REDD+ se representan en unidades de toneladas de CO₂ equivalente por unidad de hectárea (tCO₂e/ha). Los factores de emisión suelen basarse en una muestra de datos de inventarios representativa, promediados para obtener una tasa de emisiones para un determinado reservorio, tipo de bosque y categoría de uso del suelo (IPCC, 2006).

La estructura de los niveles (TIER) utilizada en las Directrices del IPCC (2003) es jerárquica, suponiendo para los niveles más altos una mayor exactitud del método y/o del factor de emisiones, y otros parámetros utilizados en la estimación de las emisiones y de las absorciones.

De acuerdo con ONU REDD (2013), cada nivel podría definirse de esta forma:

- *Nivel 1*: usa datos de factores de emisión por defecto proporcionados por el IPCC (entre ellos los de la Base de datos de factores de emisión (*Emission Factors Data Base*). Este nivel es apropiado para los países en donde hay pocos o ningunos datos nacionales y en los cuales se utilizan valores por defecto para los factores de emisión.
- *Nivel 2*: puede usar un procedimiento metodológico similar al del nivel 1 pero aplica factores de emisión que son específicos del país o de la región en lo que atañe a las categorías de uso de la tierra más importantes, y permite desagregar en mayor medida los datos de actividades.
- *Nivel 3*: utiliza métodos de rango superior, incluyendo modelos y sistemas de medición de inventario especialmente hechos para abordar las circunstancias nacionales, repetidos en el tiempo, y guiados por Datos de Actividad de alta resolución y desagregados a nivel nacional en parrillas más detalladas. Estos métodos de nivel superior proporcionan estimaciones de mayor exactitud que los niveles más básicos y, en el ámbito de USCUS (por sus siglas en inglés LULUCF: *Land use, Land use change and Forestry*), tienen un vínculo más estrecho entre la biomasa y las dinámicas del suelo.

El proceso de estimación de los Factores de emisión corresponde al Nivel 2 por la utilización de datos colectados en unidades de muestreo (UM) correspondientes a las remediciones del 50% de las UM originales del primer Inventario Forestal (IFN) realizado a escala nacional en el Paraguay. Para la cuantificación de la Biomasa viva total se emplearon ecuaciones Alométricas (para los estratos de Bosque Húmedo de la Región Oriental, Bosque Seco Chaqueño y Bosque Sub húmedo del Cerrado y Bosque Sub húmedo inundable del río Paraguay).

La presente sección resume la metodología aplicada para la obtención de los resultados de estimación de los Factores de emisión – FE (o sus siglas en inglés EF, por *Emission Factors*) para los distintos estratos de bosque (Tierras forestales) identificados, para desarrollar el NREF del Paraguay. El depósito de Biomasa viva total es el más representativo en términos de emisiones de CO₂, por lo que éste es el único considerado para este NREF.

En tal sentido, el Manual de campo del IFN (FAO, 2015) define como “Biomasa viva total” la que comprende toda la “biomasa viva sobre el suelo” de mayor o igual a 5 cm, que se encuentra sobre el suelo. Incluye troncos, tocones vivos, ramas, cáscaras, semillas y hojas, además de toda la “biomasa de raíces vivas” (excluyendo las de menos de 2 mm de diámetro).

La información del “Sotobosque” se incluye en “Biomasa viva sobre el suelo”, el mismo está compuesto de hierbas, arbustos y árboles menores a 5 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP). Esta información fue colectada por el equipo de Brigada de campo del Inventario Forestal Nacional en todos los estratos de bosque identificados en el territorio nacional.

En cuanto a la información generada a través del Inventario, la misma constituye un insumo indispensable para el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (Informes Bienales de actualización sobre Cambio Climático/IBA y Comunicaciones Nacionales); para el Nivel de Referencia de las Emisiones forestales (NREF) en el marco de REDD+ del Paraguay y el Anexo Técnico REDD+ del IBA.

Considerando las decisiones más recientes de la Conferencia de las Partes (COP), el Nivel de Referencia Forestal (NRF) o Nivel de Referencia de las Emisiones Forestales (NREF), así como la Medición, Reporte y Verificación (MRV) de emisiones por fuente y remociones por sumidero para REDD+; deberán ser consistentes, transparentes, exhaustivos y exactos. En relación con la coherencia, es importante que la información utilizada por el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI), los Reportes o Informaciones Bianuales Actualizados (IBA) y los datos generados por el Sistema Nacional de Monitoreo Forestal (SNMF) para el Nivel de Referencia de las Emisiones Forestales para REDD+ sean consistentes.

A continuación, la síntesis del proceso de estimación de los Factores de emisión:

Colecta de información por las brigadas de campo del IFN

En esta sección, se mencionan los puntos más resaltantes de la metodología utilizada para estas mediciones del IFN, la información completa se encuentra sistematizada en detalle en el Manual de Campo: procedimientos para la planificación, medición y registro de información del Inventario Forestal Nacional del Paraguay (FAO, 2015).

Primeramente, la cantidad y tamaño de las unidades muestrales (UM) determinadas por el IFN para los estratos para la recolección de datos con el propósito de determinar el contenido de biomasa en tierras forestales, se puede observar en la Tabla 14. El detalle consiste en 23 unidades de muestreo (equivalente a una parcela) para el Bosque Húmedo de la Región Oriental (BHRO), 15 para Bosque Sub Húmedo del Cerrado (BSHC), en tanto para el Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay (BSHIRP) corresponden a 16. Mientras que para el Bosque Seco del Chaco (BSCH) correspondieron a 19 conglomerados¹⁹ (equivalente a 56 parcelas, que aplicaron y 1 de ellas representaba “cambio de uso”). Ver figuras 16 y 17.

Atendiendo al “sotobosque”; a excepción de las UM en el BHRO, en la que la totalidad aplicó colecta de información, aplicaron una cantidad menor de UM en relación a las que fueron consideradas para la Biomasa aérea y Biomasa de raíz. En relación los estratos restantes de BSHC, BSCH, BSHIRP y BP: el número total de las UM corresponden a las mismas para todos los componentes. El detalle se encuentra en la sección 3.3: “Factores de emisión”

¹⁹ Unidad de muestreo en diseño de conglomerado: 3 parcelas por cada conglomerado, a diferencia del diseño simple de UM equivalente a una parcela.

Al respecto, algunas UM no aplicaron para el levantamiento de la información de “sotobosque”, ya sea por inundación en la parcela, ausencia de vegetación mínima, alteraciones antrópicas, entre otros motivos (el equipo técnico ha considerado pertinente excluir estas parcelas de los cálculos de promedios y otros resultados cuando los motivos no han sido aclarados, considerándolas como parcelas en las cuales no se ha levantado ningún dato).

Tabla 15. Cantidad de parcelas establecidas por el IFN por tipo de bosque.

Tipo de bosque (estrato) del IFN	Cantidad de parcelas de las UM (para Biomasa viva total)	Cantidad de parcelas de las UM (para Sotobosque)**	Tamaño de las parcelas
Bosque Húmedo de la Región Oriental	23	23	60 x 60 m (0,36 ha)
Bosque Seco del Chaco*	56	48	60 x 60 m (0,36 ha)
Bosque sub húmedo del Cerrado	15	13	60 x 60 m (0,36 ha)
Bosque sub húmedo inundable del río Paraguay	16	13	60 x 60 m (0,36 ha)
Total de parcelas	110	97	

*Obs: para el Bosque Seco del Chaco corresponden a 19 conglomerados (cada uno con 3 parcelas).

**Para el sotobosque, el procesamiento de datos corresponde a una menor cantidad de parcelas en relación a la cantidad para Biomasa viva total (a excepción del BHRO), por a) ante la ausencia de sotobosque (NO) y b) no aplicaron (NA).

Al respecto, también se puede mencionar que en el Manual de campo utilizado a la fecha (en su Versión 2014) para el levantamiento de datos, no se solicita aclarar o especificar el motivo del por qué no aplica el levantamiento de muestras de detritus, suelo y/o sotobosque, información importante a la hora de asignar o no una valoración a los datos recogidos.

No obstante, en el proceso de colecta de datos de las remediciones del IFN, se han identificado este tipo de situaciones y deberán ser incluidas las modificaciones correspondientes en una versión actualizada del Manual de campo para el monitoreo permanente, así como también en las planillas de campo, en las cuales se solicitan especificar el motivo de la no aplicación de una parcela, solicitando informaciones adicionales como apoyo (imágenes fotográficas, como ejemplo).

De acuerdo al Manual mencionado, el levantamiento de las variables de medición consta de dos fases: en primer lugar, se ha establecido una grilla de muestreo de 1 x 1 km superpuesta a los 6 estratos de bosques definidos para el país. Luego, en la segunda fase dentro de cada estrato se seleccionó al azar las unidades de muestreo.

Diseño y trazado de las unidades de muestreo del IFN: conglomerado y parcelas

Con el propósito de alcanzar una alta eficiencia estadística, económica y de tiempo, se determinó como unidad de muestreo **un conglomerado** compuesto de tres parcelas de 60 x 60 m para el estrato de Bosque Seco Chaqueño; distribuidas en forma de “L” y distanciadas entre sí en 250 m. Se estableció este tipo de unidad de muestreo (UM), considerando que en estas dos formaciones de bosque la estructura es continua. Se aprecia en la Figura 14, la estructura del conglomerado.

El diseño de conglomerado para un bosque continuo permite recoger mayor variabilidad dentro de cada UM; por lo tanto, se necesita distribuir menos conglomerados en toda la superficie del bosque (FAO, 2015).

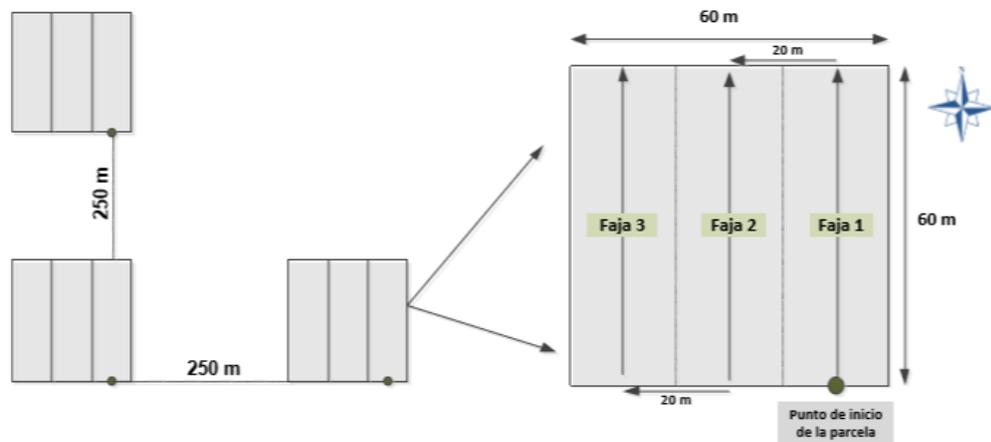


Figura 16. Conglomerado utilizado por el IFN para el Bosque Seco Chaqueño.
Fuente: Manual de campo del IFN (FAO, 2015a).

Por su parte, el estrato de bosque Húmedo de la Región Oriental (BHRO) presenta una distribución con alta remanencia (fragmentación) y discontinuidad. Por esta razón la unidad de muestreo fue de una parcela, cuya medida fue de 60 x 60 m, tal como puede visualizarse en la Figura 17.

DISEÑO DE PARCELA

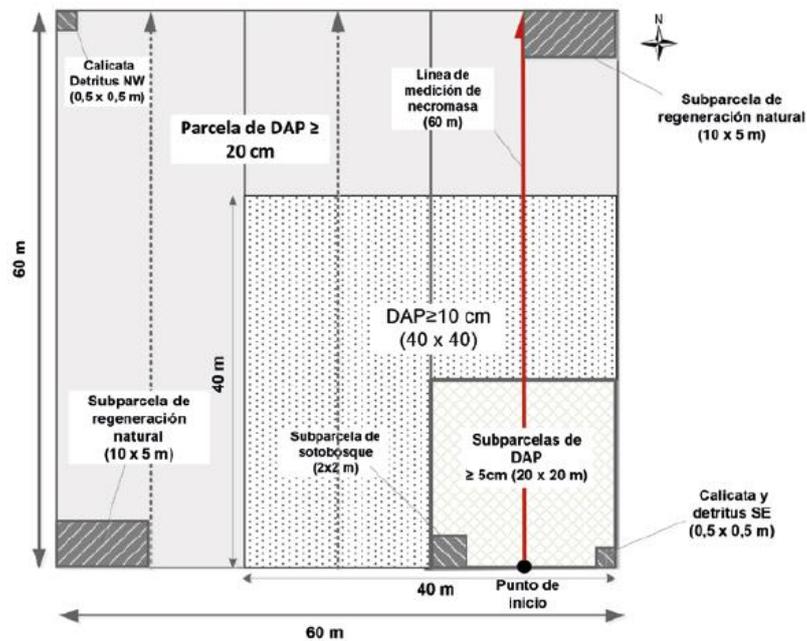


Figura 17. Estructura de la parcela de 60 x 60 m establecida por el IFN.
Fuente: Manual de campo del IFN (FAO, 2015).

De acuerdo con el Manual de Campo (FAO, 2015), cada parcela ha sido diseñada para recoger información del bosque en cuanto a biomasa, estructura y composición florística, suelos, aprovechamiento, degradación, sucesión, estado de conservación, productos forestales no

maderables, usos, entre otros. Para facilitar la medición de las diferentes variables mencionadas a su vez fueron establecidas subparcelas. Para más detalles al respecto, ver el Manual de Campo. En este sentido, en cada parcela se procede a realizar la colecta de datos usando el siguiente protocolo:

- En las parcelas de 60 x 60 m, dentro de la faja 1, se estableció una subparcela anidada de 20 x 20 m, para la medición de árboles
- Se estableció una subparcela de 40 x 40 m para la medición de árboles, en Bosque Palmar y Plantaciones Forestales, que correspondió a la primera y segunda faja de la parcela hasta 40 m.
- Una sub parcela de 20 x 20 m, para medición de árboles o arbustos grandes con DAP \geq 5 cm
- En la parcela de 60 x 60 m se midieron todos los árboles con un DAP \geq 20 cm, siguiendo las 3 fajas de medición.
- Una subparcela para la medición de sotobosque en un área de 2 x 2 m, ubicada a la izquierda del punto de inicio, incluyendo la cobertura y composición de hierbas.
- Dos subparcelas de 10 x 5 m, ubicadas en los vértices Noreste (NE) y Suroeste (SW) de la parcela de 60 x 60 m o 40 x 40 m, donde se midió la regeneración natural, con el conteo de individuos de latizales bajos y brinzales de las especies arbóreas y composición de arbustos bajos.
- Nueve puntos en la parcela de 60 x 60 m y cuatro puntos en la parcela 40 x 40 m para la medición de cobertura de copas.

Procesamiento estadístico de los resultados de las remediciones

Entre la información recabada en campo por las brigadas del IFN, se encuentran los datos de altura, DAP, volumen, área basal, composición florística del estrato, entre otros (FAO, 2015); algunas de estas informaciones se emplean para la determinación de Biomasa y consecuentemente de Carbono asociado a cada uno de los estratos de bosque (tn/ha), mediante la aplicación de ecuaciones alométricas.

Este proceso se detalla a continuación:

Aplicación de ecuaciones alométricas (EA) para obtención de Biomasa aérea y Biomasa viva total

Para la estimación de la biomasa aérea y biomasa viva total (incluyendo biomasa bajo el suelo) fueron utilizadas principalmente las ecuaciones alométricas generadas en el país por Sato *et al.*, (2015). Las mismas fueron concebidas a través de un trabajo conjunto y de cooperación desarrollado por el proyecto “Desarrollo de metodologías de monitoreo de carbono almacenado en los bosques para REDD+ en Paraguay”, ejecutado por el *Forestry and Forest Products Research Institute* del Japón (FFPRI), la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción (FCA-UNA), el Instituto Forestal Nacional (INFONA) y la Secretaría del Ambiente (SEAM) – actual MADES.

Para el caso del Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay (BSHIRP); a diferencia del procedimiento efectuado para el primer IFN, para esta remediación, únicamente se aplica la ecuación generada localmente (Sato *et al.*, 2015) a todos los individuos de la parcela, excluyendo a la ecuación para la zona climática de Bosque Húmedo generada por Brown (1997) para árboles con DAP mayor a 10 cm.

Atendiendo al estrato del Bosque Sub Húmedo del Cerrado (BSHC), para obtener Biomasa aérea se utilizó una ecuación generada para los trópicos (Chave *et al.*, 2005), contenida en la plataforma Globalometree. Mientras que, para el resultado de Biomasa viva total, se utilizó un factor de expansión generado a partir de unas ecuaciones desarrolladas en el país (este proceso se explica más adelante).

En la Base de Datos, que contiene los cálculos del BSHIRP, BSHC, se incluye también los análisis de otras EA (de la misma zona climática) aplicadas al estrato y la comparación entre ellas para determinar las de mejor ajuste.

El detalle de la totalidad de las ecuaciones utilizadas se observa en la siguiente tabla.

Tabla 16. Ecuaciones alométricas aplicadas para la determinación de la biomasa para cada estrato de bosque nativo

Estrato de Bosque	Ecuación	R ²	Unidad	Autores/Lugar
BHRO	$B \text{ aérea} = 0,0405 * (DAP^2 \cdot Ht)^{0,9668}$	0,97	B aérea (kg) DAP (cm) Ht (m)	Sato <i>et al.</i> (2015) Paraguay
BHRO	$B \text{ total} = 0,0505 * (DAP^2 \cdot Ht)^{0,9564}$	0,97	B total (kg) DAP (cm) Ht (m)	Sato <i>et al.</i> (2015) Paraguay
BSCH	$B \text{ aérea} = 0,2147 * (DAP^2 \cdot Ht)^{0,8391}$	0,96	B aérea (kg) DAP (cm) Ht (m)	Sato <i>et al.</i> (2015) Paraguay
BSCH	$B \text{ total} = 0,2733 * (DAP^2 \cdot Ht)^{0,8379}$	0,96	B total (kg) DAP (cm) Ht (m)	Sato <i>et al.</i> (2015) Paraguay
BSHIRP	$B \text{ aérea} = 0,0339 * (DAP^2 \cdot Ht)^{1,0401}$	0,96	B aérea (kg) DAP <10 (cm) Ht (m)	Sato <i>et al.</i> (2015) Paraguay
BSHIRP	$B \text{ total} = 0,0690 * (DAP^2 \cdot Ht)^{0,9932}$	0,96	B total (kg) DAP (cm) Ht (m)	Sato <i>et al.</i> (2015) Paraguay
BSHC	$B \text{ aérea} = 0,0509 * (0,768 \cdot DAP^2 \cdot Ht)$	0,99	B aérea (kg) ρ (g/cm ³) DAP (cm) Ht (m)	Chave <i>et al.</i> (2005) Trópicos
<i>Ceiba chodatii</i> (bottle-shape tree)	$B \text{ aérea} = 0,0224 * (D2 \cdot H)^{0,8688}$	0,97	B aérea (kg) DAP (cm) Ht (m)	Sato <i>et al.</i> (2015) Paraguay
<i>Ceiba chodatii</i> (bottle-shape tree)	$B \text{ total} = 0,0585 * (D2 \cdot H)^{0,8151}$	0,97	B total (kg) DAP (cm) Ht (m)	Sato <i>et al.</i> (2015) Paraguay

También se emplearon las ecuaciones alométricas que fueron generadas en el país para la especie *Ceiba chodatii*, para obtención de Biomasa arriba del suelo (aérea) y Biomasa viva total (Sato *et al.*, 2015). Esta especie es característica de la composición florística del Bosque Seco Chaqueño (BSCH), y una particularidad importante se refiere a que su contenido de biomasa no es proporcional a su diámetro a la altura del pecho (DAP), que se considera muy pronunciado (tronco en forma de botella) para su escaso contenido de biomasa. Es así que, que estos modelos representan los primeros intentos de desarrollo de ecuaciones específicas para esta especie, tanto para determinación de volumen como para Biomasa, considerando que los modelos establecidos previamente con las ecuaciones alométricas para el estrato del Chaco Seco no son las más acordes.

Las ecuaciones alométricas aplicadas fueron seleccionadas de acuerdo a los parámetros estadísticos disponibles obtenidos en la medición de su ajuste como: el coeficiente de determinación (R^2), el coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado), el Error Cuadrático Medio de Predicción (ECMP), el Criterio de Información Akaike (AIC, por sus siglas en ingles) y el Criterio de Información Bayesiano (BIC, por siglas en inglés) (Di Rienzo *et al.*, 2008).

Se tuvo en cuenta, además, el análisis del número de muestras utilizadas, los límites de los diámetros de aplicación, la similitud de las condiciones biofísicas. Se verificaron las similitudes de los resultados obtenidos con los datos arrojados mediante la aplicación de densidades de la madera a los volúmenes de los árboles del IFN, y mediante la aplicación de ecuaciones genéricas de Chave *et al.* (2005) y Pearson *et al.* (2005) para el Bosque Palmar (no incluido en este NREF).

Obtención de Biomasa viva total en toneladas por hectárea a partir de las ecuaciones aplicadas a nivel del árbol

Las ecuaciones alométricas utilizadas son a nivel de estrato de bosque, por lo cual pueden ser aplicadas a cada árbol independientemente de la especie, cuyo valor alcanzará la precisión estadística deseada una vez que se suma la biomasa de todos los árboles de cada unidad de muestreo.

Al respecto, primeramente se aplicaron las ecuaciones a nivel del árbol, y luego para obtener los valores de Biomasa arriba del suelo y Biomasa viva total por hectárea, se realizó una extrapolación de acuerdo a las diferentes dimensiones de DAP medidos en campo: el Manual de Campo del IFN (Ver Figura 17), explica que fueron medidos todos los árboles con DAP menor a 10 metros en la sub parcela de 20 x 20 m (400 m²), los árboles con DAP menores a 20 metros en la sub parcela de 40 x 40 m (1600 m²) y por último, todos los árboles de DAP mayor o igual a 20 metros en la parcela de 60 x 60 m (3600 m²). A partir de estos datos colectados, mediante una función inserta en la planilla de cálculo se obtuvo valores de biomasa a nivel de cada árbol del estrato correspondiente (siendo aplicada la EA generada para ese mismo estrato), para luego realizar la extrapolación a valores de biomasa en toneladas por hectárea

Aplicación de factores de expansión de biomasa

Para aquellas especies/estratos que no se dispuso de una ecuación alométrica para el cálculo de la biomasa, se procedió a calcular el factor de expansión de biomasa aérea (FEB aérea) y de raíz (FEB raíz) a partir de los datos disponibles de volumen comercial y las biomasa calculadas con ecuaciones alométricas para especies con el mismo género. Para más detalles al respecto, remitirse al documento de Metodología de procesamiento de datos y análisis de la información del IFN (versión octubre 2015), en las tablas del Anexo 1 específicamente, se describen los factores de forma y densidades empleados.

Las ecuaciones para el cálculo del factor de expansión son:

FEB aérea = Biomasa aérea / Biomasa del volumen comercial

FEB raíz = Biomasa de raíz / Biomasa aérea

FEB total = Biomasa total / Biomasa aérea

Para el Bosque Sub Húmedo del Cerrado (BSHC), el factor de expansión se determinó obteniendo la biomasa aérea y total empleando las ecuaciones del Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay (BSHIRP).

El factor de expansión es el siguiente:

BSHC FEB total = 1,2675

También para el Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay (BSHIRP), el factor de expansión para obtener la biomasa viva total de individuos de alto porte (DAP mayor a 10 cm), se determinó a partir de los resultados obtenidos para biomasa aérea y total empleando las ecuaciones de Sato *et al.* (2013) para árboles menores a 10 cm en este mismo estrato.

Procedimiento para el cálculo de biomasa de sotobosque

Tres variables fueron claves al momento de tabular los datos: el peso verde o húmedo del total de las muestras, el peso verde o húmedo de las sub-muestras para ser llevadas al laboratorio, y el peso seco constante de la sub - muestra obtenido en el laboratorio a una temperatura entre 70 a 90 °C. La ecuación genérica citada según Rüginitz *et al.* (2009) para el cálculo de la biomasa fue la siguiente:

$$B = (PS \text{ sub-muestra} / PH \text{ sub-muestra}) * PH \text{ total de la muestra}$$

En donde:

- B = Biomasa del sotobosque
- PS = Peso seco
- PH = Peso húmedo o verde

Procedimiento para el cálculo de carbono

Cálculo de carbono de biomasa aérea y biomasa viva

Al no disponer aún de datos de la fracción de carbono para la diversidad de especies arbóreas de los estratos boscosos del Paraguay, la conversión de la biomasa de los árboles se realizó aplicando el factor promedio por defecto del IPCC (2006), sugerido para bosques subtropicales. El mismo es de 0,47; proveniente de un rango entre 0,44 a 0,49 de fracción de carbono de la biomasa para todos los compartimentos del árbol.

Cálculo de carbono de sotobosque

Para el caso de las muestras de sotobosque, la obtención de la fracción de carbono se realizó directamente al procesar las sub - muestras en laboratorio, aplicando el método de combustión seca de la biomasa, a una temperatura de aproximadamente 900°C. La conversión de la biomasa a carbono se obtuvo al multiplicar la biomasa seca de cada muestra por la fracción de carbono remitida desde laboratorio.

IV- Estimación de la propagación de errores de FE y DA del segundo NREF

El IPCC propone dos métodos para la estimación de la incertidumbre: el primero denominado como “Nivel 1” utiliza ecuaciones simples de propagación de errores, en términos generales, se define como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las desviaciones estándar expresadas como coeficientes de variación.

El segundo método que corresponde al Nivel 2 el análisis de Monte Carlo, que consiste en la generación de muestras a partir de la distribución teórica de las fuentes de error (IPCC, 2006).

Atendiendo al análisis del nivel 1; el cual se emplea para estimar la precisión total del segundo NREF, el mismo contempla la estimación de las incertidumbres usando la ecuación de propagación de errores en dos etapas. Primero, se usa la aproximación de la regla B para combinar los rangos de factores de emisión y datos de actividad por categoría de fuentes y gases de efecto invernadero. En segundo lugar, se emplea la aproximación de la regla A para obtener la incertidumbre general en las emisiones nacionales y la tendencia en las emisiones nacionales entre el año base y el año en curso (IPCC, 2006).

Seguidamente, se observan las ecuaciones aplicadas (Capítulo 6 de las Directrices del IPCC – 2006: la cuantificación de las incertidumbres en la práctica):

Regla A: cuando las cantidades inciertas se van a combinar por adición, la desviación estándar de la suma será la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las desviaciones estándar de las cantidades que se suman, con todas las desviaciones estándar expresadas en términos absolutos (esta regla es exacta para las variables no correlacionadas). Usando esta interpretación, puede derivarse una ecuación simple para la incertidumbre de la suma, que cuando se expresa en términos de porcentaje se convierte en:

ECUACIÓN 6.3

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

Donde:

U_{total} es la incertidumbre porcentual en la suma de las cantidades (la mitad del intervalo de confianza del 95% dividido por el total (o sea, la media) y expresada como porcentaje);

x_i y U_i son las cantidades inciertas y las incertidumbres porcentuales asociadas con ellas, respectivamente.

Figura 18. Ecuación correspondiente a la regla A, del método para combinar incertidumbres.

Fuente: IPCC (2006)

Regla B: cuando las cantidades inciertas se van a combinar por multiplicación, se aplica la misma regla, excepto que todas las desviaciones estándar deben expresarse como fracciones de los valores medios apropiados (esta regla es aproximativa para todas las variables aleatorias). También puede derivarse una ecuación simple para la incertidumbre del producto, expresada en términos porcentuales:

ECUACIÓN 6.4

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

Donde:

U_{total} es la incertidumbre porcentual en el producto de las cantidades (la mitad del intervalo de confianza de 95% dividida por el total y expresada como porcentaje);

Figura 19. Ecuación correspondiente a la regla B, del método para combinar incertidumbres.

Fuente: IPCC (2006)

De esta forma, la aplicación de estas ecuaciones para cuantificar la propagación de errores (nivel 1), demuestra un **25% de incertidumbre total para las emisiones brutas de tCO₂e por deforestación, a nivel nacional.**

Al respecto, toda la documentación complementaria y respaldatoria de las estimaciones contenidas en el presente documento se encuentran en el enlace mencionado en la sección 5: *“Información transparente, completa, consistente, y precisa”*.

V- Información del IFN respecto al depósito “materia orgánica muerta”

A continuación, y como información complementaria, se presentan los resultados del depósito de “materia orgánica muerta” generados por el primer Inventario Forestal Nacional (IFN), reportados en las estimaciones correspondientes al sector UTCUTS del INGEl, incluido en el Tercer IBA (MADES-DNCC/PNUD-FMAM, 2021). Sin embargo, no se incluyen estos valores en el proceso de cálculo para la obtención del segundo Nivel de Referencia de las emisiones forestales. Ver sección 2.5 “Depósitos incluidos”; 6.1 “Consistencia entre el NREF y el Tercer IBA” y 7 “Consideraciones en cuanto a capacidades, limitaciones y futuras mejoras a implementar”.

En relación al “carbono en el suelo”, este resultado fue generado a través del Inventario Forestal Nacional (IFN); sin embargo, no fue utilizado para las estimaciones reportadas en el Tercer IBA, por las razones expuestas en las secciones mencionadas en el párrafo anterior.

En la tabla 17 se presentan los resultados de contenido promedio de carbono para este depósito, además del error estándar (+/-) y el porcentaje de error asociado, para cada estrato de bosque nativo.

Tabla 17. Resultados de contenido de carbono en Suelo, para todos los estratos de bosque.

Estrato de bosque nativo	Depósito	Carbono (toneladas/ha)	Error %
B. Húmedo de la Región Oriental	Carbono en madera muerta caída	4,67	25,13
	Carbono en hojarasca y detritus	3,38	7,14
	Carbono en árboles muertos en pie*	2,27	16,47
	Carbono en suelo forestal	58,7	6,72
	Sub total	69,02	
B. Seco Chaqueño	Carbono en madera muerta caída	1,55	26,16
	Carbono en hojarasca y detritus	2,42	9,58
	Carbono en árboles muertos en pie*	2,31	15,76
	Carbono en suelo forestal	52,59	4,45
	Sub total	58,87	
B. Sub H. Inundable del río Paraguay	Carbono en madera muerta caída	3,98	16,95
	Carbono en hojarasca y detritus	0,95	8,01
	Carbono en árboles muertos en pie*	2,26	25,15
	Carbono en suelo forestal	60,87	8,56
	Sub total	68,06	
	Carbono en madera muerta caída	4,3	30,61

B. Sub H. del Cerrado	Carbono en hojarasca y detritus	2,01	10,28
	Carbono en árboles muertos en pie*	3,65	18,26
	Carbono en suelo forestal	56,07	9,52
	Sub total	66,03	
B. Palmar	Carbono en madera muerta caída	0,62	38,72
	Carbono en hojarasca y detritus	0,73	9,01
	Carbono en árboles muertos en pie*	0,95	42,71
	Carbono en suelo forestal	55,54	5,42
	Sub total	57,84	
Total		319,82	

Fuente: primer IFN (PNC ONU REDD+, 2015), *a excepción de: los valores de C en árboles muertos en pie, corresponden a los resultados finales del levantamiento de datos de las remediciones (2019).

La metodología para la colecta de información de las unidades de muestreo, así como el procesamiento y análisis de los datos para estos depósitos, se encuentran en el Manual de campo del IFN (FAO, 2015) y en el documento de Metodología de procesamiento y análisis de datos del IFN. Versión octubre 2015. (PNC ONU REDD+, 2015b).

VI- Estimaciones de emisiones de tCO₂e en “Otras tierras forestales: cobertura del Palmar”

1) Determinación de Datos de actividad (DA): mapa de cobertura del Palmar para años específicos

Esta formación es considerada como un estrato de bosque nativo por el Manual de campo (FAO, 2015a) del Inventario Forestal Nacional (INFONA), debido a su contenido de biomasa y la superficie que ocupa en el país. Sin embargo, en amparo del Decreto 175 del año 2018 que reglamenta el Artículo 42 de la Ley 422 “Forestal”, los “Palmares” se encuentran incluidos en la categoría de: “Otras tierras forestales”.

Por este motivo, las estimaciones de las emisiones concernientes a esta formación se excluyen de la determinación del segundo NREF. Sin embargo, se incluyen en este apartado a manera de información complementaria.

Al respecto, seguidamente se explican los antecedentes en la apreciación de esta formación, así como la generación de los DA y FE correspondientes.

En el Paraguay existen varios tipos de Palmas, pero la más importante es la *Copernicia alba*, por la extensión que abarca en la cobertura total (Mereles, 1998). La significancia de esta cobertura forestal radica en su extensión geográfica a densidades altas de aproximadamente un millón y medio de hectáreas en el territorio nacional y su contribución apreciable en las emisiones/absorciones de CO₂ debido a su contenido de biomasa, es así que en las discusiones iniciales entre las instituciones que conforman el Programa ONU REDD+ se estimó su inclusión en la definición de bosque. Considerando su distribución mayoritariamente en forma de rodales puros, pero integrándose fundamentalmente al Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay, que prácticamente lo rodea, el Inventario Forestal Nacional resolvió categorizarlo como un estrato de bosque nativo independiente. También, se encuentra en menor medida de forma dispersa o en el interior de islotes boscosos, en rodales mixtos con latifoliadas y especies leñosas arbustivas, además de encontrarse también en zonas de transición denominadas Sabana palmar (PNC ONU REDD+, 2014b).

Debido a estas características en su composición y distribución geográfica, entre los años 2014 - 2015 se generó un mapa de la clasificación y estimación de la superficie que abarca la formación del Palmar, correspondiente al análisis de imágenes satelitales Landsat (circa 2011). Este mapa fue empleado en las estimaciones del primer NREF, integrándose al BSHIRP debido a la distribución geográfica común de ambas formaciones. Así como también su FE, el cual fue estimado o ponderado por el peso, de acuerdo a la proporción de la superficie que ocupa cada formación en el país: BP y BSHIRP.

También, de forma a lograr la consistencia con los mapas de clasificación de coberturas del IPCC, fue generado un mapa de cobertura multitemporal del Palmar, teniendo en cuenta los mismos años de análisis y las series temporales. Seguidamente, una breve descripción del proceso:

a) Selección de imágenes satelitales

Se utilizaron imágenes de la serie temporal Landsat debido a su disponibilidad histórica y la facilidad de acceso a los datos que brinda el programa satelital mencionado. Si bien, los periodos estacionales difieren levemente. Este mapa del Palmar fue generado de forma independiente y a cargo de otro profesional no partícipe de la elaboración de los mapas del IPCC, apoyándose en el

mapa de cobertura del Palmar del año 2011, que corresponde al primero de su tipo que fue elaborado a nivel país.

b) Composición del mosaico, aplicación de índices espectrales y temporales

Considerando que, la resolución espacial de las imágenes Landsat (30 x 30) dificulta la discriminación confiable de esta formación (principalmente a menores densidades), se efectuaron algunos procedimientos adicionales a los mosaicos, con el objetivo de mejorar la clasificación: a) utilización del mosaico meiode generado sin ninguna información adicional; b) cálculos de índices espectrales para su inclusión al mosaico como entradas adicionales para el clasificador.

La variación estacional característica de los palmares incide en el grado de detección de áreas específicas, por este motivo se emplearon métodos para captar la variación estacional de los palmares y dejar ésta expresada en un formato reconocible por el clasificador. Uno de ellos fue, el empleo de variables temporales en el mosaico. Proceso que comprende los siguientes pasos:

- Generación del mosaico meiode a partir de imágenes del año de estudio de los meses de mayo a julio.
- Generación de colección de imágenes libres de nubes en el mismo periodo considerado para el mosaico meiode (rango aproximado de 3 meses). Es decir, se genera una colección de imágenes que incluye no solo las imágenes de los meses de mayo a julio, sino que incluye las imágenes de los meses de febrero a octubre, con el objetivo de captar la variabilidad de las diferentes clases estudiadas.
- Se realiza el cálculo de índices espectrales a cada una de las imágenes de la colección anteriormente mencionada y se calculan estadísticas tales como: valor mínimo, máximo, la diferencia y la desviación estándar de los valores de estos índices para cada pixel en este periodo. De esta forma se pueden captar los lugares más estables y aquellos más susceptibles a cambios como el área de interés que se caracteriza por tener una respuesta similar a pasturas o a humedales excepto en el momento de floración y fructificación.

Las bandas originales utilizadas como entrada para el proceso de clasificación, corresponden a: *Blue, Green, Red, Nir, Swir1, Swir2*. Por su parte, los Índices Espectrales calculados en base al mosaico generado correspondieron a: *Ndvi, Ndwj, Savi, Pri, Cai, Evi2, Gcvi, Gv, Npv, Soil, Cloud, Shade, Gvs, Ndfi, Sefi, Wefi, Fns*. Mientras que, los Índices Temporales calculados a partir de la colección de imágenes, son: *NDFI_Min, NDFI_Max, NDFI_Amp, NDFI_EstD, SEFI_Min, SEFI_Max, SEFI_Amp, SEFI_EstD, WEFI_Min, WEFI_Max, WEFI_Amp, WEFI_EstD*.

También cabe mencionar que, se extendió el área de análisis de modo a incluir regiones con potencial cobertura de campo palmar. A raíz de ello, el área de cobertura actual representa casi 3 millones de hectáreas más que el área original de los mapas anteriormente generados por el SNMF (correspondiente al estrato: BSHIRP), correspondiendo a una extensión de superficie del BSCH.

En la figura 20, se puede visualizar el área original del BP que fue considerada para la construcción del primer NREF (línea color verde), mientras que el área actual de estudio para la generación del mapa de cobertura multitemporal del Palmar:

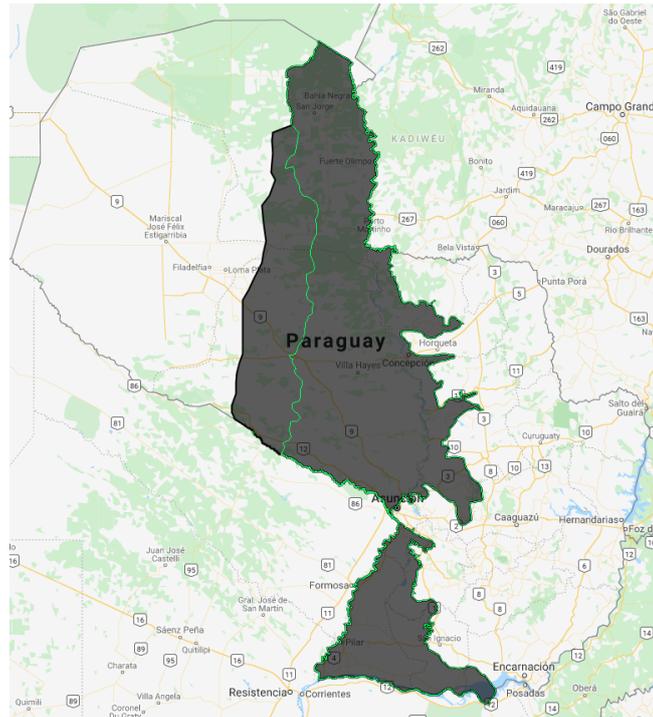


Figura 20. Área de estudio original (línea verde) y área de estudio actual (coloreado en gris)
Fuente: SNMF/BCS/PNUD, 2020.

c) Clasificación supervisada de imágenes

Se empleó la plataforma GEE, aplicando una clasificación supervisada sobre el mosaico generado anteriormente. Se utilizó la combinación de falso color (infrarrojo medio, infrarrojo cercano, rojo) para la toma de muestras de entrenamiento correspondientes a las clases bosque, no bosque, agua y palmar.

Se tomaron por lo menos 100 muestras en forma de polígonos de cada clase. Se mantuvo un promedio de 300 puntos por clase. Una vez obtenidas las muestras de entrenamiento se realizó la consiguiente clasificación utilizando el algoritmo *Random Forest*.

d) Segmentación

Mean-Shift es un algoritmo de agrupamiento no paramétrico introducido por Fukunaga y Hosteltler (1975) que clasifica un conjunto de elementos en base a propiedades de estos de forma iterativa. Este procedimiento se usa para buscar las modas de una función de densidad de probabilidad, representada por un grupo finito de muestras. Este algoritmo sustituye los píxeles de la imagen original por el promedio de los píxeles dentro de su vecindad incluido el mismo; pero promediando solo aquellos píxeles cuyo valor de intensidad esté dentro de un intervalo de ponderación del valor de intensidad del píxel central.

Para el proceso de segmentación se utilizó un *stack* de las bandas correspondientes a la banda del azul, verde, rojo, infrarrojo cercano e infrarrojo de onda corta 1 de las imágenes Landsat convertidas a valores de Reflectancia a Nivel de Superficie (tope de la atmósfera) re-escalados por un valor de 10.000.

Para este proceso se hizo uso del software Orfeo Toolbox (versión 7.0.0), específicamente se utilizó la herramienta *Large-Scale MeanShift*, teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

Rango Espacial: 5,
 Rango Espectral: 150,
 Tamaño mínimo de segmentos: 12,
 y tamaño de teselas: 2.000.

e) Asignación de clase por mayoría

Posteriormente, se efectuó la conversión a formato vectorial o *shapefile*, en el software QGIS. Para la asignación de clases a los segmentos se utilizó la herramienta de estadísticas de zona del programa Qgis, específicamente se realizó el cálculo de mayoría por segmento de modo a determinar la clase mayoritaria por segmento

f) Edición

Una vez obtenidos los segmentos categorizados, se efectúa de nuevo una revisión para verificar si la clasificación de los mismos se encuentra acorde a lo observado en las imágenes satelitales. Las modificaciones se realizan directamente en la tabla de atributos de los segmentos en el QGIS.

2) Determinación de Factores de emisión (FE): remediciones del IFN

Los procedimientos descritos en el Anexo III en relación a las remediciones del IFN, se aplican de igual manera al Bosque Palmar, con las salvedades siguientes:

Tamaño y número de las unidades de muestreo (UM)

Para la colecta de información en el estrato de Bosque Palmar, la unidad de muestreo empleada fue de un conglomerado con tres parcelas, de dimensión 40 x 40 m cada una (Ver Figura 20). Esta superficie fue considerada preliminarmente como suficiente para recoger la variabilidad con relación a la composición florística y estructura de esta formación (FAO, 2015)

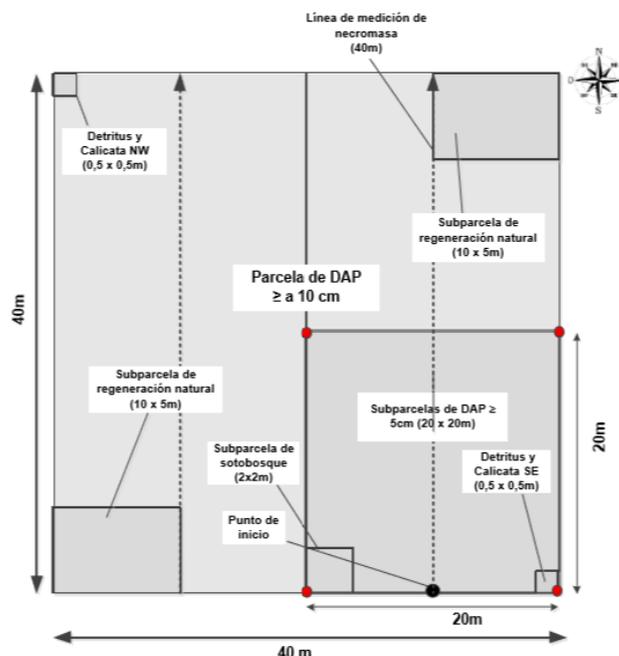


Figura 21. Estructura de la parcela 40 x 40 m establecida por el IFN.
 Fuente: Manual de campo del IFN (FAO, 2015)

Para el Bosque Palmar (BP) se emplearon 7 conglomerados, representando 21 parcelas. La tabla que sigue, presenta con más detalles la cantidad de parcelas para biomasa viva y para sotobosque.

Tabla 18. Cantidad de unidades muestrales establecidas por el IFN por tipo de bosque.

Tipo de bosque (estrato) del IFN	Cantidad de parcelas de las UM (para Biomasa viva total)	Cantidad de parcelas de las UM (para Sotobosque)*	Tamaño de las parcelas
Bosque Palmar**	21	8	40 x 40 m (0,16 ha)

*Obs: número de parcelas que aplicaron para la colecta de datos correspondientes a sotobosque

**No se incluyen las estimaciones del Bosque Palmar como parte de este segundo NREF

Ecuación alométrica empleada para Bosque Palmar (BP)

Para la obtención de Biomasa aérea en el Bosque Palmar, se empleó una ecuación alométrica generada en el país para la especie característica principal *Copernicia alba* (Guyrá Paraguay, 2015).

Mientras que para la obtención de Biomasa viva total se utilizó una ecuación para Palmas de alto porte (>10 m de altura), desarrollada para los trópicos por Pearson *et al.* (2005). La tabla 19 presenta el detalle:

Tabla 19. Ecuaciones alométricas aplicadas para la determinación de la biomasa para cada estrato de bosque nativo

Estrato de Bosque	Ecuación	R ²	Unidad	Autores/Lugar
BP <i>Copernicia alba</i>	B aérea = - $18,1524159+12,3118061(Ht)-$ $0,07993274(Ht)^2$	Sin dato	B aérea (kg) Ht (m)	Guyra Paraguay (2015) Paraguay
BP Palmas de alto porte	B total $=6,666+12,826*Ht^{0,5}*Ln(Ht)$	Sin dato	B total (kg) Ht (m)	Pearson <i>et al.</i> (2005) Trópicos

Específicamente para el caso del estrato de bosque Palmar (BP), para aquellos individuos de diferentes especies enclavados en los rodales naturales de *Copernicia alba*, el cálculo de biomasa del fuste se obtuvo al multiplicar el volumen comercial por la densidad específica de cada especie; para posteriormente calcular la biomasa aérea, viva y radicular mediante factores de expansión por defecto del IPCC (2003).

Tabla 20. Densidades y factores de expansión aplicados para el cálculo de biomasa en las especies arbóreas asociadas a *Copernicia alba* en el bosque de Palmar.

Especie	Densidad básica	FEB aérea*	FEB raíz**
<i>Acacia caven</i>	0,960 Atencia (2015)	1,60	0,20
<i>Prosopis spp.</i>	0,775 Atencia (2015)	1,60	0,20
<i>Tabebuia nodosa</i>	0,835 Atencia (2015)	1,60	0,20

Fuente: PNC ONU REDD+ (2015b).

Observaciones:

*Valores conservadores que se basan en un rango entre 1,0 – 2,6 (promedio 1,90) para existencias entre 21 – 40 m³ de volumen de bosques de hoja ancha para bosques subtropicales (IPCC, 2003).

**Factor recomendado por el IPCC (2003) para bosques subtropicales cuando la biomasa aérea < 125 Mg/ha.

De esta forma, los resultados de contenido de carbono y tCO₂e para el Bosque Palmar, corresponden a:

Tabla 21. Estimación del contenido de carbono y tCO₂e (ha) para el Bosque Palmar (BP)

Estrato de bosque nativo	Carbono Biomasa aérea (tn/ha)	Carbono Biomasa raíz (tn/ha)	Carbono Biomasa sotobosque (tn/ha)	Carbono Biomasa viva total (tn/ha)	Total tCO ₂ e/ha
Bosque Palmar (BP)	16,18	1,83	0,09	18,02	66,36
Incertidumbre (%)	15,65	37,53	18,92	15,79	

Fuente: remediciones del primer IFN (2020)

3) Determinación de emisiones de tCO₂e en el Bosque Palmar

Aplicando los FE de la tabla 21, se obtienen los resultados preliminares de las emisiones totales (tCO₂e) ocurridas en el Bosque Palmar para el período de análisis 2012 – 2019; considerando todos los estratos del país, en los cuales se identificó geo espacialmente la presencia de esta cobertura. La tabla siguiente incluye el detalle:

Tabla 22. Estimación de las emisiones en tCO₂e para el Bosque Palmar (BP), en los estratos del país

Estrato de bosque nativo	BSCH	BHIRP	BSHC	BHRO
Emisiones totales (tCO ₂ e)	12.764.513	96.803.575	1.434	179

VII- Avances en relación a “desarrollo de una metodología preliminar para estimar áreas quemadas”

Descripción general

El SNMF (2021) elaboró de forma preliminar un mapa de áreas quemadas para todo el territorio nacional, empleando como fuente de información: los datos globales disponibles de áreas quemadas mensuales resultantes del producto MODIS, así como los focos de calor disponibles de la NASA; resultado vinculado a un procedimiento de análisis y criterios espaciales. El producto es un resultado de gabinete, es decir, no contempla información procedente de “datos de campo o *in situ*”.

En tal sentido, este producto refleja datos preliminares y aproximados de las superficies afectadas por fuego con resolución espacial de 500 metros; asimismo, carecen aún de otras variables que deben ser introducidas al proceso para un resultado más preciso. Como así también, herramientas de Inteligencia artificial (IA, por sus siglas en inglés) y procedimientos de determinación de nivel de incertidumbre asociada.

Procedimiento para elaboración de mapas de áreas quemadas

Primeramente, se efectuó una consulta de datos a “MODIS Burned Area Monthly Global 500m²⁰” desde la plataforma del Global Forest Watch²¹; luego se procedió a emplear técnicas de geoprocusamiento y descarga de los datos en el entorno de *Google Earth Engine*, en la forma de capas de información por mes y por año.

Seguidamente, se realizó una conversión de los datos descargados en el entorno de ArcGIS Desktop para el cruzamiento con los focos de calor de la NASA descargados, y almacenados por mes y por año.

Como paso posterior, se aplicaron criterios de selección espacial en una distancia de hasta 5.000 metros para identificar los polígonos de áreas quemadas y los focos de calor, según el año y el mes.

Finalmente, una vez analizada la relación espacial entre las capas de información, se procedió a la edición y actualización de las capas de información para obtener un producto estándar y de esta forma eliminar las áreas de solape.

Resultados preliminares

Es importante mencionar que, si bien se efectuó una disgregación preliminar de las áreas quemadas por tipo de cobertura de uso de la tierra; sin embargo, este procedimiento deberá ser revisado una vez que finalice el proceso de reedición de los mapas de clasificación de coberturas del IPCC.

Al respecto, las tablas 23 y 24 contienen el detalle de las superficies (ha) y su porcentaje de contribución (%), a nivel país (figura 22).

²⁰ Disponible en: <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod45.php>

²¹ Disponible en: <https://www.globalforestwatch.org/dashboards/global/?category=fires>

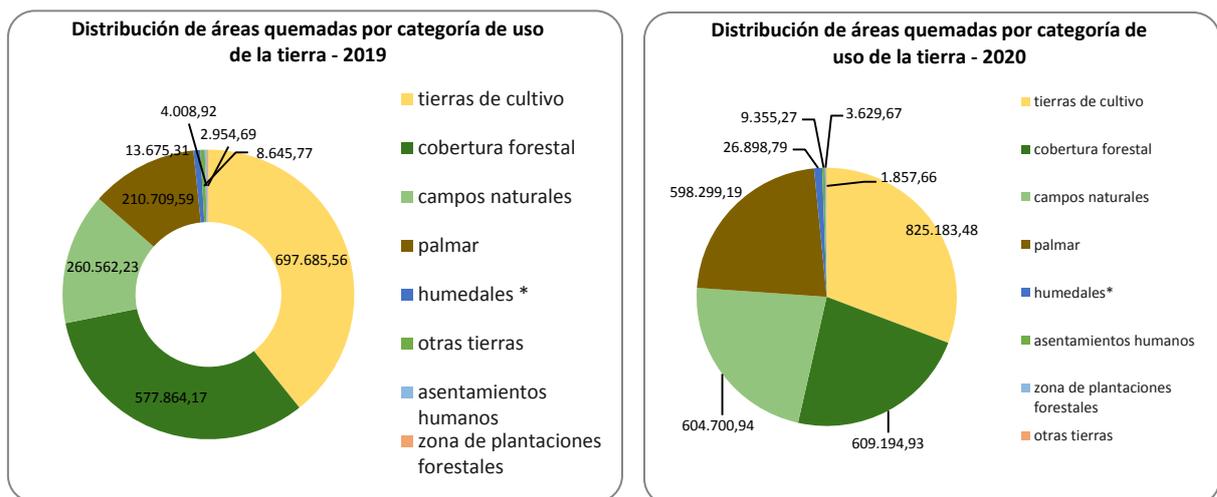
Tabla 23. Estimación de áreas quemadas por categorías de uso de la tierra, año 2019

Áreas Quemadas por uso de la Tierra (IPCC) – año 2019		
Descripción de la categoría	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
tierras de cultivo	697,685.56	39,28%
cobertura forestal	577,864.17	32,54%
campos naturales	260,562.23	14,67%
palmar	210,709.59	11,86%
humedales *	13,675.31	0,77%
otras tierras	8,645.77	0,49%
asentamientos humanos	4,008.92	0,23%
zona de plantaciones forestales	2,954.69	0,17%

Tabla 24. Estimación de áreas quemadas por categorías de uso de la tierra, año 2020

Áreas Quemadas por uso de la Tierra (IPCC) – año 2020		
Descripción de la categoría	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
tierras de cultivo	825,183.48	30,80%
cobertura forestal	609,194.93	22,74%
campos naturales	604,700.94	22,57%
palmar	598,299.19	22,33%
humedales*	26,898.79	1,00%
asentamientos humanos	9,355.27	0,35%
zona de plantaciones forestales	3,629.67	0,14%
otras tierras	1,857.66	0,07%

*las áreas quemadas se visualizaron en la categoría de "humedales", principalmente debido a la discrepancia de las resoluciones espaciales (30x30 metros de mapas IPCC y 500 metros de MODIS), asimismo se debe tener en cuenta que los humedales, incluyen tanto los cuerpos de agua permanentes o aquellos que en la mayor parte del año están cubiertos por agua (puede deberse a que, en algún período del año, la superficie esté libre de agua y experimente quema)

**Figura 22.** Distribución porcentual de áreas quemadas de acuerdo a las categorías de cobertura de uso del IPCC

Fuente: SNMF (2021b)

Los resultados indican que, en los años 2019 y 2020, las tierras forestales experimentaron una afectación por quema en aproximadamente 577.864,17 ha (32,5% de la superficie total del país) y 609.194,93 ha (22,7%), respectivamente.

Por su parte, las figuras siguientes representan los resultados preliminares de áreas quemadas para los años 2019 y 2020, en el Paraguay.

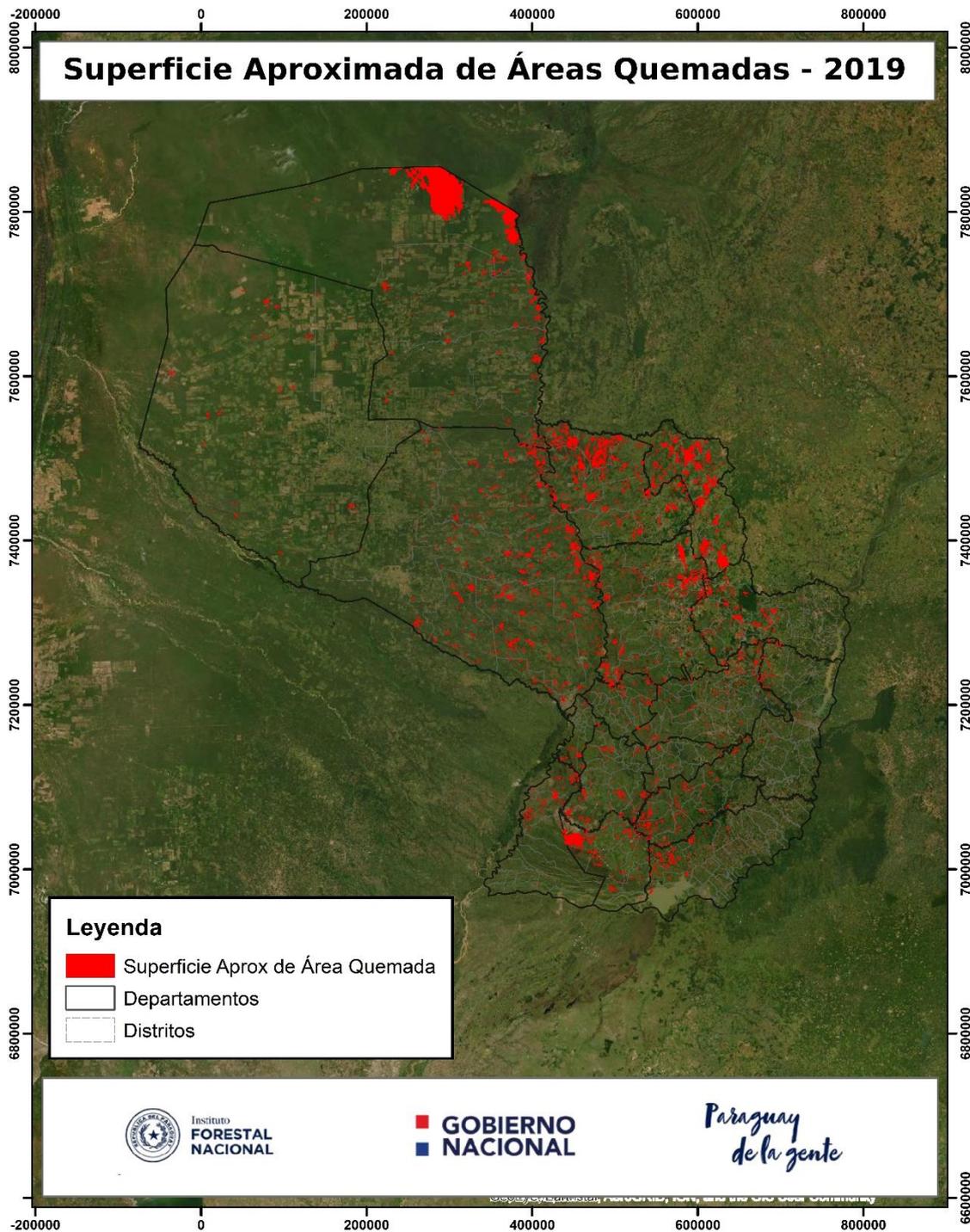


Figura 23. Mapa preliminar de identificación de áreas quemadas, año 2019

Fuente: SNMF, 2021b.

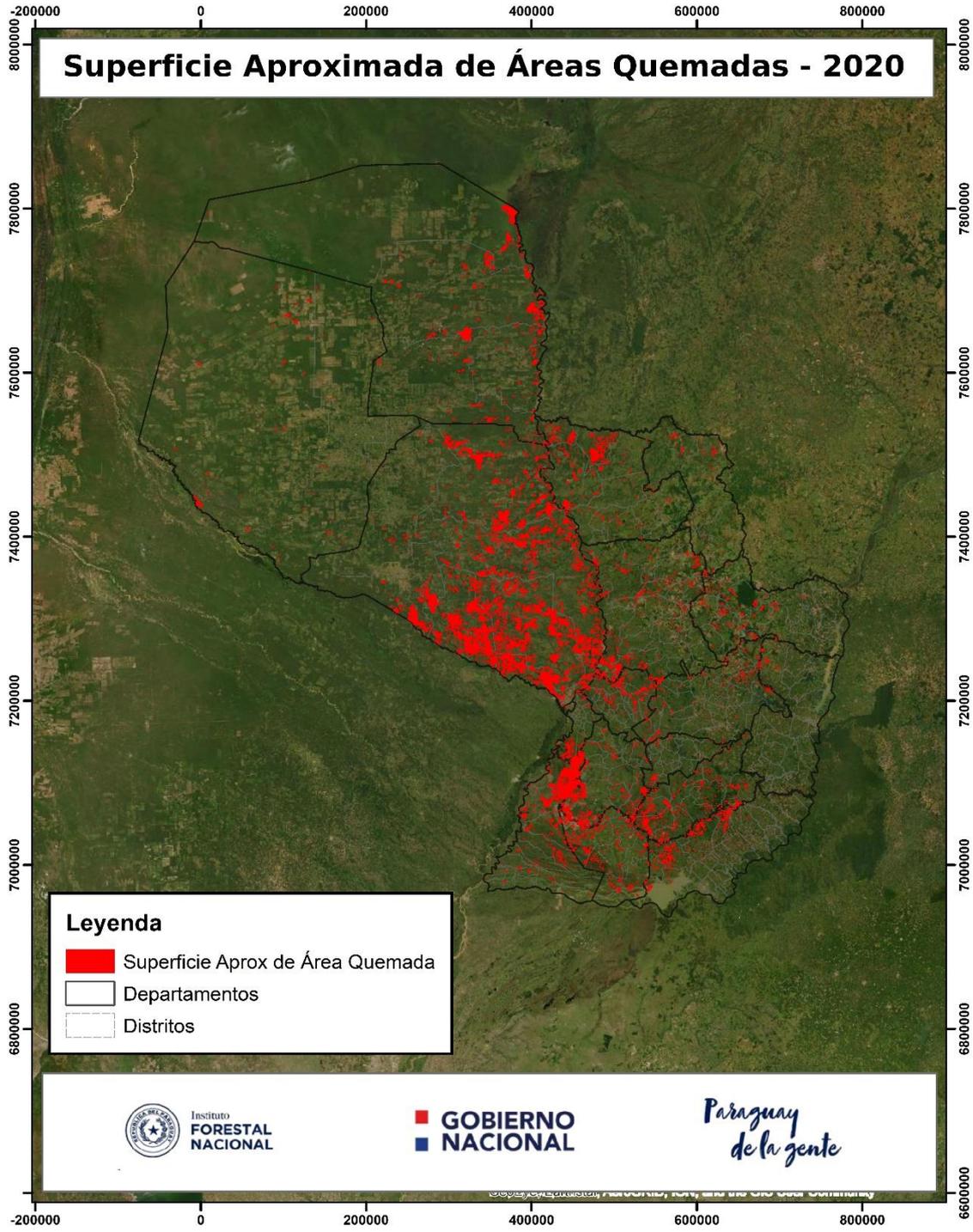


Figura 24. Mapa preliminar de identificación de áreas quemadas, año 2020
 Fuente: SNMF, 2021b.