



**Nivel de Referencia de las Emisiones Forestales por Deforestación en la
República del Paraguay para pago por resultados de REDD+ bajo la
CMNUCC.**

Asunción, Paraguay

2015

Siglas y Acrónimos.

BHRO	Bosque Húmedo de la Región Oriental.
BP	Bosque Palmar.
BSCH	Bosque Seco Chaqueño.
BSHC	Bosque Subhúmedo del Cerrado.
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.
FAPI	Federación por la Autodeterminación de los Pueblos Indígenas.
FFPRI	Instituto de Investigación Forestal y de Productos Forestales del Japón
GEE*	Google Earth Engine.
IBA	Informe Bianual de Actualización.
IFN	Inventario Forestal Nacional.
INFONA	Instituto Forestal Nacional.
INGEI	Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero.
IPCC*	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático.
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.
USCUSS	Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura.
USGS*	Servicio Geológico de los Estados Unidos.

*Por sus siglas en inglés.

Índice general

1. Introducción.....	2
2. Información utilizada en la construcción del Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (NREF)....	3
2.1. Área del NREF	3
2.2. Actividades incluidas	4
2.3. Definición de bosque nativo	4
2.4. Datos de actividad.....	4
2.5. Factores de emisión.....	7
2.5.1. Depósitos incluidos.....	8
2.5.3. Compilación de datos de campo.....	9
2.5.4. Estimación de biomasa total por tipo o estrato de bosque.....	11
2.5.5. Estimación del contenido de carbono y CO ₂ equivalente	11
2.5.6. Gases incluidos	12
2.6. Circunstancias Nacionales.....	13
2.6.1. Análisis cualitativos de las causas de la deforestación y posibles futuras tendencias	13
2.6.2. Consideración de las circunstancias nacionales.....	15
3. Construcción del Nivel de Referencia de las Emisiones Forestales.....	17
4. Consideraciones finales	19
5. Referencias bibliográficas	20
6. Anexos	22
I- Metodología de Elaboración de mapa Cobertura Forestal 2011, cobertura Palmar 2011 y Mapas de cambios de uso de la tierra.	22
II- Metodología para determinar la incertidumbre y exactitud de los Mapas de cambio.	33
III- Manual del Inventario Forestal Nacional (IFN) para la colecta de datos de campo	36
IV- Procesamiento de datos del IFN	41

Índice de Tablas

Tabla 1. Datos de deforestación total en el período de análisis y promedio (ha/año) para la Construcción del NREF.....	7
Tabla 2. Valores de biomasa sobre el suelo, debajo del suelo y de sotobosque (tn/ha), por estrato de bosque.....	11
Tabla 3. Estimación del contenido de carbono y CO2 equivalente (tn/ha) para todos los estratos de bosque.....	12
Tabla 4. Incertidumbre en porcentaje, por depósito de Biomasa viva y por estrato.....	12
Tabla 5. Deforestación promedio para los periodos 2000-2005 y 2005-2011.....	15
Tabla 6. Deforestación promedio para los periodos 2011-2013 y 2013-2015.....	16
Tabla 7. Contenido de Carbono total, emisiones de CO2 equivalente, totales por estrato (tn/año), para el periodo de referencia 2000 -2015.....	17
Tabla 8. Resumen de Datos de actividad histórica y emisiones históricas estimadas para el período 2.000 – 2011.....	17

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa de cobertura forestal del Paraguay por estratos, y detalle de la ubicación del país.....	3
Figura 2. Mapa de cambio de la cobertura forestal correspondiente a los periodos 2000 – 2005 y 2005 – 2011.....	5
Figura 3. Mapa de cambio de la cobertura forestal correspondiente a los periodos 2011 – 2013 y 2013 – 2015.....	6
Figura 4. Mapa de ubicación de las parcelas con levantamiento de información en los estratos de bosque, por el Inventario Forestal Nacional (IFN).....	10
Figura 5. Promedio de emisiones de CO ₂ equivalente en toneladas/año y superficie promedio de deforestación en hectáreas/año.....	18

1. Introducción.

Paraguay presenta, ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), una primera aproximación al Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (NREF). A fin de que la misma siga el proceso de evaluación técnica, en el contexto de pagos basados en resultados, de la iniciativa de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de los Bosques, conservación, manejo sustentable de bosques y mejora de los stocks de carbono en los países en desarrollo (REDD+). Esta iniciativa fue desarrollada en base al Programa Nacional Conjunto ONU REDD+ que aglutina a tres instituciones: Secretaría del Ambiente (SEAM), Instituto Forestal Nacional (INFONA) y la Federación por la Autodeterminación de los Pueblos Indígenas (FAPI).

Esta presentación se enmarca dentro de los procesos de adopción de las medidas mencionadas en el párrafo 70 de la decisión 1/CP.16, siendo la misma de carácter voluntaria y teniendo como objetivo principal proporcionar una línea de base que permita medir el desempeño de la implementación de las actividades REDD+, en el país, de conformidad con las decisiones 9/CP.19, 13/CP.19 (párrafo 2), 14/CP.19 (párrafos 7 y 8) de la CMNUCC.

El Paraguay ha seguido los lineamientos establecidos por la CMNUCC en su decisión 12/CP.17, para la presentación del NREF, por lo que el presente documento ha sido estructurando siguiendo los requerimientos en cuanto a:

- a) Reportar la información utilizada en la construcción del NREF.
- b) Transparencia, consistencia y precisión incluida en la información metodológica usada en el momento de construir el NREF.
- c) Reportar los reservorios, gases y actividades incluidas en el NREF.
- d) Reportar la definición de bosques utilizada.

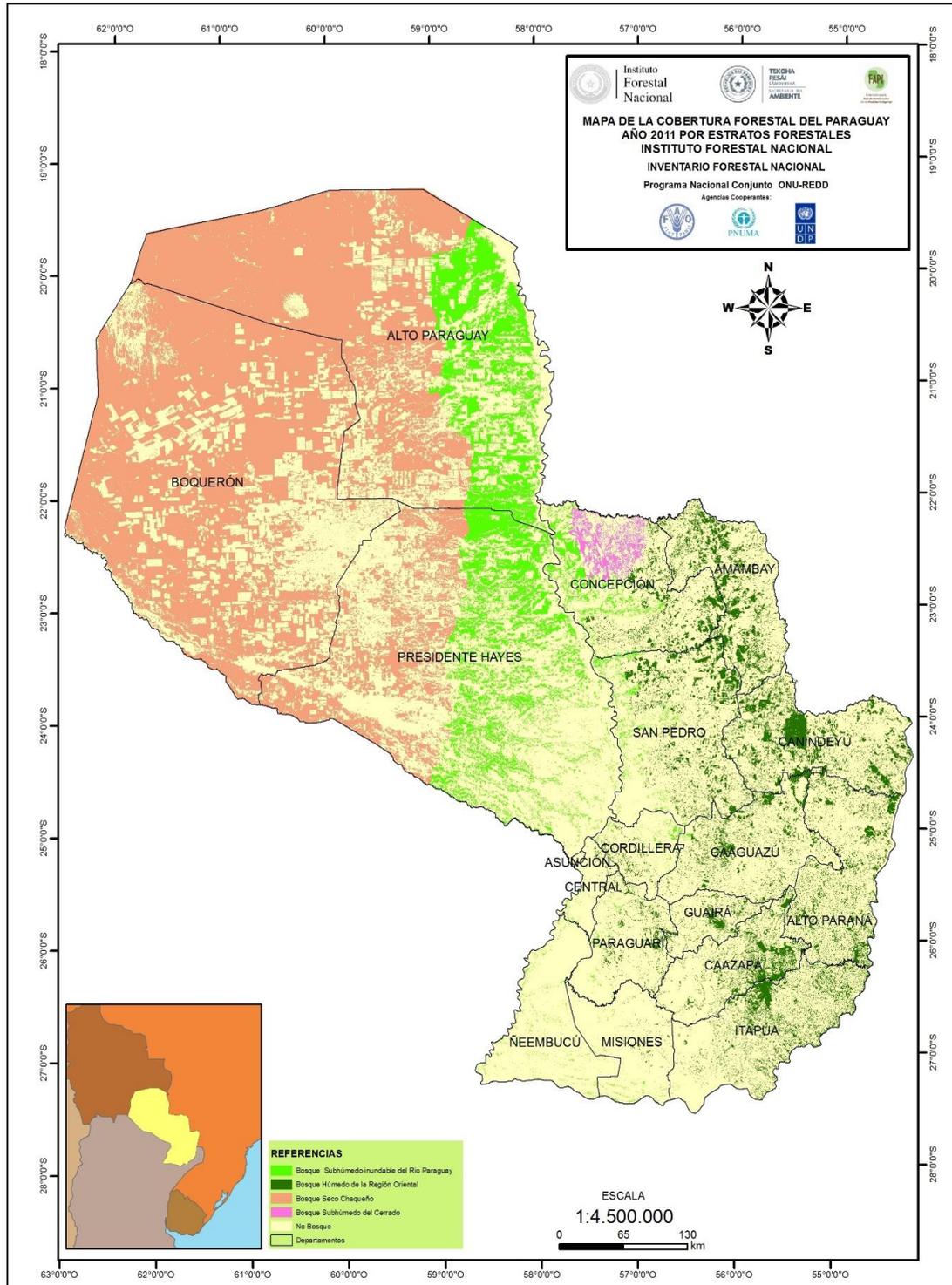
El NREF no establece juicios previos sobre cualquier contribución nacional que Paraguay pudiese proponer en el contexto de los actuales+} procesos de negociación dentro de la CMNUCC.

2. Información utilizada en la construcción del Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (NREF)

2.1. Área del NREF

Para la estimación del Nivel de Referencia de Emisiones Forestales se ha tomado la totalidad (100%) del territorio paraguayo (406.752 km²). En la figura 1 se muestra el mapa de cobertura forestal del país y su referencia de ubicación en América del Sur.

Fig. 1. Mapa de cobertura forestal del Paraguay por estratos, y detalle de la ubicación del país.



2.2. Actividades incluidas

El NREF incluye únicamente las emisiones de CO₂ provenientes de la deforestación. Si bien, el país se encuentra en proceso de desarrollar las metodologías que permitan establecer los parámetros para el monitoreo de la degradación de los bosques, estos deben pasar todavía por un proceso de propuesta y validación, por lo que no son incluidos en esta primera aproximación al NREF.

2.3. Definición de bosque nativo

En Paraguay, a los efectos de REDD+ el bosque nativo es un ecosistema natural con diversidad biológica, intervenido o no, regenerado y/o 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 ha, con una altura de los árboles igual o mayor a 3 m en la Región Occidental e igual o mayor a 5 m en la Región Oriental, y que alcance con una cobertura mínima de copas en su estado natural del 10% en la Región Occidental y 30% para la Región Oriental. También se incluyen las Palmas y Bambúes (tacuaras) nativos que alcancen los parámetros señalados.

Se incluye como bosque las franjas de protección arbóreas naturales igual o mayor a 60 m de ancho, e igual o mayor a 1 ha.

Se excluyen de esta definición de bosque, las áreas urbanas, pastizales, plantaciones con fines predominantemente agrícolas, sistemas agroforestales y sistemas silvopastoriles, cuyo fin principal sea agropecuario.

2.4. Datos de actividad

A fin de establecer el NREF, se han tenido en cuenta las emisiones históricas brutas provenientes de la deforestación en el país en el periodo comprendido entre el año 2000 y el año 2015. Este periodo fue definido considerando las circunstancias nacionales (ver sección 2.6), y la premisa que una prolongación excesiva en el pasado del periodo de referencia, podría incluir patrones o tendencias que no son representativos de las emisiones futuras (FAO, 2015b).

La metodología utilizada para la estimación de los **datos de actividad** corresponde al nivel 3 de complejidad descrito en el 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. Este nivel contempla la utilización de datos de uso de la tierra y cambios en el uso de la tierra geográficamente explícitos. Para lograr esto se utilizaron imágenes satelitales de mediana resolución del programa satelital Landsat (NASA & USGS). Se optó por la utilización de este tipo de imágenes debido a su disponibilidad histórica y la facilidad de acceso a los datos que brinda el programa satelital mencionado.

El equipo técnico del Sistema Nacional de Información Forestal (SNIF) dependiente del Instituto Forestal Nacional (INFONA) con el apoyo del Programa Nacional Conjunto ONU REDD+ (PNC ONU-REDD+) generó a partir de las imágenes Landsat, dos **mapas de cambio de la cobertura forestal** correspondiente a los periodos 2000 – 2005 – 2011 (11 años de análisis) y 2011 – 2013 – 2015 (4 años de análisis).

Estos Mapas de cambio (Fig. 2 y 3) sirvieron para cuantificar y clasificar la superficie del país según las siguientes categorías (PNC ONU-REDD+, 2015b)

- **Bosque Estable:** constituye aquella superficie que ha sido clasificada como bosque en el periodo inicial adoptado (año 2000) y se mantiene como tal en los periodos sucesivos.
- **No Bosque Estable:** constituyen aquellas superficies que han sido clasificadas como No Bosque en el periodo inicial de análisis (año 2000), y se mantienen en esa categoría en los periodos sucesivos (hasta el 2015).
- **Cambio en la Superficie cubierta por Bosque:** hace referencia a la diferencia entre la superficie de bosque detectada en el periodo inicial y la superficie de bosque detectada en

el periodo final. Se consideran cada uno de los años de los periodos mencionados como inicio y fin (2000 – 2005; 2005 – 2011; 2011 – 2013; y 2013 – 2015)

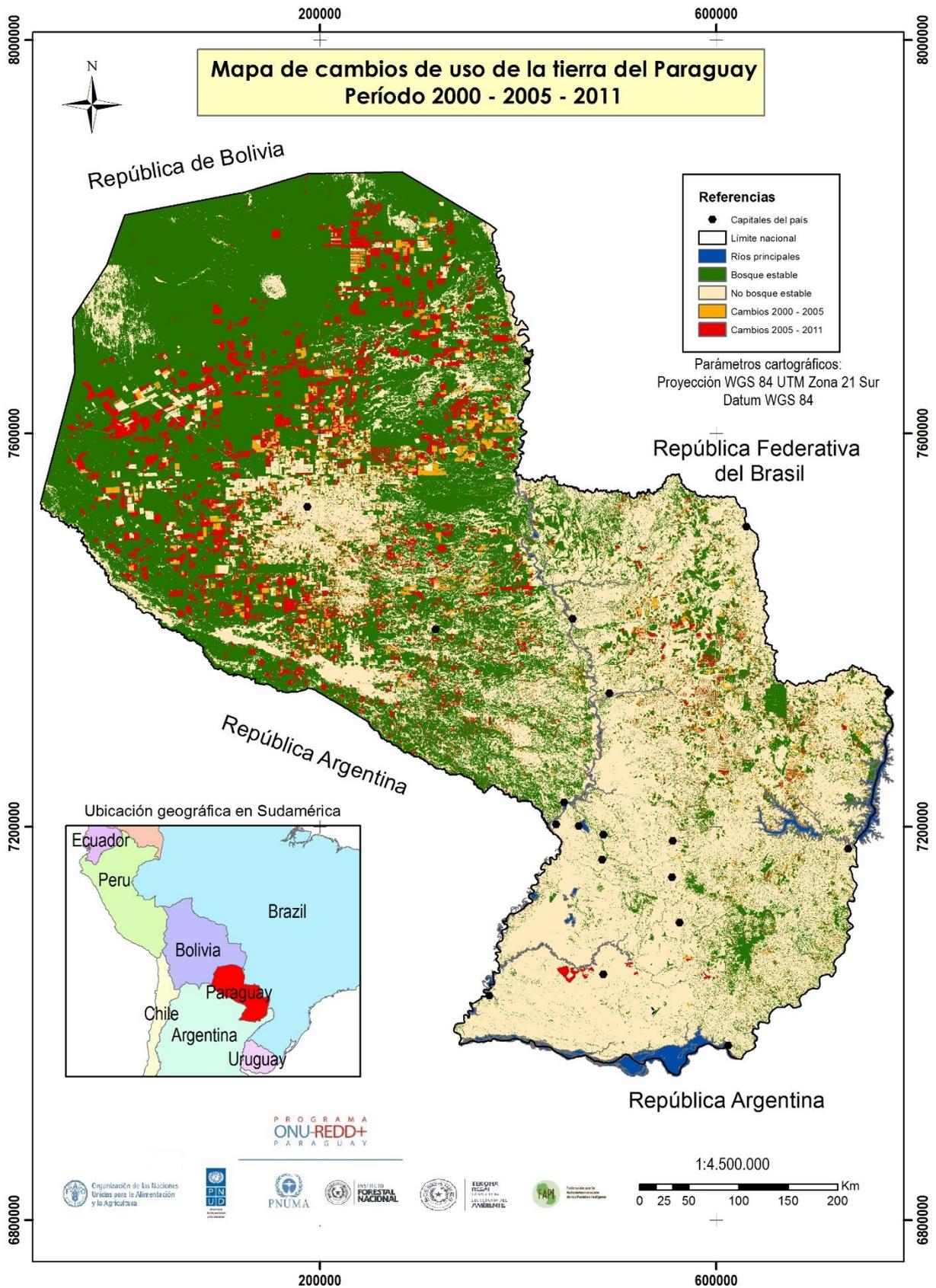


Fig. 2. Mapa de cambio de la cobertura forestal correspondiente a los periodos 2000 – 2005 y 2005 – 2011.

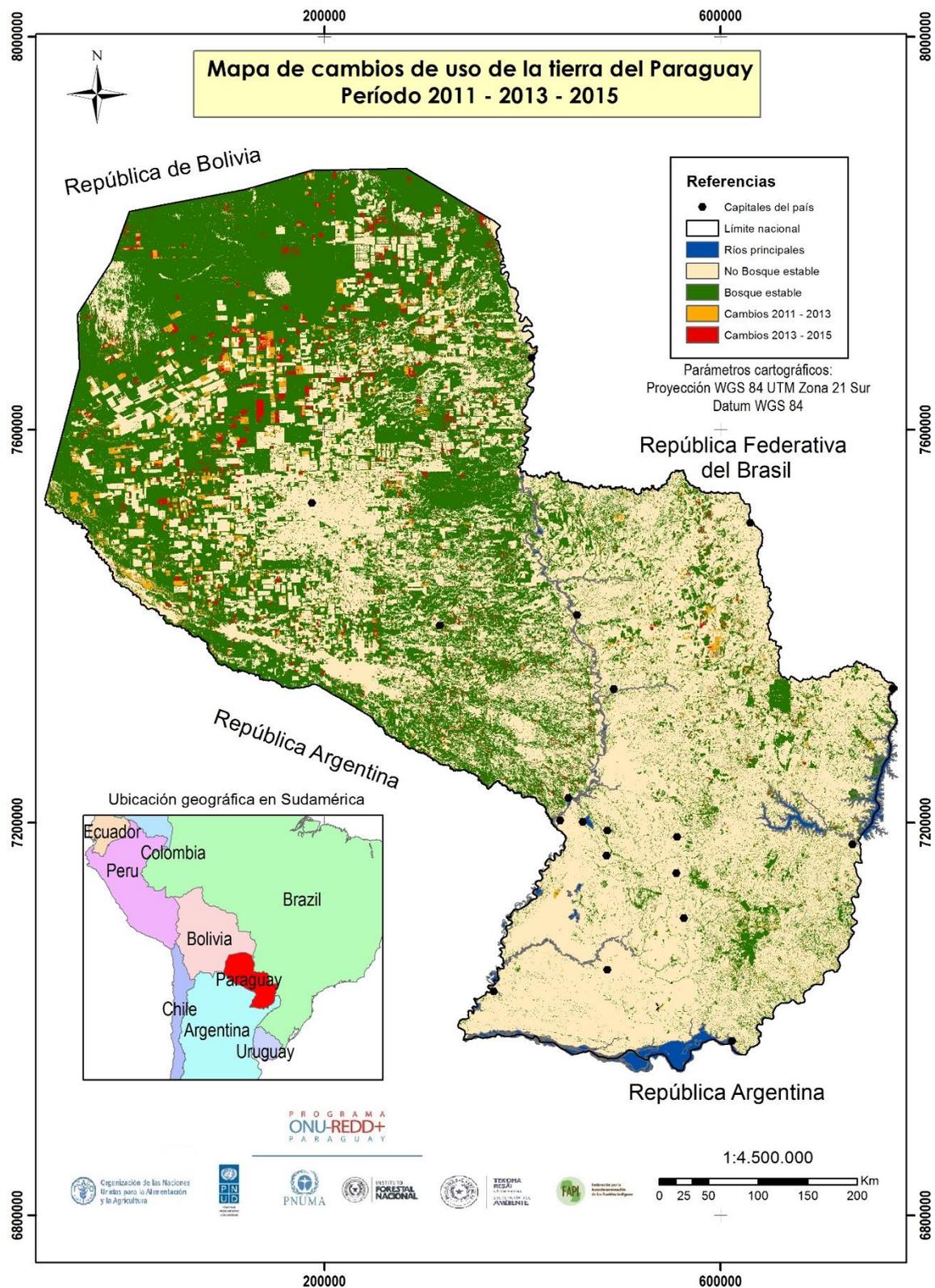


Fig. 3. Mapa de cambio de la cobertura forestal correspondiente a los periodos 2011 – 2013 y 2013 – 2015.

Como base para la elaboración de los **Mapas de cambio** de la cobertura forestal se generó primeramente un mapa de cobertura forestal nativa y otro mapa de cobertura de Palmar, ambos correspondientes al año 2011. El primer mapa incluyó los tipos de bosque considerando la definición adoptada por el país (ver sección 2.3). En el Anexo I, se presenta un resumen de la metodología utilizada para la elaboración de estos mapas mencionados.

Para la elaboración de estos **Mapas de cambio**, se optó por emplear una metodología combinada de clasificación de las coberturas de la tierra (mediante muestras de entrenamiento y agrupación de píxeles basados en su respuesta espectral) empleando la plataforma Google Earth Engine y procedimientos de segmentación utilizando el software Monteverdi (clasificación basada en objetos, OBIA por sus siglas en inglés).

Si bien en el Anexo I se describe en detalle la elaboración de los **Mapas de cambio**, a continuación se enuncian las etapas principales del proceso:

- a) Clasificación de las categorías de cambio utilizando la plataforma GEE, utilizando como base la cobertura forestal del 2011 previamente generada; se realizaron modificaciones o correcciones a la misma y a partir de ella se generaron las demás categorías mencionadas anteriormente.
- b) Descarga del archivo generado (clasificación de categorías) en la plataforma en formato ráster (se consideró para la clasificación el mosaico de aquellas imágenes Landsat con un porcentaje de nubes inferior al 10%.)
- c) Segmentación del mosaico mediante la utilización del software de código libre Monteverdi2 (unidad mínima de segmentación 1 ha o 12 píxeles).
- f) Cálculo de estadísticas de zonas, mediante el cálculo de “mayoría” por segmentos utilizando el software Arc Gis.
- g) Vectorización y edición de resultados
- h) Unión regional (R. Oriental y R. Occidental) a fin de obtener un mapa a nivel país.

Finalmente, se realizan los cálculos para determinar la exactitud de los **mapas de cambio** y la incertidumbre asociada. Este procedimiento aún no ha finalizado, por lo tanto no se incluye esta información en el presente documento (ver Anexo II para la descripción metodológica).

Este proceso de validación oficial de los mapas, lo realiza la Secretaría del Ambiente (SEAM) institución que no participa en la generación de los datos de actividad. Esta decisión tiene como propósito asegurar la objetividad en la determinación de la confiabilidad del producto.

Los datos de cambio de la superficie cubierta por bosque (anualizados) constituyen los **datos de actividad** necesarios para la construcción del NREF (Tabla 1)

Tabla 1. Datos de deforestación total en el período de análisis y promedio (ha/año) para la construcción del NREF.

Estrato	Período 2000 – 2015	
	Deforestación (ha)	Deforestación promedio ha/año
Bosque Húmedo de la Región Oriental (BHRO)	879.779,88	58.651,99
Bosque Seco Chaqueño (BSC)	3.638.200,06	242.546,67
Bosque Sub Húmedo del Cerrado (BSHC)	24.687,00	1.645,80
B. Sub Húmedo Inundable del Río Paraguay (BSHIRP)	952.128,61	63.475,24
Total	5.494.795,55	366.319,70

Fuente: datos del Programa Nacional Conjunto ONU REDD+ (2015b).

2.5. 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.

En el caso de Paraguay, el proceso de estimación de factores de emisión corresponde al nivel 2. Para este nivel, se emplearon datos específicos del país, colectados mediante el primer Inventario Forestal (IFN) realizado a escala nacional en el Paraguay. Para la cuantificación de la Biomasa viva total se emplearon tanto ecuaciones alométricas generadas localmente para los estratos de Bosque Húmedo de la Región Oriental, Bosque Seco Chaqueño y Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay; como ecuaciones generadas para los trópicos para el Bosque Sub húmedo del Cerrado

2.5.1. Depósitos incluidos

El 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. Se excluyen del cálculo 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 o orgánico).

Considerando la información proveniente de otros depósitos o reservorios, si bien se cuentan con resultados preliminares, aún no permiten su inclusión en este NREF. Estos depósitos podrían ser considerados en futuras mejoras de la propuesta del NREF del país.

2.5.2. Estratificación del bosque

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, 2015a). La estratificación del bosque utilizada para el NREF, es la misma que ha sido empleada para el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI), reportado en el primer Informe Bianual de Actualización del Paraguay del año 2015, específicamente en el sector Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura (USCUSS) correspondiente al período 2005 - 2011.

Los estratos de bosque identificados 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 rhodatiana*, *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 karanday. 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 Topography 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 *Ximenia 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).

Bosque Palmar (BP): comprende a los bosques dominados por palmares distribuidos en toda la planicie inundable de la cuenca del Río Paraguay, con diferentes densidades y grado de perturbación. La especie de palmar dominante es *Copernicia alba*. Esta formación es considerada como un estrato de bosque nativo por el Manual de campo (FAO, 2015a) del Inventario Forestal Nacional (INFONA). Sin embargo, considerando que se cuenta solo con el Mapa de cobertura de Palmar para el año 2011 y dada la dificultad de mapear esta cobertura a densidades medias y bajas utilizando imágenes de mediana resolución (Landsat), además de contar con información preliminar muy escasa en cuanto a contenido de biomasa y Carbono asociado (6 unidades de muestreo), se resolvió no incluir esta cobertura en las estimaciones de emisión de CO₂. Más detalles con relación a esta cobertura, se encuentran en el Anexo I: Metodología de elaboración de los mapas.

2.5.3. Compilación de datos de campo

Los datos empleados para estimar las reservas de Carbono de los diferentes estratos de bosque son los resultados obtenidos del procesamiento de las informaciones colectadas en los distintos estratos de bosque identificados por el Inventario Forestal Nacional (IFN). Es importante mencionar que los datos colectados en el Bosque Seco Chaqueño, Bosque Sub Húmedo del Cerrado y Bosque Sub húmedo inundable del río Paraguay son aún preliminares; al respecto, el IFN contempla el levantamiento de información en un número mayor de parcelas. El objetivo es obtener resultados de exactitud y precisión más elevados, por lo que se espera su utilización para actualizaciones futuras de este documento.

Al respecto, los datos del IFN utilizados para el cálculo del contenido de Carbono en bosques corresponden al levantamiento de información en 124 parcelas en total, establecidas entre los años 2014 - 2015 (ver Fig. 4), cada una de un tamaño de 60 x 60 metros (0.36 ha). Para el estrato de Bosque Húmedo de la región Oriental se establecieron 45 parcelas (este es el único estrato que cuenta con resultados finales, se colectó la información en la totalidad de las parcelas previstas) y para el Bosque Seco Chaqueño se relevaron datos de 15 unidades de muestreo en conglomerado (45 parcelas). En relación al Bosque del Cerrado, se dispone de datos colectados en 30 unidades de

muestreo, y para el Bosque Inundable del río Paraguay los datos proceden de 4 unidades de muestreo.

La metodología utilizada para la colecta de datos de campo por el equipo técnico del Inventario Forestal Nacional se encuentra sistematizada en el Manual de Campo (FAO, 2015a); y en cuanto al procesamiento preliminar de los mismos, la metodología empleada se encuentra descrita en el Informe preliminar del Inventario Forestal Nacional (PNC ONU REDD+, 2015a). Estos documentos corresponden a Anexos complementarios a este.

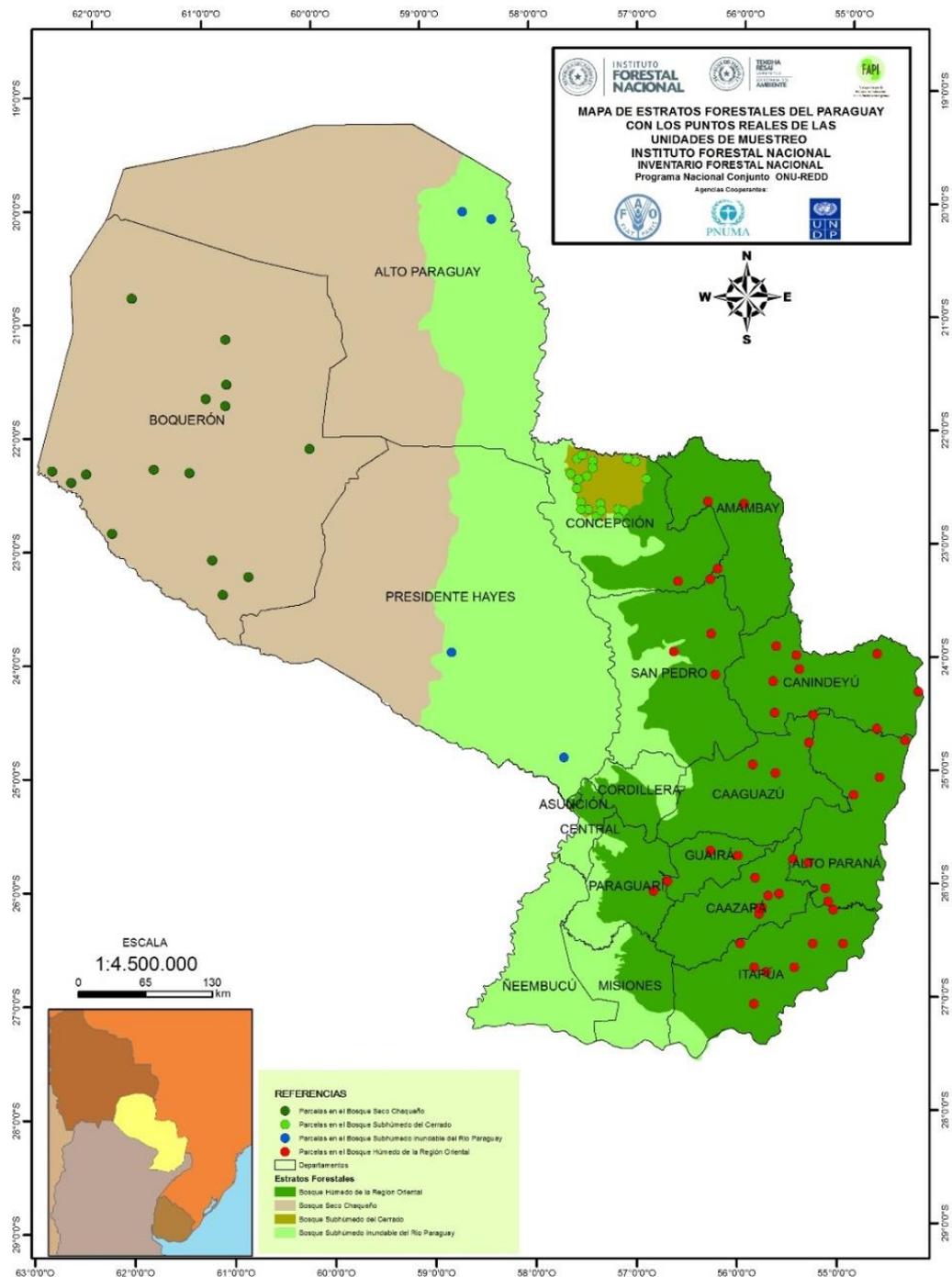


Fig. 4. Mapa de ubicación de las parcelas con levantamiento de información en los estratos de bosque, por el Inventario Forestal Nacional (IFN)

2.5.4. Estimación de biomasa total por tipo o estrato de bosque.

Para la estimación de la biomasa viva total (incluyendo biomasa bajo el suelo) y la biomasa arriba del suelo, se aplicaron ecuaciones alométricas desarrolladas localmente y además ecuaciones generadas para los trópicos. También, se utilizó una ecuación para el cálculo de volumen, que fue desarrollada en el país para la especie característica del Bosque Seco Chaqueño: Samu'u o *Ceiba chodatii* (Sato *et al.*, 2014).

Se contaron con ecuaciones locales para los estratos de Bosque Húmedo de la Región Oriental, Bosque Seco Chaqueño y Bosque Sub Húmedo del río Paraguay (Sato *et al.*, 2013 y 2014). Mientras que, para el Bosque sub húmedo del Cerrado se empleó ecuaciones generadas para los trópicos (Chave *et al.*, 2005), contenidas en la plataforma Globalometree. Ver Anexo IV: Procesamiento de datos del IFN.

La **biomasa viva total** por hectárea en los diferentes tipos de bosques del país varía entre 60,14 tn/ha y 199,12 tn/ha (tabla 6). Estimándose un promedio simple de **biomasa viva total** de 131,56 tn/ha (considerando todos los tipos de bosque).

Tabla 2. Valores de biomasa sobre el suelo, debajo del suelo y de sotobosque (tn/ha), por estrato de bosque.

Estrato	Biomasa sobre el suelo (tn/ha)	Biomasa bajo el suelo (tn/ha)	Biomasa sotobosque (tn/ha)	Biomasa viva total (tn/ha)
Bosque Húmedo de la Región Oriental (BHRO)	*111,41	*14,04	*2,64	*128,09
Bosque Seco Chaqueño (BSC)	34,68	16,63	8,83	60,14
Bosque Sub Húmedo del Cerrado (BSHC)	109,21	29,21	0,46	138,88
B. Sub Húmedo Inundable del Río Paraguay (BSHIRP)	141,31	48,57	9,24	199,12
Promedio simple				131,56

**Obs:* Estos valores corresponden a los resultados finales del levantamiento de información de campo del IFN para este estrato.

2.5.5. Estimación del contenido de carbono y CO₂ equivalente

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.

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.

El contenido de carbono asociado a cada uno de los estratos de bosque, constituyen los **factores de emisión**, asumiendo que la biomasa inmediatamente después de la deforestación corresponde a cero. El contenido de **Dióxido de Carbono equivalente (CO₂)** 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 división del peso molecular del oxígeno (O₂) y el peso molecular del carbono (C), lo cual corresponde a 44/12 (IPCC, 2003).

Tabla 3. Estimación del contenido de carbono y CO₂ equivalente (tn/ha) para todos los estratos de bosque. Fuente: datos del Programa Nacional Conjunto ONU REDD+ (2015a).

Estrato de bosque nativo	Carbono Biomasa sobre el suelo (tn/ha)	Carbono Biomasa bajo el suelo (tn/ha)	Carbono Biomasa sotobosque (tn/ha)	Carbono Biomasa viva total (tn/ha)	Total tn CO ₂ eq/ha
Bosque Húmedo de la Región Oriental (BHRO)	*52,36	*6,6	*1,39	*60,35	221,28
Bosque Seco Chaqueño (BSCH)	16,3	7,82	4,49	28,61	104,90
Bosque Sub Húmedo del Cerrado (BSHC)	51,33	13,73	0,13	65,19	239,03
B. Sub Húmedo Inundable del Río Paraguay (BSHIRP)	66,42	22,83	3,44	92,69	339,86

**Obs:* Estos valores corresponden a los resultados finales del levantamiento de información de campo del IFN para este estrato.

Los valores de incertidumbre (error) expresados en porcentaje, con los que se cuentan, corresponden a todos los estratos de bosque nativo (en los cuales se realizó la colecta de información de campo por parte del IFN). Están asociados a cada uno de los componentes del depósito de Biomasa viva total, es decir para el Sotobosque, para la Biomasa arriba del suelo y para la Biomasa debajo del suelo. En la siguiente tabla, se pueden visualizar los valores.

Tabla 4. Incertidumbre en porcentaje, por depósito de Biomasa viva y por estrato. Fuente: datos del Programa Nacional Conjunto ONU REDD+ (2015a).

Estrato	Incertidumbre % Carbono Biomasa árboles vivos	Incertidumbre % Carbono Biomasa sotobosque	Incertidumbre % Carbono Biomasa bajo el suelo
Bosque Húmedo de la Región Oriental (BHRO)	7,25	16,74	5,95
Bosque Seco Chaqueño (BSCH)	10,16	16,77	6,57
Bosque Sub Húmedo del Cerrado (BSHC)	7,31	12,21	7,31
Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay (BSIRP)	15,89	28,39	14,31

Es importante mencionar, que las estimaciones de incertidumbre correspondientes al estrato de Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay serán mejoradas con la inclusión de nuevos datos y por ende el error asociado sería menor.

La propagación de la incertidumbre de todos los componentes, tanto de factores de emisión como de datos de actividad; tal y como la recomienda la Orientación sobre Buenas Prácticas del IPCC (2003), no es posible realizar debido a que aún no se cuentan con los resultados de la incertidumbre asociada a los Datos de actividad.

2.5.6. Gases incluidos

Teniendo en cuenta el análisis de la información disponible, se ha decidido incluir en el cálculo exclusivamente a las emisiones de CO₂, provenientes de la deforestación. Si bien 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.

2.6 Circunstancias Nacionales

2.6.1. Análisis cualitativos de las causas de la deforestación y posibles futuras tendencias

Expansión de la Frontera agropecuaria

Si bien Paraguay aún cuenta con 16.604.857 has de bosques de acuerdo a los datos preliminares del IFN, de acuerdo a los análisis realizados en el marco de la construcción de los niveles de referencia se ha podido evidenciar que entre las causas directas más importantes de la deforestación a nivel país, se encuentra la expansión de la frontera agropecuaria sobre los bosques. 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. Esto último es especialmente evidente cuando se analizan los datos de producción agrícola, los cuales muestran un aumento en la superficie cultivada de aproximadamente 1.700.000 ha en el periodo 1991 – 2008.

La expansión de las zonas de cultivo se ha dado principalmente en la Región Oriental, mientras que en la Región Occidental se ha concentrado el crecimiento ganadero. Según datos del censo agropecuario nacional, entre el periodo 1991 y 2008 se ha registrado un aumento del 22 % en el número de fincas, correspondiente a un aumento en la superficie de 5.255.625 ha.

Si bien la agricultura y la ganadería emergen como las principales causas directas de la deforestación, existen además varias causas subyacentes que impulsan el proceso de deforestación. Entre estas causas se encuentran:

Tenencia de la tierra: en los últimos 20 años la superficie agropecuaria aumentó en un 30 %, según datos comparativos del Censo Agropecuario Nacional (1991/2008). Si bien existe una expansión de la superficie de uso agropecuario, la comparación entre ambos periodos también muestra una disminución en el número de fincas de Agricultura Familiar¹ (AF) y un aumento de las fincas de Medianos y Grandes Productores (MGP), lo cual indica una intensificación de la concentración de la tierra. Esta desigualdad en la distribución de la tierra viene acompañada de una falta de regularización de la condición jurídica de la tenencia de la tierra para los pequeños productores, lo cual no permite aumentar los activos, lograr la sostenibilidad de las unidades de producción y evitar la pérdida de puestos de trabajo y recursos financieros destinados a la infraestructura social en las comunidades campesinas (PNUD, 2010).

Falta de valoración de los bienes y servicios del bosque: si bien existe la Ley “De valoración y retribución de los servicios ambientales” (**Ley 3001/06**) y en los últimos años se ha avanzado en su reglamentación y aplicación, esto es todavía insuficiente en términos de brindar alternativas de rentabilidad para los propietarios de bosque.

Necesidad de fortalecimiento de las capacidades nacionales en especial en los aspectos relacionados con la prevención y el control de la deforestación: según varios análisis realizados (PNC ONU REDD+, 2011; Vidal, 2013), una de las causas subyacentes de la deforestación radica en el incumplimiento de las leyes y la debilidad del Estado en materia de fiscalización y control. La ley forestal, que data de la década del 70, establecía la necesidad de mantener los bosques protectores, así como las reservas forestales y mencionaba la creación de un fondo forestal a fin de asegurar la financiación de programas forestales. Lamentablemente, así como muchas otras leyes, su implementación ha sido parcial y hasta la creación del INFONA en el 2008 no se tienen registros de sanciones para los que han incumplido la ley. Parte de este problema, se debe a la poca capacidad de control existente, ya que hasta el 2009 el INFONA no contaba con una unidad de Sistemas de

¹ AF: El Registro Nacional de la Agricultura Familiar (RENAF), considera agricultores familiares a productores cuya principal fuente de ingreso familiar es la agricultura, con lotes de hasta 20 ha en la Región Oriental y hasta 50 ha en la Occidental

Información Geográfica y los controles se limitaban a fiscalizaciones puntuales y en las rutas. Hoy, el INFONA cuenta con un equipo técnico a nivel central y equipos para el monitoreo a través de imágenes satelitales, pero el proceso sigue centralizado. Todavía falta construir capacidades en las oficinas regionales, a fin de que estas herramientas de monitoreo satelital puedan ser utilizadas a nivel local, lo cual aumentaría la eficiencia en el control. Esta misma situación se presenta en la SEAM, donde el personal disponible para las áreas protegidas, la fiscalización y control es todavía insuficiente.

Patrones de producción y consumo insustentables: el modelo de producción centrado en la exportación y en las demandas del mercado internacional, se ha mencionado como una causa subyacente de la deforestación en la mayoría de los países en desarrollo, el Paraguay no es la excepción, ya que la expansión de la frontera agropecuaria en el país está directamente relacionada con la demanda y los precios del mercado internacional sea este de granos o carne, con un sistema productivo basado casi en su totalidad por la agricultura de conservación (siembra directa) y sistemas ganaderos en franco crecimiento.

Crecimiento poblacional y expansión de las zonas urbanas

Paraguay ha pasado de contar con una población mayoritariamente rural a una urbana en menos de dos décadas y se espera que para el año 2030 el 63.4% de la población del país resida en las ciudades (DGEEC, 2006). La expansión de las ciudades sobre las áreas rurales ha dado lugar a la transformación del paisaje productivo y constituye una causa directa de deforestación en ciertas áreas. Esta tendencia se ha traducido en un aumento directo de las superficies ocupadas por las ciudades en detrimento de las zonas rurales.

Entre las causas subyacentes relacionadas se destaca la falta de políticas claras de ordenamiento territorial (OT), si bien se cuenta desde hace algunos años con directrices para la elaboración de planes de OT y en muchos casos se han dedicado tiempo y recursos a la elaboración de estos planes, todavía existen grandes falencias en la implementación de los mismos.

Demanda energética

Si bien Paraguay es uno de los mayores exportadores brutos de energía a nivel global, la leña y los combustibles provenientes de la actividad agrícola y forestal constituyen el 46% del consumo total de energía a nivel país (Borsy *et. al.*, 2013). Mucha de la demanda de leña del país es todavía abastecida mediante la explotación del bosque nativo, constituyéndose esta actividad en una de las principales causas de la degradación de bosques y en algunos casos de deforestación.

2.6.2. 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 2014, llevando la prohibición hasta el 31 de diciembre de 2018.

La Ley de Deforestación Cero, representa uno de los elementos jurídicos más fuertes implementados en Paraguay a fin de frenar el proceso de deforestación en la región Oriental. La citada Ley ha demostrado una alta efectividad los primeros años de implementación, reduciendo la tasa de deforestación en la Región Oriental (Tabla 6), pero al mismo tiempo se han visto efectos sobre la tasa de deforestación en la Región Occidental la cual aumenta significativamente en el periodo de vigencia de la ley (Tablas 6 y 7).

Considerando que la Ley tiene un periodo de vigencia, es importante analizar los posibles escenarios a partir del 1 de enero de 2019, fecha en la cual fenecería la misma.

Tabla 5. Deforestación promedio para los periodos 2000-2005 y 2005-2011. Fuente: PNC ONU REDD+ (2015b)

Estrato	Período 2000 – 2005		Período 2005 – 2011	
	Deforestación (ha)	Deforestación promedio ha/año	Deforestación (ha)	Deforestación promedio ha/año
Bosque Húmedo de la Región Oriental (BHRO)	354.125,16	70.825,03	259.896,69	43.316,11
Bosque Seco Chaqueño (BSC)	656.744,70	131.348,94	1.752.473,00	292.078,83
Bosque Sub Húmedo del Cerrado (BSHC)	5.957,01	1.191,40	5.462,64	910,44
B. Sub Húmedo Inundable del Río Paraguay (BSHIRP)	261.810,87	52.362,17	475.352,63	79.225,44
Total	1.278.637,74	255.727,55	2.493.184,96	415.530,83

Tabla 6. Deforestación promedio para los periodos 2011-2013 y 2013-2015. Fuente: PNC ONU REDD+ (2015b)

Estrato	Período 2011 – 2013		Período 2013 – 2015	
	Deforestación (ha)	Deforestación promedio ha/año	Deforestación (ha)	Deforestación promedio ha/año
Bosque Húmedo de la Región Oriental (BHRO)	205.351,02	102.675,51	60.370,47	30.185,24
Bosque Seco Chaqueño (BSC)	685.792,53	342.896,27	542.110,59	271.055,30
Bosque Sub Húmedo del Cerrado (BSHC)	11.736,18	5.868,09	1.457,37	728,68
B. Sub Húmedo Inundable del Río Paraguay (BSHIRP)	140.345,01	70.172,50	72.222,93	36.111,47
Total	1.043.224,74	521.612,37	676.161,36	338.080,68

Uno de los escenarios posibles, correspondería a la ampliación del plazo de vigencia de la Ley, como ya ocurrió en varias oportunidades. De producirse este escenario, se esperaría que la tasa de deforestación en la región Oriental se mantenga estable y que la proyección de la tasa de deforestación a nivel país, construida en base a la tasa de deforestación histórica, también se mantenga.

El segundo escenario posible correspondería a la no ampliación del periodo de vigencia de la Ley de Deforestación Cero, con lo cual se esperaría un aumento en la tasa de deforestación para la región Oriental a partir del 2019, que podría repercutir en la tasa de deforestación total para el país y en el nivel de referencia de emisiones forestales, considerando que los bosques de la Región Oriental son más ricos en carbono/hectárea que los de la Región Occidental.

Una mirada rápida, a los números reportados tanto por el SNIF (Tablas 8 y 9), nos sugiere que de no existir la citada legislación y no darse otras alternativas para el manejo de los bosques, los procesos de deforestación en la Región Oriental podrían acelerarse nuevamente y con ello elevar las emisiones de CO₂ provenientes de la deforestación. Considerando esta situación, se podría plantear un porcentaje de ajuste del NREF que incorpore la posibilidad de aumento de la deforestación de no ampliarse el periodo de vigencia de la ley.

3. Construcción del Nivel de Referencia de las Emisiones Forestales

El NREF del Paraguay no incluye presunciones de cambios 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** y los **factores de emisión**, presentados en las secciones 2.4 y 2.5 respectivamente. Específicamente, las emisiones históricas de CO₂ en toneladas por año, son obtenidas del producto del total de las emisiones de CO₂ equivalente (tn/ha) por la superficie promedio de deforestación (ha/año).

Se asumió la 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.

La siguiente tabla detalla los valores utilizados para el cálculo del NREF, para el periodo de estudio 2000 - 2015.

Tabla 7. Contenido de Carbono total, emisiones de CO₂ equivalente (-eq), totales por estrato (tn/año), para el periodo de referencia 2000 - 2015.

Estratos de Bosque	Carbono Biomasa viva total (tn/ha)	Total tnCO ₂ equivalente /ha	Deforestación promedio (ha/año)	Emisiones históricas (tnCO ₂ equivalente/año) por deforestación de bosque nativo.
Bosque Húmedo Región Oriental (BHRO)	*60,35	221,28	58.651,99	12.978.708,30
Bosque Seco Chaqueño (BSC)	28,61	104,90	242.546,67	25.443.954,24
Bosque Sub Húmedo del Cerrado (BSHC)	65,19	239,03	1.645,80	393.395,57
Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay (BSIRP)	92,69	339,86	63.475,24	21.572.906,88
Promedio deforestación y total emisión de CO₂			366.319,70	60.388.964,99

La superficie promedio de deforestación bruta en el país en el periodo 2000 - 2015 se estima en **366.319,7 ha/año**. Este proceso de deforestación histórico representa emisiones estimadas de CO₂ de aproximadamente **60.388.964,99 tn de CO₂ equivalente/año**. Siendo este último valor el que marca el Nivel de Referencia de Emisiones Forestales.

Considerando la superficie de deforestación bruta del país por cada período de análisis, se determinó la emisión histórica correspondiente en **tn/CO₂/ha/año** para tres períodos, teniendo en cuenta como punto de partida el año 2000 (Tabla 9).

Tabla 8. Resumen de Datos de actividad históricos y emisiones históricas estimadas para el período 2.000 – 2011. Fuente: datos del Programa Nacional Conjunto ONU REDD+ (2015a y b).

Período de análisis	Datos de actividad históricos		Emisiones históricas estimadas de GEI		
	ha	Ha/año	tCO ₂ -eq ha	tCO ₂ -eq /año	tCO ₂ -eq ha/año (período)
2000-2005	1.278.637,74	255.727,55	185,87	47.532.104,62	
2005-2011	2.493.184,96	415.530,83	162,13	67.368.621,56	(2000 – 2011) 170,18
2011-2013	1.043.224,74	521.612,37	160,93	83.942.817,39	(2000 – 2013) 168,25
2013-2015	676.161,36	338.080,68	140,68	47.561.113,45	(2000 – 2015) 164,85

Para estimar la emisión histórica de CO₂ equivalente (-eq) por hectárea/año, se debe efectuar la relación entre emisión histórica total por año en el período de análisis y la superficie de deforestación por ha/año (Dato de actividad histórico).

Independientemente de estos datos numéricos, es importante describir la tendencia de estas emisiones en el periodo de estudio. En la figura 5 se observan los valores promedio de emisiones de CO₂ expresadas en toneladas de CO₂ equivalente al año así como la superficie promedio de deforestación obtenidas a partir de los datos anualizados presentados para los siguientes periodos: 2000 - 2005; 2005 - 2011; 2011 – 2013 y 2013 – 2015 (barras azules). También, la línea continua de color negro representa el promedio de la deforestación para cada uno de los períodos mencionados.

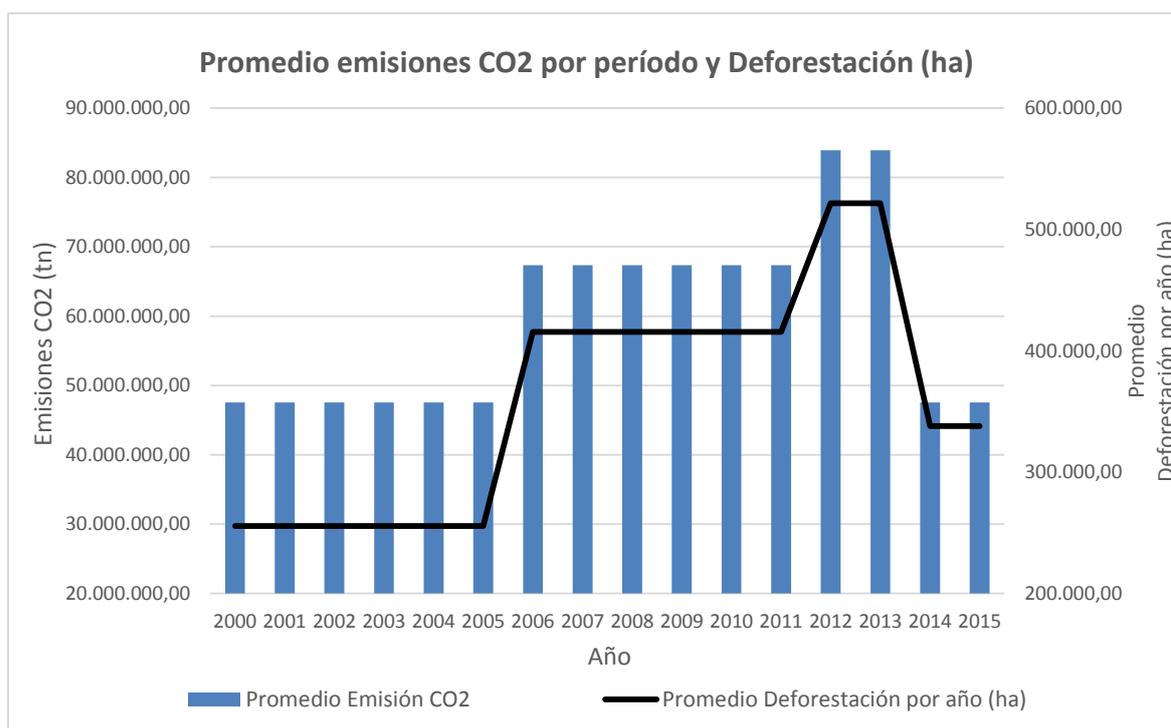


Fig. 5. Promedio de emisiones de CO₂ equivalente en toneladas/año y superficie de deforestación promedio en hectáreas/año.

Considerando, que el periodo 2000 - 2005 se caracteriza por altos niveles de deforestación en el Bosque Húmedo de la Región Oriental, mientras que a partir del periodo 2005-2011 se caracteriza por un incremento en la deforestación del Bosque Seco Chaqueño.

En cuanto a la cifra del período 2011 – 2013, la misma es más elevada 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 la tendencia de aumento de emisiones de CO₂ provenientes de la deforestación a nivel país, por lo que se esperaría que esta tendencia continúe en un futuro cercano de persistir las circunstancias nacionales actuales y sin la implementación de una estrategia adicional dirigida a la reducción de las emisiones debidas a la deforestación.

4. Consideraciones finales

Respecto a las futuras mejoras a ser incorporadas a este documento, las mismas son en relación a la disminución de la incertidumbre en cuanto a *Factores de emisión*, con la inclusión de informaciones adicionales procedentes de un mayor número de parcelas (en los estratos de Bosque Seco Chaqueño, Bosque Sub húmedo del Cerrado y Bosque Húmedo de la Región Oriental), además de resultados de contenido de Carbono en otros depósitos o reservorios.

5. Referencias bibliográficas

Ardila López, J.; Espejo, O.; Herrera, J.; 2005. Validación de una metodología de clasificación de imágenes satelitales en un entorno orientado a objetos. *Revista Investigación Ciencia, Academia y Desarrollo*. Vol. 10. Núm. 1. 61 - 69 p.

Borsy, P.; Ortiz, R; Balsevich, J.; Rios, M.; Kaltschmitt, M. (2013). Producción y consumo de biomasa sólida en Paraguay. VMME/GIZ. Asunción, Paraguay. 50p.

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.

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.

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. Consultado en 12 Enero 2014. Disponible en: <http://vaca.agro.uncor.edu/~estad/EstadisticaPCA.pdf>.

Food and Agriculture Organizations (FAO)/INFONA. 2013. Mapa de plantaciones forestales. Proyecto TCP/Par/3304. Esc. 1: 5.500.000.

Food and Agriculture Organizations (FAO). 2015a. 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. Technical considerations for Forest Reference Emission Levels and/or Forest Reference Level construction for REDD+ under the UNFCCC. UN-REDD+ Program. FAO/UNDP/UNEP 41 p.

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.

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

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

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 Nacional Conjunto (PNC ONU-REDD+ Paraguay). 2011. Documento del Programa Nacional Conjunto.

Programa Nacional Conjunto (ONU-REDD+ Paraguay). 2014a. Especificaciones Técnicas y Metodológicas para la elaboración de Mapas de Uso de la Tierra y Cambio de Uso de la Tierra. Instituto Forestal Nacional. 63 p.

Programa Nacional Conjunto (ONU-REDD+ Paraguay). 2014b. 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 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.

Román, F.; y Ramírez, H. 2010. Dendrometría. División de ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Chapingo. México.

Rugnitz, M. T.; Chacón, M. L.; Porro R. 2009. Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales 1. ed. Lima, Perú.: Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF) / Consorcio Iniciativa Amazónica (IA). 79 p.

Sato, T.; Saito, M.; Ramírez, D.; Pérez, L.; Toryama, J.; Kiyono, Y.; Herebia, E.; Dubie, N.; Vera, M.; Duré, E.; Ramírez, J. 2013. 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. 2014. Allometric equations for bottle-shaped tree (Ceiba chodatii) in the Chaco region, western Paraguay. FFPRI/UNA/INFONA, Asunción, PY.

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

Vidal, V. 2013. Análisis de la Información Existente del Estado Actual de los Bosques y las Principales Causas y Agentes de Deforestación. PNUD. Informe. Proyecto ONU-REFDD+.

6. Anexos

I- Metodología de Elaboración de mapa Cobertura Forestal 2011, cobertura Palmer 2011 y Mapas de cambios de uso de la tierra.

1. Mapa de cobertura de Bosque año 2011

El Mapa de cobertura de Bosque nativo del año 2011 fue el primer mapa elaborado en marco del Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques (SNMB), mediante el apoyo del Programa de las Naciones Unidas (colaboración entre la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente – PNUMA) para la Reducción de las Emisiones de la Deforestación y la Degradación de los bosques – REDD+ (Programa Nacional Conjunto ONU REDD+).

Seguidamente, se describe la metodología empleada (Programa Nacional Conjunto ONU-REDD+ Paraguay, 2014a).

Fase Previa:

- *Selección de imágenes:* fueron seleccionadas las últimas imágenes disponibles del año 2011, libres de nubes o eventualmente con un porcentaje bajo de éstas. Igualmente se tomó en cuenta que los valores espectrales no se encuentren alterados por la presencia de humo, bruma y/o “ruidos”. Ver Tabla 1.
- *Composición multi-banda de las imágenes:* consistió en componer las imágenes satelitales con las bandas espectrales seleccionadas (Landsat TM3, Landsat TM4 y Landsat TM5, de las 25 escenas utilizadas en total). No se aplicó ningún tipo de filtro ni realce espectral, fueron utilizados los datos en bruto.
- *Corrección geométrica de las imágenes:* para todas las imágenes, la proyección cartográfica utilizada fue UTM (Universal Transversal Mercator) en la zona 21 Sur, Datum WGS84 (World Geodetic System 1984), Elipsoide WGS84.

Tabla 1. Imágenes satelitales Landsat utilizadas para la elaboración del Mapa de cobertura de bosque nativo año 2011, con su órbita y fecha de toma correspondiente. Fuente: Programa ONU REDD+ (2014a).

Lista de imágenes satelitales Landsat 5 TM utilizadas			
Órbita	Fecha de toma	Órbita	Fecha de toma
224/077	02/11/2011	227/075	16/06/2011
224/078	02/11/2011	227/076	16/06/2011
224/079	02/11/2011	227/077	16/06/2011
225/076	22/09/2011	228/073	09/07/2011
225/077	22/09/2011	228/074	09/07/2011
225/078	22/09/2011	228/075	09/07/2011
225/079	22/09/2011	228/076	09/07/2011
226/075	08/05/2011	228/077	11/09/2011
226/076	31/10/2011	229/073	02/09/2011
226/077	06/04/2011	229/074	02/09/2011
226/078	06/04/2011	229/075	02/09/2011
226/079	06/04/2011	229/076	02/09/2011
227/074	16/06/2011		

Fase de clasificación y depuración de datos: en esta etapa se procedió a realizar la clasificación y la depuración de los resultados obtenidos. Esta fase, fue la de mayor importancia porque discrimina la cobertura de interés (Bosque) del resto de las coberturas y/o usos (No Bosque). Para todo este proceso se empleó el software Erdas Imagine:

- *Clasificación Digital Supervisada:* la clasificación se realizó seleccionando muestras representativas o áreas de entrenamiento (grupo de píxeles) sin verificación de campo, de las distintas coberturas identificadas. Estas áreas son las que el ordenador toma como base para diferenciar las categorías mediante el cálculo estadístico de las muestras que se obtuvieron (media, desviación típica, matriz de varianza y covarianza) de los niveles digitales de los píxeles en las bandas seleccionadas. La cantidad de muestras tomadas para cada una de las imágenes varió de acuerdo a la complejidad de cada zona.
En general, se seleccionaron 10 a 15 muestras para la categoría de Bosque y entre 10 a 20 para la categoría de No bosque, para cada escena o sub escena. La agrupación de los píxeles de la imagen a una de las categorías creadas fue mediante un algoritmo llamado máxima probabilidad, en donde la asignación de un píxel a una categoría está determinada por la mayor probabilidad de pertenencia a ella, con base en parámetros estadísticos de las muestras recogidas. En la mayoría de los casos, la clasificación supervisada fue realizada tomando la imagen entera; sin embargo para algunas imágenes debido a las distintas particularidades encontradas, se aplicó la clasificación por secciones o sub-imágenes de la misma, obteniendo de esta manera mejores resultados;
- *Agrupación de las categorías a las clases:* consistió en agrupar para cada imagen las distintas categorías clasificadas digitalmente en el proceso anterior, a la clase que le corresponde, para este caso de estudio se empleó Clase 0 (sin información), Clase 1 (Bosque – Bosque alto, Bosque degradado, Bosque en galería, Plantaciones Forestales), y Clase 2 (No bosque – Pasturas, Agricultura, Campo naturales, Campos bajos inundables, Palmares, Cuerpos de agua, Asentamientos campesinos, otras tierras arboladas, entre otros);
- *Depuración o generalización de resultados:* la depuración de la clasificación consistió en el proceso denominado “vecino más cercano” aplicado a la imagen. Este proceso consiste en asignar un píxel a otra clase o cobertura si los píxeles circundantes (tomando como decisión 9 píxeles) pertenecen a esa clase, el objetivo es homogenizar los resultados del mapa final. Posteriormente, se procedió a la eliminación de todos los píxeles agrupados, cuya superficie total sea menor a dos hectáreas (aproximadamente 23 píxeles agrupados).

Fase final: se presentaron los resultados depurados y vectorizados, para poder realizar ajustes y obtener el mapa final. Esta fase constó de dos pasos, los cuales se describen a continuación:

- *Vectorización de la clasificación:* se procedió a convertir las imágenes clasificadas (conteniendo las coberturas mencionadas) al formato vectorial, en este caso al formato shapefile (polígono no simplificado). Posteriormente, se realizó un corte de la clasificación (polígono), teniendo en cuenta el límite de cada una de las regiones del Paraguay (DGEEC, 2012; adaptado por la SEAM);
- *Comprobación visual:* consistió en la comparación de los resultados obtenidos con la misma imagen satelital utilizada como fuente, para que de esta manera puedan realizarse los ajustes correspondientes con respecto a lo observado en dicha “imagen original sin clasificar”. Además, se contó con el apoyo de otras imágenes satelitales como LANDSAT 8 y ALOS AVNIR. Se realizó a escala de captura 1:100.000, donde se corrigieron los errores observados. Para facilitar la validación se generaron mapas de alerta de errores, en el cual se resaltaba en distintos colores las zonas de probables errores. Esto fue realizado mediante una nueva clasificación.

Evaluación de la precisión: confiabilidad temática del Mapa de cobertura de bosque nativo 2011

La evaluación de la confiabilidad temática de este Mapa, consistió en comparar la información del mapa con información de referencia considerada muy confiable. La evaluación se basó en un muestreo de sitios de verificación, cuya clasificación se obtuvo a partir de observaciones y del análisis de imágenes que fueron utilizadas para la clasificación (Programa Nacional Conjunto ONU-REDD+ Paraguay, 2014a).

La confrontación entre las clases cartografiadas y las clases determinadas (en las imágenes) se basó en el supuesto de que la información de referencia es altamente confiable y representa la verdad; por lo que esta confrontación permitió evaluar la confiabilidad del mapa y conocer las confusiones que presenta.

El proceso de evaluación de la confiabilidad temática (cuantificación) se dividió en tres etapas:

- *El diseño del muestreo*; que consistió en la selección de las unidades de muestreo. Para lo cual se generó una malla sistemática de puntos cada 1000 m.
- *La evaluación del sitio de verificación*; que permitió obtener la clase correspondiente a cada unidad de muestreo, mediante asociación del sitio de verificación a una sola categoría de leyenda del mapa.
- *El análisis de los datos*; que consistió en la elaboración de una matriz de confusión y el cálculo de índices de confiabilidad mediante error de comisión y error de omisión.

Al respecto, la precisión total de este Mapa de cobertura de bosque del año 2011, es de 95,2% y el índice de Kappa es de 0,83.

2. Mapa de cobertura de Palmar

Esta formación identificada como Bosque de Palmar (BP), fue incluida como uno de los estratos de bosque nativo teniendo en cuenta el contenido de biomasa que contiene y la superficie que abarca en el territorio nacional. Estos palmares se presentan en rodales casi puros, habitualmente encontrándose sujeto a inundaciones y también a incendios, que consiste en un método de limpieza y renovación de pasturas.

El Mapa de cobertura del Palmar (Programa Nacional Conjunto ONU-REDD+ Paraguay, 2014b), también es una de las coberturas base para la generación del Mapa de cambios. Este Mapa también corresponde al año 2011, con el objetivo de lograr la concordancia con el Mapa de *Cobertura de Bosque* y el de *Plantaciones Forestales*, de ese mismo año. Considerando, las características del Bosque Palmar el cual presenta una gran variación en cuanto a su densidad, se obró de manera específica sobre este estrato de bosque.

Seguidamente, el detalle del proceso en cada una de las fases:

Fase previa: primeramente se realizó una revisión de literatura acerca del comportamiento de los palmares, y de imágenes de distintas épocas para identificar aquellas que podían brindar una mayor discriminación de este tipo de formación. Posteriormente:

- *Selección de Imágenes:* las imágenes satelitales utilizadas fueron del sensor LANDSAT 5 TM (año 2011). Se seleccionaron imágenes que presentaban una buena discriminación de la cobertura de palmar y aquellas menos afectadas por la presencia de nubes. Se identificó que el período de marzo a agosto, es en el que se podía discriminar de una mejor manera el palmar con respecto a las otras coberturas. También, se observó que la mayoría de las imágenes de junio a agosto presentaban grandes áreas de incendios, este hecho afecta la discriminación del palmar y por lo tanto las mismas se descartaron. Además, se utilizaron para apoyo al proceso de depuración, imágenes LANDSAT 8 correspondientes al año 2014.
- *Composición de imágenes:* consistió en unir las bandas seleccionadas (TM3, TM4 y TM5 del sensor LANDSAT 5) para formar un solo archivo multi-banda. Además se procedió a reproyectar las imágenes que no correspondían, a la zona UTM 21 sur.
- *Separación de Cubierto de Bosque de las otras Coberturas:* para la clasificación de la cobertura del palmar, el primer paso realizado fue sustraer la cobertura clasificada como *Bosque nativo* del Mapa del año 2011 (PNC ONU-REDD+ Paraguay, 2014a) de la imagen seleccionada; el propósito fue de evitar confusiones sobre todo en la transición palmar - bosque y de esta manera generar una nueva imagen.

Fase de clasificación: la clasificación supervisada fue realizada sobre la nueva imagen resultante, siendo la agrupación de los píxeles a una de las categorías creadas mediante el algoritmo paralelepípedo. En este método, la asignación de un píxel a una categoría está determinada por el valor máximo y mínimo de las muestras, formándose para el efecto un paralelepípedo imaginario, en el cual todos los píxeles que se encuentran dentro de éste los clasifica a la cobertura dada, ignorando a los píxeles que se encuentran fuera del mismo.

La clasificación digital fue realizada por campos de entrenamiento, sin realizar verificación de campo. Se seleccionaron muestras representativas o áreas de entrenamiento de las distintas coberturas identificadas, estas áreas fueron las que el ordenador tomó como base para diferenciar las categorías mediante el cálculo estadístico de las muestras de los niveles digitales en las bandas seleccionadas. Estas muestras se tomaron con el apoyo de imágenes de alta resolución de Google Earth. Posterior a la clasificación, se procedió a agrupar las categorías en las siguientes clases: Palmar y no palmar.

- *Depuración de resultados:* la depuración de forma automática de la clasificación consistió en utilizar un filtro denominado "vecino más cercano", el cual fue aplicado a la imagen. Por este proceso, un píxel puede cambiar de clase si la mayoría de los píxeles adyacentes (tomando

como decisión 25 píxeles) pertenecen a la otra clase, con el fin de homogenizar los resultados. Para este Mapa de Palmar, se consideró una ventana mucho mayor que para el *Mapa de cobertura de Bosque del Paraguay 2011* (que fue de 3 x 3: 9 píxeles). El filtro aplicado fue de mayor intensidad, debido a que la cobertura en estudio no fue homogénea en comparación al bosque nativo, suavizándose así los resultados obtenidos.

Una vez que se ha realizado la depuración automática, el resultado (en formato raster) se convirtió a vector, para luego comparar éste con la imagen satelital utilizada en la clasificación, y de esta forma validar los resultados obtenidos. La depuración realizada fue a una escala gruesa. Todo este procedimiento se realizó utilizando el software Arcgis de ESRI.

Fase final: se realizó la estimación de la confiabilidad del mapa, con el fin de determinar la precisión del producto generado, si ésta no cumplía con los requisitos se retornaba a la etapa de depuración hasta lograr el objetivo propuesto.

Estimación de la confiabilidad temática: se estimó para la cobertura de palmar y otras coberturas. El diseño de muestro fue al azar mediante 100 puntos para cada clase (Palmar y No palmar), con el propósito de determinar la concordancia de lo observado con lo clasificado. Una vez generada la matriz de confusión se obtuvo la Precisión general, Precisión del usuario, Precisión del Productor y el Índice de Kappa. Se consideró válido el producto obtenido si el índice de kappa estimado fue superior a 0,81 (en la escala de Landis y Koch, 1977; lo considera casi perfecto). En caso contrario, se tendría que volver a clasificar y/o depurar.

Elaboración de informe final y mapas de Palmar y Resumen estadístico: una vez que el producto cumplió con el objetivo propuesto (índice de Kappa mayor a 0,81), se procedió a elaborar el Mapa de Palmar y cuantificar la superficie ocupada en el territorio nacional. Este Mapa de cobertura de Palmar se incluyó como un estrato adicional al *Mapa de Cobertura de Bosque – año 2011*.

3. Metodología del proceso de elaboración de los Mapas de cambio del uso de la tierra

También en marco del Programa ONU REDD+, fue elaborado el Mapa de cambios de uso de la tierra del Paraguay para el periodo 2000 – 2005 – 2011. Para ello primeramente, con el objetivo de definir una cobertura forestal estable (que no haya sufrido cambios en este período) y a partir de ella generar las demás coberturas (de No bosque estable y de cambios en cada período analizado), se procedió a la corrección de la cobertura Palmar (*Copernicia alba*) para incluirla a la cobertura de *Bosque nativo* y a la cobertura de *Plantaciones* de ese mismo año elaborado en marco del Proyecto TCP/PAR 3304 del año 2013 entre la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y el Instituto Forestal Nacional (INFONA).

Para la elaboración de este Mapa de cambios, se optó por emplear una metodología combinada de clasificación de las coberturas de la tierra (mediante muestras de entrenamiento y agrupación de píxeles basados en su respuesta espectral) empleando la plataforma Google Earth Engine y procesos de segmentación utilizando el software Monteverdi (clasificación basada en objetos, OBIA por sus siglas en inglés); lo que resulta en la aplicación de un procedimiento metodológico levemente diferente al anteriormente empleado para la generación del *Mapa de cobertura forestal del 2011*.

Google Earth Engine (sus siglas GEE) es una plataforma de escala planetaria “en la nube” para procesar 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. Provee un catálogo de datos para análisis, en el que científicos, investigadores o profesionales independientes involucrados en la materia pueden colaborativamente compartir información, algoritmos y pueden visualizar los resultados o productos mediante URLs (links de acceso a la web).

Algunas ventajas del empleo de GEE son la disponibilidad de un catálogo on line de imágenes satelitales de 40 años, lo que permite la generación inmediata de Mapas mediante clasificaciones de usos/cobertura de la tierra empleando un mosaico o colección de imágenes en lugar de realizar una clasificación individual (una sola imagen por vez), además permite el empleo de scripts automatizados posibilitando una serie de procedimientos en menor tiempo en comparación con lo realizado por otros softwares para el mismo propósito.

La decisión de implementar la utilización de esta plataforma, se fundamenta principalmente en la utilización efectiva del corto tiempo disponible y de los recursos humanos con los que se cuentan; lo que consecuentemente beneficiará a los objetivos del Programa.

A continuación, la elaboración del Mapa y todo el proceso previo en detalle:

3.1. Depuración (corrección) de la cobertura del estrato *Palmar* del año 2011

El objetivo fue eliminar sobrestimaciones que fueron detectadas mediante observaciones visuales y principalmente debido a la dificultad para replicar en los próximos años para futuros Mapas, la metodología original que fue utilizada anteriormente para su generación (basada fundamentalmente en el conocimiento de campo del analista).

Los pasos metodológicos para la generación de este Mapa, se resumen a continuación:

Clasificación utilizando la plataforma en la nube GEE (Google Earth Engine beta): se realizó la clasificación de acuerdo a dos categorías o clases para las correcciones de la cobertura de Palmar (*Copernicia alba*) previamente generada:

- *Palmar*: se consideró aquellas zonas de palmar denso que por sus características espectrales fueron identificadas como tales en las imágenes satelitales de Landsat 5.
- *No Palmar*: aquellas zonas de palmar que no cumplieran con la condición, es decir ejemplares de palmares dispersos con predominancia de pastos

Luego fueron seleccionadas las muestras de entrenamiento, para lo cual se identificaron las coberturas en el mosaico de la Región Oriental con el corte del palmar inicial. Se colectaron muestras puras y se procedió a clasificar en las dos clases mencionadas

Por otra parte, se comprobaron los resultados y se agregaron muestras en las zonas conflictivas. Finalmente, se clasificó cada fracción del mosaico mediante el algoritmo *CART (Classification and Regression Tree)*.

Una vez realizada la clasificación, se consideró el mosaico de aquellas imágenes Landsat 5 con el porcentaje más bajo en cobertura de nubes (10%). Las imágenes seleccionadas corresponden a un mosaico de 3 bandas (4, 5, 3), del 01 de junio al 30 de octubre del año 2011.

- **Descarga de mosaicos:** en primer lugar, se descargaron los mosaicos (3 bandas para 2011; RGB 5, 4, 3). Debido al tamaño máximo permisible para descarga de archivos, se procedió a descargar por segmentos (corte), teniendo en cuenta la grilla de dos grados por dos grados que fue diseñada para el efecto. Luego, se realizó la descarga de la nueva clasificación realizada en GEE (en formato raster .tif) que fue obtenida en el paso previo.

Segmentación del mosaico 2011: se utilizó el software de código libre (open source) Monteverdi2, al cual se importaron las imágenes a segmentar. Para el efecto, se empleó la herramienta *Segmentation*, realizándose previamente el ajuste de los parámetros y estableciéndose como unidad mínima de segmentación 1 hectárea (12 píxeles).

Cálculo de estadísticas zonales: se procedió a realizar el cálculo de “mayoría” por segmentos mediante el software Arc Gis, el cual consiste en reemplazar las celdas en un ráster agrupándolos según la mayoría de sus celdas vecinas contiguas.

Vectorización de resultados: se vectorizó cada uno de los archivos ráster a los cuales se les aplicó el cálculo de mayoría, y posteriormente se efectuó la unión de éstos con los archivos en formato vector resultantes de la segmentación.

Edición visual y unión regional: previamente se verificó que la clasificación realizada por el Google Earth Engine sea la que corresponde a la clase identificada visualmente. De no resultar así, se procedió a la modificación de la tabla de atributos de acuerdo a las clases mencionadas en el primer paso. Finalmente, se procedió a unir los resultados de la clasificación que fue editada para ambas regiones del Paraguay: la Oriental y la Occidental, con el fin de obtener un mapa de cobertura Palmar a nivel país.

3.2. Mapas de cambios de uso de la tierra, periodo: 2000 – 2005 – 2011 y 2011 – 2013 - 2015

Luego de realizarse la depuración de la cobertura de *Palmar de Karanda'y*, ésta se incluyó a la cobertura de *Bosque Nativo* y de *Plantaciones forestales*; lo que por ende generó un *Mapa de cobertura Forestal* del país actualizado. Esta *Cobertura forestal* fue utilizada como máscara para asignarla a la categoría correspondiente a Bosque estable de los Mapas de cambios de uso de la tierra.

El resultado presentado en este documento corresponde a la versión final de los Mapas de cambios, únicamente teniendo como pendiente la validación oficial del mismo.

A continuación, se resume el proceso metodológico para la elaboración de estos Mapas (PNC ONU REDD+, 2015b), el cual es básicamente idéntico al utilizado en la cobertura de *Palmar*:

Clasificación utilizando la plataforma en la nube en GEE (Google Earth Engine): se realizó la clasificación para las siguientes cuatro categorías o clases:

- Bosque Estable (Tierras forestales que siguen siendo tierras forestales).
- No Bosque estable (Otros usos de la tierra que siguen teniendo el mismo uso, por ejemplo tierras agrícolas que siguen siendo tierras agrícolas).
- Cambio en cada período de análisis (Tierras forestales que han cambiado a otro uso).

Tabla 2. Categorías definidas para cada período de análisis

Mapas de cambio de uso de la tierra	
Periodo de análisis: 2000-2005-2011	Periodo de análisis: 2011-2013-2015
1. Bosque estable	1. Bosque estable
2. No bosque estable	2. No bosque estable
3. Cambios 2000-2005	3. Cambios 2011-2013
4. Cambios 2005-2011	4. Cambios 2013-2015

Al respecto, *Classification and Regression Tree (CART)*, es uno de los algoritmos de clasificación de uso común para la caracterización de la ocupación del suelo y la cartografía. El algoritmo divide de forma recursiva píxeles de datos de entrenamiento en subconjuntos homogéneos hasta llegar a los nodos terminales con la máxima homogeneidad. La homogeneidad se mide en relación a las clases definidas por datos de entrenamiento (áreas de cobertura de la tierra conocida).

Como se observa, para este Mapa se clasificó una sola cobertura forestal con la nomenclatura de Bosque Estable. Ésta a su vez, incluye las Plantaciones Forestales y el estrato de Bosque Palmar; es decir, las mismas no se encuentran diferenciadas o caracterizadas como coberturas propias y consecuentemente no se contabilizan los cambios ocurridos en estas formaciones.

Se aplicaron las muestras de entrenamiento identificando las coberturas de la tierra en las escenas, y se procedió a clasificar en las tres últimas categorías mencionadas (la categoría de Bosque estable corresponde a la máscara ya generada previamente). Por otra parte, se analizaron los resultados y se agregaron muestras en zonas conflictivas. Finalmente, cada parte del mosaico se clasificó también mediante el algoritmo *CART*.

El algoritmo *CART*, es básicamente un clasificador que utiliza métodos de aprendizaje automático para la construcción de modelos de predicción a partir de los datos. Los modelos se obtienen mediante la distribución recursiva del espacio de datos y la instalación de un modelo de predicción simple dentro de cada distribución.

- **Descarga de las imágenes clasificadas y del mosaico multi - temporal:** una vez realizada la clasificación, se consideró el mosaico de aquellas imágenes Landsat 5 con un porcentaje de nubes inferior al 10%. Las imágenes seleccionadas corresponden a un mosaico de 9 bandas para los años 2000, 2005 y 2011 (3 bandas por año; RGB: 5, 4, 3), y para 2011, 2013 y 2015 el mismo proceso (ver

Tablas 3 y 4). Se efectuó la descarga de estos mosaicos, utilizando la misma grilla mencionada anteriormente (Figura 1), ya que cada fracción corresponde al tamaño máximo admisible. También se procedió a descargar la clasificación de GEE obtenida en el paso anterior (ambos en formato ráster .tif).

Figura 1. Grilla de 2 x 2 grados para descarga de imágenes de GEE. Fuente: PNC ONU REDD+ (2015b)

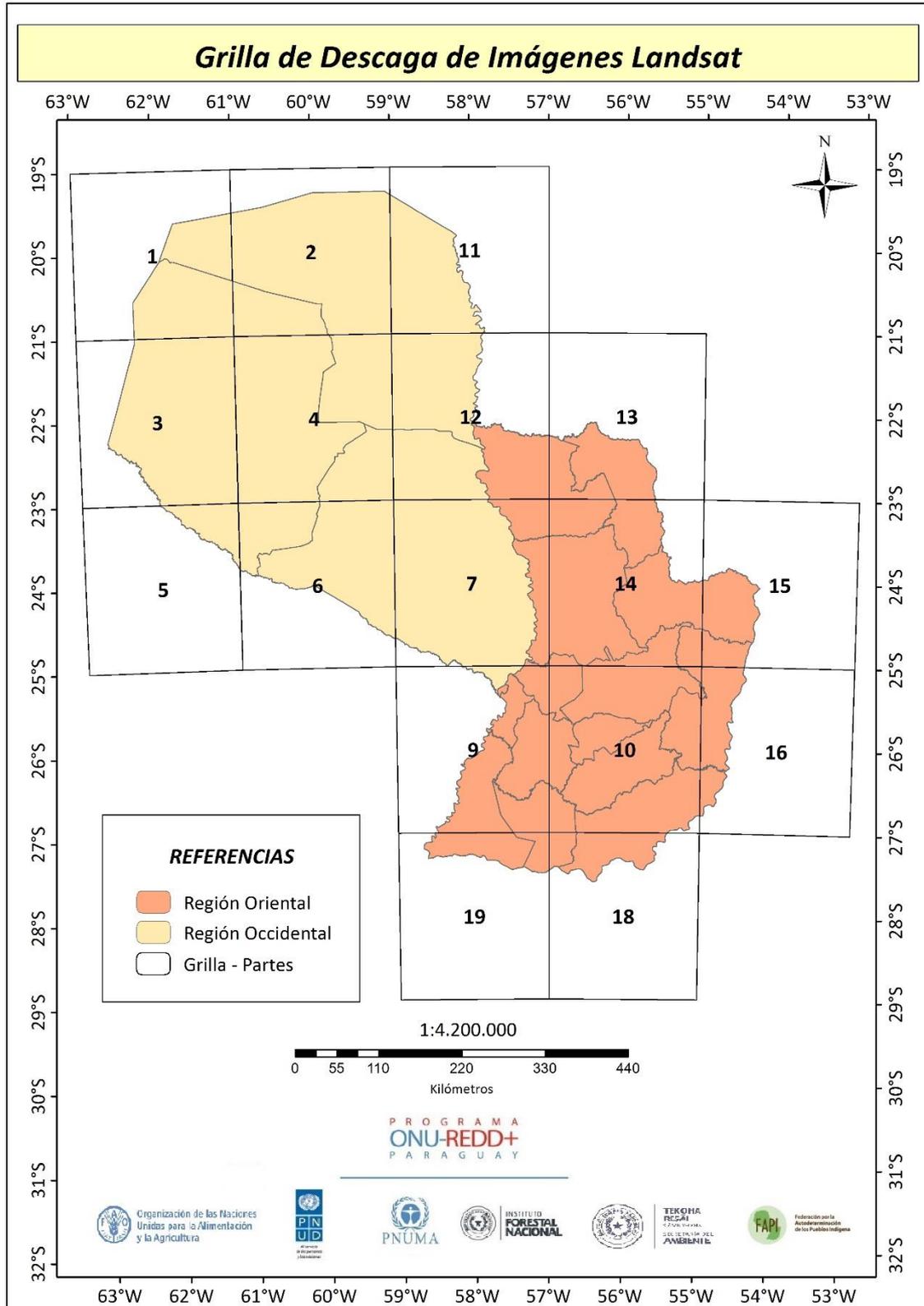


Tabla 3. Imágenes Landsat utilizadas periodo 2000-2005-2011. Fuente: PNC ONU REDD+ (2015b)

Región Occidental					
Satélite	Sensor	Colección en GEE	Año	Rango de Fechas	Bandas
Landsat 5	MMS/TM	USGS Landsat 5 Raw Scenes (Orthorectified)	2000	01/01 al 30/09	4,5,3
			2005	01/01 al 30/11	
			2011	01/05 al 30/11	
Región Oriental					
Landsat 5	MMS/TM	USGS Landsat 5 Raw Scenes (Orthorectified)	2000	01/05 al 30/10	4,5,3
			2005	01/04 al 30/10	
			2011		

Tabla 4. Imágenes Landsat utilizadas periodo 2011-2013-2015. Fuente: PNC ONU REDD+ (2015b)

Región Occidental					
Satélite	Sensor	Colección en GEE	Año	Rango de Fechas	Bandas
Landsat 5	MMS/TM	USGS Landsat 5 Raw Scenes (Orthorectified)	2011	01/05 al 30/11	4,5,3
			2013	01/06 al 30/11	
Landsat 8	OLI/TIRS	USGS Landsat 8 Raw Scenes (Orthorectified)	2015	01/05 al 30/11	5,6,4
Región Oriental					
Landsat 5	MMS/TM	USGS Landsat 5 Raw Scenes (Orthorectified)	2011	01/04 al 30/10	4,5,3
			2013	01/05 al 30/10	
Landsat 8	OLI/TIRS	USGS Landsat 8 Raw Scenes (Orthorectified)	2015	01/03 al 31/12	5,6,4

No se aplicaron correcciones geométricas adicionales ya que se utilizaron productos Landsat “L1T”, debido a que los mismos proporcionan una exactitud radiométrica, sistemática y geométrica mediante la incorporación de puntos de control en tierra, además del empleo de un modelo de elevación digital (DEM) para la exactitud topográfica.

Segmentación del mosaico: para este proceso también se empleó el software Monteverdi2 y la misma herramienta *Segmentation*, utilizando los mismos parámetros anteriores para la corrección de la cobertura de Palmar (también estableciéndose como unidad mínima de segmentación 1 hectárea o 12 píxeles).

En este proceso, se utiliza el archivo vectorial resultante de la segmentación realizada en Monteverdi, para definir las zonas para el cálculo de las estadísticas de los valores contenidos en el archivo raster generado de la clasificación supervisada (en GEE). El resultado es un archivo en formato raster.

Comparando el método de segmentación o enfoque OBIA (por sus siglas en inglés: object-based image analysis, análisis de imágenes orientado a objetos) con el método de la clasificación basada en píxeles o respuesta espectral, este último corresponde a la forma tradicional de extracción de información temática en imágenes satelitales y se emplea de forma generalizada en todo tipo de proyectos; el mismo consiste en un agrupamiento de píxeles mediante un proceso de asociación de datos estadísticos (clustering) en el que cada píxel es asignado a una categoría de acuerdo a su correspondiente nivel digital (Ardila López *et al.*, 2005).

La clasificación por segmentación u orientada a objetos - OBIA, al igual que la convencional, también se basa en la información de los valores espectrales de cada píxel, pero adiciona un análisis basado en la información de un conjunto de píxeles similares denominados objetos (llamados regularmente segmentos o polígonos). Esencialmente, el proceso consiste en dividir una imagen al agrupar píxeles similares entre sí, sobre la base de las propiedades espectrales (color), tamaño, forma y textura, así como la particularidad espacial que rodea a los píxeles.

Este nuevo proceso imita como el intérprete analiza una imagen y es considerado un avance respecto al enfoque tradicional basado en píxeles (MacLean y Congalton, 2012).

La segmentación automatizada de los polígonos de la cobertura de la tierra y la clasificación previa de los tipos de cobertura de la tierra tienen dos objetivos principales: crear un conjunto de datos coherentes en términos espaciales y temporales, y de esta forma reducir el esfuerzo que conlleva la revisión, verificación visual y digitalización manual de las categorías de la cobertura y uso de la tierra.

En una segmentación exitosa, todos los píxeles dentro de un segmento deberían tener el mismo tipo de cobertura de la tierra.

Cálculo de estadísticas zonales: fue empleado también el software Arc Gis para este propósito. Básicamente, este proceso es idéntico al descrito anteriormente.

- **Vectorización de resultados y edición visual:** la edición visual de los segmentos se realiza con el fin de corregir las secciones que hayan sido mal clasificadas, modificando la tabla de atributos.

Unión regional: por último, una vez obtenidos los archivos editados del ítem anterior, se procedió a unir los resultados de la clasificación de ambas regiones del Paraguay: la Oriental y Occidental. El objetivo es obtener un Mapa de cambios de uso de la tierra del período mencionado a nivel país.

II- Metodología para determinar la incertidumbre y exactitud de los Mapas de cambio.

Incertidumbre asociada a los Mapas de cambios en la cobertura de la tierra

El cálculo para la determinación de la confiabilidad del Mapa de cambios de uso de la tierra del período 2000 – 2005 – 2011) arrojó un valor de 88,24% de exactitud global (bosque – no bosque) y un índice de Kappa de 0,77 (para más detalles, ver documento Anexo del Informe de evaluación de exactitud temática). Este proceso de validación oficial, tanto de este Mapa como del Mapa de cambios del período 2011 – 2013 – 2015 (este cálculo aún está en proceso), realiza una institución no partícipe del proceso de generación, que es la Secretaría del Ambiente (SEAM). Esta decisión se debe al propósito de asegurar la objetividad en la determinación de la confiabilidad del producto.

Es importante mencionar que actualmente, la misma institución está realizando un nuevo cálculo para determinar la exactitud de ambos mapas considerando la estratificación de bosque nativo. Es decir, se especificará la incertidumbre asociada a la identificación de las categorías de cobertura que corresponden a cada uno de los tipos de formación boscosa del país: Bosque Húmedo de la región Oriental (BHRO), Bosque Seco Chaqueño (BSCH), Bosque sub húmedo del Cerrado (BSHC) y Bosque sub húmedo Inundable del río Paraguay (BSHIRP). Estos resultados se incorporarán en futuras actualizaciones.

A continuación, la descripción en detalle de la metodología empleada para la determinación de la incertidumbre asociada al Mapa de cambios:

De acuerdo a Olofsson *et al.* (2014), para la validación de Mapas creados utilizando el enfoque OBIA (o denominada comúnmente, como segmentación), las unidades de muestras deben ser las mismas que los segmentos (polígonos), de esta forma las unidades son directamente comparables a los segmentos de los Mapas. También para reportar la exactitud temática de un Mapa, se debe incluir la matriz de error que incorpora la unidad de área de referencia en cada celda.

Es necesario contar con datos de referencia tanto para el entrenamiento de la clasificación como para la validación del mapa, estos datos son usualmente colectados a través de fotointerpretación o visitas de campo. La exactitud de estos datos de referencia es importante, ya que influenciará en el éxito de la clasificación. Cuando se ejecuta la validación (evaluación de la exactitud), los datos de referencia se asumen correctos, entonces cualquier discrepancia entre el Mapa de cobertura de la tierra y los datos de validación son asumidos como errores en el Mapa.

En el contexto de los estudios de cambios en la cobertura de la tierra, encontramos dos objetivos claves en el análisis: 1. La evaluación de la exactitud de la clasificación de cambio en la cobertura y 2. Estimación del área de cambio. La matriz de error desempeña un rol central en el cumplimiento de la evaluación de la exactitud y los objetivos de estimación de áreas (Olofsson *et al.*, 2014).

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

El primer paso antes de realizar el cálculo de la incertidumbre, fue analizar visualmente el Mapa e identificar los errores obvios mediante la comparación de los resultados obtenidos de la clasificación con lo observado en las imágenes satelitales utilizadas para el efecto. Este procedimiento permite una depuración o edición final de los resultados.

Al respecto, la metodología para la evaluación de exactitud de los Mapas de cambios de uso de la tierra, se basa en un diseño de muestreo probabilístico aleatorio, para lo cual se determinó un número mínimo de 150 muestras por categoría, debido a la heterogeneidad que presentan los datos. Teniendo en cuenta este enfoque, se estableció finalmente una cantidad de muestras específica, para cada tipo de categoría de cobertura: 535 unidades para la categoría de Bosque estable, 511 para la de No bosque estable, y 150 para cada una de las categorías de: Cambio 2000 – 2005 y Cambio 2005 – 2011 (con el objetivo de evitar una sub representación de las mismas); totalizando 1346 muestras para todo el Mapa.

Considerando que la exactitud de los mapas elaborados utilizando el enfoque OBIA debe ser ponderada por la superficie de las unidades de referencia, se genera una segunda matriz de error que incorpora el área en cada celda (se reporta conjuntamente con la matriz de error tradicional). Esta nueva matriz de error OBIA 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).

Respecto a la matriz de error, tanto tradicional como de superficie de segmentos, la misma es de tabulación cruzada simple, y contiene 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, el tipo de clasificación errónea es identificada (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.

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.

En cuanto a la segunda matriz de superficie de segmentos, el procedimiento es idéntico, pero en lugar de especificar el número o cantidad de segmentos identificados se coloca la cifra resultante de la sumatoria de cada una de las superficies (en hectáreas) de los segmentos correspondientes a esa celda.

Seguidamente en la Tabla 5, se observa un modelo de la Matriz de superficie de segmentos. Cada una de las celdas presentes en esta matriz, debe contener la superficie total de todos los segmentos identificados para esa celda (ejemplo: categoría 1 asignada con la etiqueta de Dato de Referencia 1).

Tabla 5. Modelo de Matriz de superficie de segmentos.

Datos de Referencia					
Categoría	1	2	3	4	Total
1	S_{11}	S_{12}	S_{13}	S_{14}	Se
2	S_{21}	S_{22}	S_{23}	S_{24}	Sf
3	S_{31}	S_{32}	S_{33}	S_{34}	Sg
4	S_{41}	S_{42}	S_{43}	S_{44}	Sh
Total Superficie	Sa	Sb	Sc	Sd	Si

También a modo de ejemplo, para la Categoría 1 (primera celda de color gris, en el extremo superior izquierdo), se aplican las siguientes fórmulas para obtener los porcentajes de:

- Exactitud del productor: S_{11}/Sa
- Exactitud del usuario: S_{11}/Se

Este procedimiento se aplica para todas las celdas de la diagonal principal de la matriz (resaltadas en color gris), luego se realiza la sumatoria de todos los valores para cada tipo de exactitud (de forma horizontal como vertical).

Por último, se genera una tercera Matriz de ponderación de superficie:

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).

Considerando otro ejemplo, para hallar el valor para la primera celda de la categoría 1 (de color gris, en el extremo superior izquierdo), se aplica la fórmula:

- S_{11}/S_e (obtenidos de la matriz anterior) * relación entre la superficie de esa categoría 1 (extraído del Mapa) y la superficie total de las 4 categorías de cobertura (en porcentaje).

Esta fórmula se aplica para cada una de las celdas de la diagonal principal (resaltadas en gris).

Tabla 6. Modelo de Matriz de superficie ponderada.

Datos de Referencia					
Categoría	1	2	3	4	Total
1	S _{1a}	S _{1b}	S _{1c}	S _{1d}	S _e
2	S _{2a}	S _{2b}	S _{2c}	S _{2d}	S _f
3	S _{3a}	S _{3b}	S _{3c}	S _{3d}	S _g
4	S _{4a}	S _{4b}	S _{4c}	S _{4d}	S _h
Total Superficie	S _a	S _b	S _c	S _d	S _i

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.

También, se determina la superficie 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 fórmula aplicada es:

- Superficie ponderada (ha): $S_a * \text{Sumatoria de las 4 categorías de cobertura (valores del Mapa)}$

Finalmente, se calcula:

- Exactitud global del Mapa (%): $\sum S_{1a} + S_{2b} + S_{3c} + S_{4d} / S_i$

Además, se halla el error de estimación de superficie determinando un valor mínimo y máximo en hectáreas, asumiendo un 95% de intervalo de confianza.

III- Manual del Inventario Forestal Nacional (IFN) para la colecta de datos de campo

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 en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero - INGEI (sector Uso de Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura - USCUS), los factores de emisión para todas las actividades y categorías en REDD+ se representan en unidades 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 correspondió al Nivel 2 por la utilización de informaciones específicas del país a partir de datos colectados en campo, 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 Programa Nacional Conjunto ONU REDD+ (FAO, 2015a) 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 los estratos de Bosque Húmedo de la Región Oriental y Bosque Seco Chaqueño.

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 (Comunicaciones Nacionales); el anexo técnico para REDD+ del BUR y para el Nivel de Referencia de las Emisiones forestales (NREF) para REDD+ del Paraguay.

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, los Reportes o Informaciones Bienales Actualizados (BURs por su siglas en inglés o IBA en español) y los datos generados por el Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques (SNMB) 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

La metodología utilizada por el IFN para la colecta de información en el campo, 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, 2015a). En esta sección, se mencionan los puntos más resaltantes.

Primeramente, la cantidad de unidades muestrales (UM) determinadas por el IFN para los estratos: Bosque Húmedo de la Región Oriental, Bosque Seco del Chaco y Bosque Palmar, para la recolección de datos con el propósito de determinar el contenido de carbono en tierras forestales se puede observar en la Tabla 7. Cabe destacar que la información obtenida por el IFN, a excepción del Bosque Húmedo de la Región Oriental que ya concluyó, es preliminar para todos los demás estratos (la colecta, procesamiento y análisis de la información aún no finalizó).

Tabla 7. Cantidad de unidades muestrales establecidas por el IFN por tipo de bosque.

Tipo de bosque (estrato) del IFN	Unidades muestrales
Bosque Húmedo de la Región Oriental	45
Bosque Seco del Chaco	15*
Bosque sub húmedo del Cerrado	30
Bosque sub húmedo inundable del río Paraguay	4
Total de unidades muestrales	94

**Obs: Considerando tres parcelas por conglomerado, para el Bosque Seco del Chaco corresponden a 45 parcelas.*

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 (Figura 2). Luego, en la segunda fase dentro de cada estrato se seleccionó al azar las unidades de muestreo.

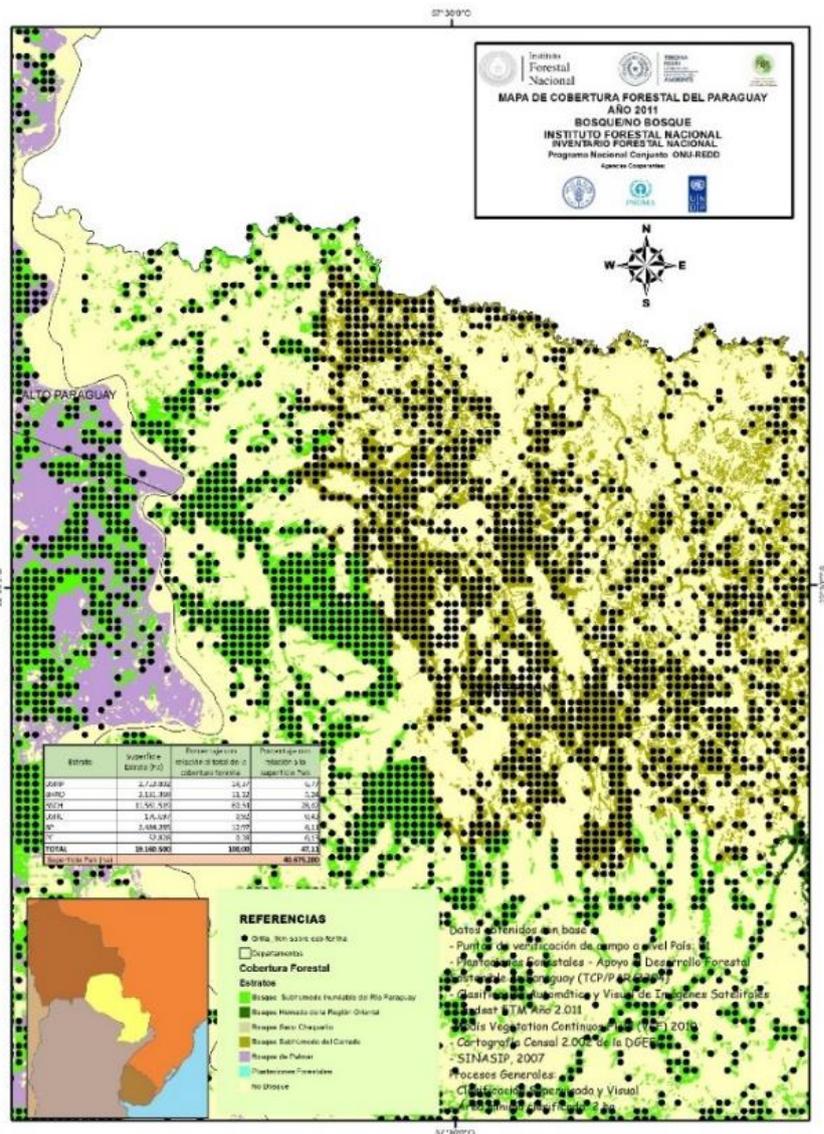


Figura 2. Mapa de distribución de las unidades de muestreo: grilla de 1 km x 1 km.
 Fuente: Manual de campo del IFN (FAO, 2015a).

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 y de 40 x 40 m para el estrato Palmar; 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 3, 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, 2015a).

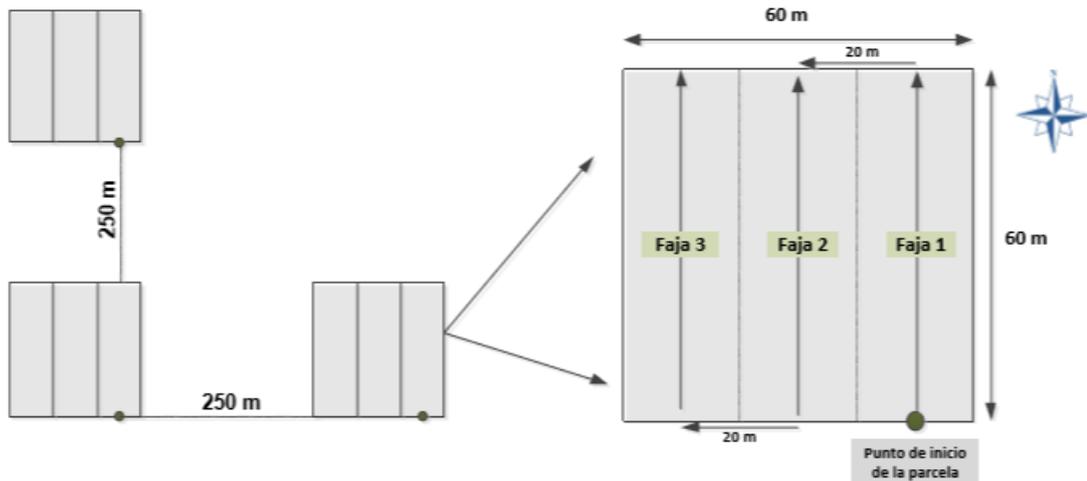


Figura 3. Conglomerado utilizado por el IFN para el Bosque Seco Chaqueño. Fuente: Manual de campo del IFN (FAO, 2015a).

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 4.

DISEÑO DE PARCELA

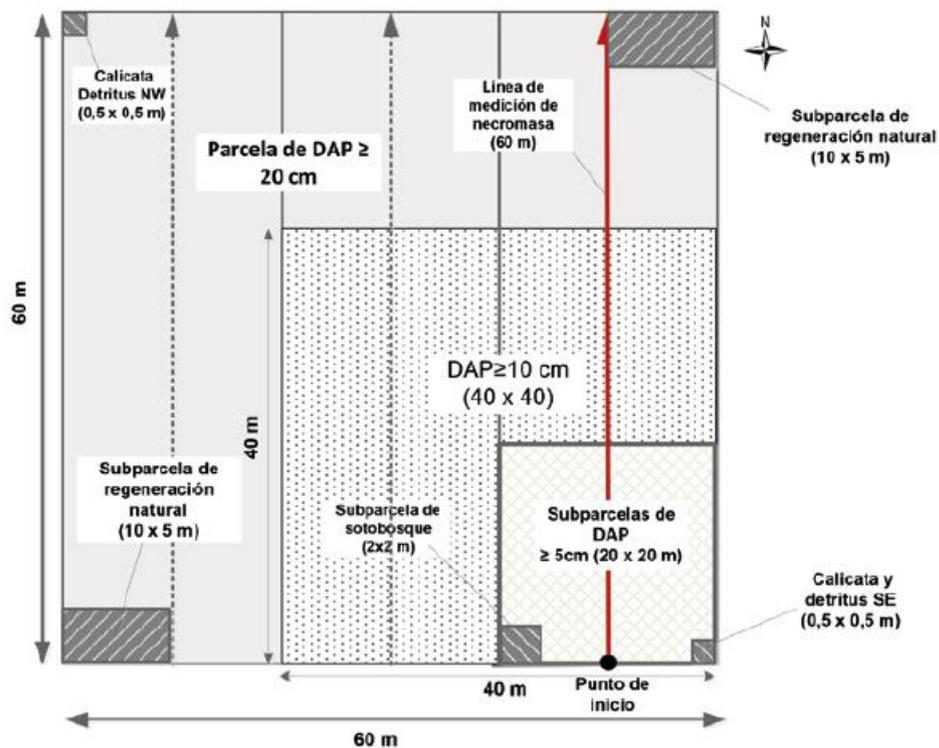


Figura 4. Estructura de la parcela de 60 x 60 m establecida por el IFN. Fuente: Manual de campo del IFN (FAO, 2015a).

En cuanto al estrato de Bosque Palmar, la unidad de muestreo fue de un conglomerado con tres parcelas, de dimensión 40 x 40 m cada una (Ver Figura 5 más abajo). Esta área fue considerada preliminarmente como suficiente para recoger la variabilidad con relación a la composición florística y estructura (FAO, 2015a).

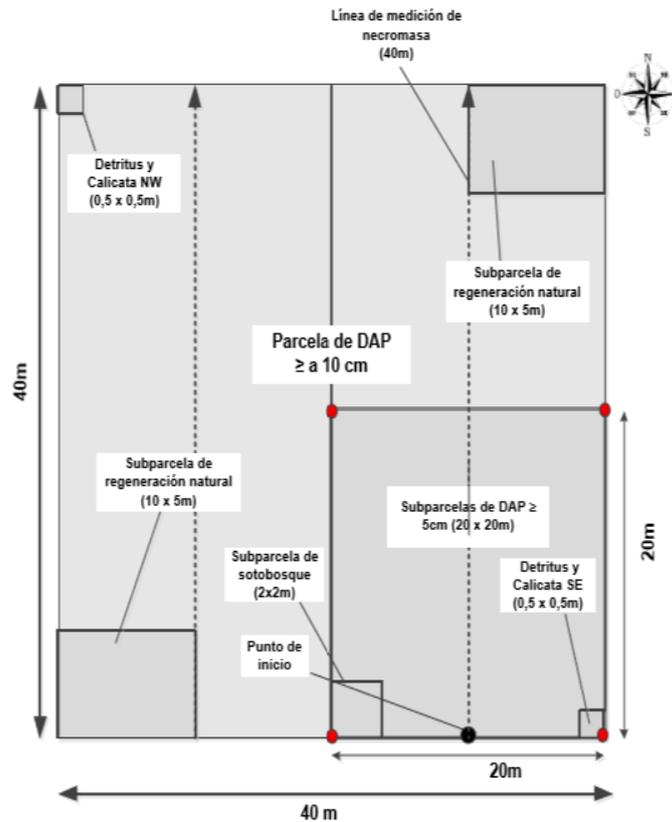


Figura 5. Estructura de la parcela 40 x 40 m establecida por el IFN. Fuente: Manual de campo del IFN (FAO, 2015a)

De acuerdo con el Manual de Campo (FAO, 2015a), 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 60m, 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.
- En la parcela de 60 x 60 m se midieron todos los árboles con un DAP ≥ 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.

IV- Procesamiento de datos del IFN

Procedimiento para el cálculo de volúmenes de madera

Método basado en volumen geométrico

Toda la sección 2.4 está basada en las informaciones proveídas por el equipo de profesionales del Inventario Forestal Nacional del INFONA, encargados del procesamiento estadístico de los datos colectados por las Brigadas de campo (Programa Nacional Conjunto ONU REDD+, 2015a).

Para la mayoría de las especies arbóreas, el cálculo de los volúmenes comerciales y totales derivó de la aplicación de la ecuación del volumen del cilindro (Lojan, 1966) y el uso de factores de forma disponibles para especies forestales del Paraguay. Sin embargo, para aquellas especies que no contaban con un factor de forma, se aplicó el promedio de los factores de forma de las especies disponibles. La fórmula para el cálculo del volumen comercial fue la siguiente:

$$V_c = G * H_c * F_f$$

En donde:

- G = área basal
- H_c = altura comercial
- F_f = factor forma
- $G = (\pi * DAP^2) / 4$
- DAP = Diámetro a la Altura del Pecho o a 1,3 m de la base del fuste.

Debido a que regularmente los factores de forma son calculados para el fuste comercial, el cálculo del volumen total (V_t) se obtuvo al sumar el volumen comercial con el volumen del fuste apical (sección del fuste de la copa), el cual se derivó de la ecuación para el volumen de un paraboloides apolónico (Román y Ramírez, 2010). El área de la base del fuste de la copa (G_a) se estimó al multiplicar el área basal por la altura del DAP por el factor de forma. La ecuación para el cálculo del volumen del fuste apical (V_a) o de la copa fue la siguiente:

$$V_a = (G_a * (H_t - H_c)) / 2$$

En donde:

- G_a = área basal del fuste apical
- H_t = altura total
- H_c = altura comercial

Una vez que se contó con el volumen comercial y apical o de copa, el cálculo del volumen total (V_t) se obtuvo por la sumatoria de estos dos volúmenes, según la ecuación cuanto sigue:

$$V_t = V_c + V_a$$

Aplicación de ecuaciones alométricas (EA) de volumen

Se utilizaron modelos alométricos que describieron mejor las medidas de ajuste y similitudes con base en comparaciones de resultados del método geométrico. Ésta fue seleccionada según la disponibilidad de resultados de estudios científicos nacionales y regionales, sobre la generación de ecuaciones alométricas de volumen comercial y total del fuste.

La ecuación aplicada para el cálculo de volumen, que fue desarrollada localmente para la especie característica del Bosque Seco Chaqueño: Samu'u o *Ceiba chodatii*, se presenta en la tabla 8.

Tabla 8. Ecuación alométrica aplicada para la determinación del volumen para el Bosque Seco Chaqueño

Bosque/Especie	Ecuación	R ²	Unidad
Ceiba chodatii	V fuste total=0,000117*(DAP ² Ht) ^{0,8387} Sato et al. (2014)	0,98	V fuste total (m ³) DAP (cm) Ht (m)

Para la estimación de la biomasa viva total (incluyendo biomasa bajo el suelo) fueron utilizadas ecuaciones alométricas generadas localmente (Sato *et al.*, 2013 y 2014), además de ecuaciones generadas para los trópicos (Chave *et al.*, 2005), contenidas en la plataforma Globalometree. El detalle se observa en la siguiente Tabla.

Tabla 9. Ecuaciones alométricas aplicadas para la determinación de la biomasa en bosque nativo

Estrato de Bosque	Ecuación	R ²	Unidad	Lugar
BHRO	B aérea =0,0405*(DAP ² Ht) ^{0,9668} Sato et al (2013)	0,97	B aérea (kg) DAP (cm) Ht (m)	Paraguay
BHRO	B total =0,0505*(DAP ² Ht) ^{0,9564} Sato et al (2013)	0,97	B total (kg) DAP (cm) Ht (m)	Paraguay
BSCH	B aérea =0,2147*(DAP ² Ht) ^{0,8391} Sato et al. (2013)	0,96	B aérea (kg) DAP (cm) Ht (m)	Paraguay
BSCH	B total =0,2733*(DAP ² Ht) ^{0,8379} Sato et al. (2013)	0,96	B total (kg) DAP (cm) Ht (m)	Paraguay
BSHIRP	B aérea =0,0339*(DAP ² Ht) ^{1,0401} Sato et al (2013)	0,96	B aérea (kg) DAP (cm) Ht (m)	Paraguay
BSHIRP	B total =0,0690*(DAP ² Ht) ^{0,9932} Sato et al (2013)	0,96	B total (kg) DAP (cm) Ht (m)	Paraguay
BSHC	B aérea =0,0509*(p DAP ² Ht) Chave et al (2005)	0,99	B aérea (kg) p (g/cm ³) DAP (cm) Ht (m)	Trópicos

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 (R²), el coeficiente de determinación ajustado (R² ajustado), el Error Cuadrático Medio de Predicción (ECMP), el Criterio de Información Akaike (AIC, por sus siglas en inglés) 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 como las de Chave *et al.* (2005) y Pearson *et al.* (2005).

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.