



**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

2016

Siglas y Acrónimos

AGB*	Aboveground Biomass
BGB*	Belowground Biomass
BHRO	Bosque Húmedo de la Región Oriental.
BP	Bosque Palmar.
BSCH	Bosque Seco Chaqueño.
BSHC	Bosque Sub húmedo del Cerrado.
BSHIRP	Bosque Sub húmedo Inundable del río Paraguay
BUR*	Biennial Update Report
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.
CP	Conferencia de las Partes
DA	Dato de actividad
EA	Ecuaciones alométricas
FAPI	Federación por la Autodeterminación de los Pueblos Indígenas.
FE	Factor de emisión
FFPRI	Instituto de Investigación Forestal y de Productos Forestales del Japón.
FRA*	Global Forest Resources Assessment
GEE*	Google Earth Engine.
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GHG*	Greenhouse gases
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.
LULUCF*	Land Use, Land Use Change and Forestry
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería.
NASA*	Agencia Aeroespacial Estadounidense.

NREF	Nivel de Referencia de las emisiones forestales
OBIA*	Clasificación Basada en Objetos.
PNC ONU-REDD+	Programa Nacional Conjunto ONU-REDD+.
REDD+	Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de los Bosques, conservación, manejo sustentable de bosques y mejora de los stocks de carbono.
SEAM	Secretaría del Ambiente.
SNIF	Sistema Nacional de Información Forestal.
SSMT	Sistema Satelital de Monitoreo Terrestre
UM	Unidad de muestreo
UMM	Unidad minima de mapeo
UNFCCC*	United Nations Framework Convention on Climate Change
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	1
2. Información utilizada en la construcción del Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (NREF)	2
2.1. Área del NREF	2
2.2. Actividades incluidas	3
2.3. Definición de bosque nativo	3
2.4. Estratificación de bosque nativo	4
2.5. Datos de actividad.....	6
2.6. Factores de emisión.....	13
2.6.1. Depósitos incluidos	14
2.6.2. Compilación de datos de campo	14
2.6.3. Estimación de biomasa total por estrato de bosque.	17
2.6.4. Estimación del contenido de carbono y CO ₂ equivalente.....	18
2.6.5. Estimación de la incertidumbre de Factores de emisión.....	20
2.6.6. Gases incluidos	20
2.7. Información transparente, completa, consistente y precisa	21
2.8. Vinculación del NREF e INGEI – sector USCUS	22
2.9 Circunstancias Nacionales	25
2.9.1. Análisis cualitativo de las causas de la deforestación y posibles futuras tendencias.....	25
2.9.2. Consideración de las circunstancias nacionales	26
3. Construcción del Nivel de Referencia de las Emisiones Forestales.....	28
4. Consideraciones finales: limitaciones y futuras mejoras a implementar	31
5. Referencias bibliográficas	35
6. ANEXOS	40
I- Metodología de Elaboración de mapa Cobertura Forestal 2011, cobertura Palmar 2011 y Mapas de cambios de uso de la tierra.....	40
II- Metodología para determinar la incertidumbre y exactitud de los Mapas de cambio.	55
III- Manual del Inventario Forestal Nacional (IFN) para la colecta de datos de campo	60
IV- Procesamiento de datos del IFN	66
V- Información preliminar del IFN respecto al depósito “Suelo”, y otros.....	73
VI- Información de referencia procedente de otras fuentes de datos, para Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay y Bosque Palmar	76

Índice de tablas

Tabla 1. Valores de superficie de deforestación total en hectáreas, por estrato de bosque nativo.	12
Tabla 2. Superficies anualizadas de deforestación (ha) por estrato de bosque nativo, para el período de análisis.	13
tabla 3. Cantidad de unidades muestrales establecidas por el ifn por tipo de bosque.	15
Tabla 4. Valores de biomasa sobre el suelo, debajo del suelo y de sotobosque (tn/ha), por estrato de bosque	18
Tabla 5. Valor promedio ponderado para biomasa del Bosque Inundable del Río Paraguay.	18
Tabla 6. Estimación del contenido de carbono y CO ₂ equivalente (tn/ha) para todos los estratos de bosque. Fuente: datos del Programa Nacional Conjunto ONU REDD+ (2015b).	19
Tabla 7. Valor promedio ponderado para contenido de carbono, para el bosque Inundable del Río Paraguay.	19
Tabla 8. Incertidumbre en porcentaje, por depósito de biomasa viva y por estrato. Fuente: datos del Programa Nacional Conjunto ONU REDD+ (2015b).	20
Tabla 9. Incertidumbre en porcentaje, para los resultados del proceso de ponderación por peso.	20
Tabla 10. Emisiones anualizadas de CO ₂ –eq (en toneladas) para cada estrato de bosque nativo, por deforestación bruta.	29
Tabla 11. Imágenes satelitales landsat utilizadas para la elaboración del mapa de cobertura de bosque nativo año 2011, con su órbita y fecha de toma correspondiente.	40
Tabla 12. Características de Landsat 5 tm	45
Tabla 13. Características de las imágenes Landsat 8 OLI.	46
Tabla 14. Categorías definidas para cada período de análisis	49
Tabla 15. Imágenes Landsat utilizadas periodo 2000 – 2005 - 2011.	52
Tabla 16. Imágenes Landsat utilizadas periodo 2011 – 2013 - 2015.	52
Tabla 17. Cantidad de muestras por clase y estrato de bosque nativo	57
Tabla 18. Modelo de matriz de superficie de segmentos.	58
Tabla 19. Modelo de matriz de superficie ponderada.	58
Tabla 20. Cantidad de unidades muestrales establecidas por el IFN por tipo de bosque.	62
Tabla 21. Ecuaciones alométricas aplicadas para la determinación de la biomasa para cada estrato de bosque nativo	67
Tabla 22. Densidades y factores de expansión aplicados para el cálculo de biomasa en las especies arbóreas asociadas a <i>Copernicia Alba</i> en el Bosque de Palmar.	70
Tabla 23. Resultados de contenido de carbono en suelo, para todos los estratos de bosque.	73
Tabla 24. Resultados preliminares de necromasa y carbono para árboles muertos en pie, madera muerta caída, tocones y detritus en toneladas/hectárea, para todos los estratos de bosque nativo.	75
Tabla 25. Resultados de estimaciones de contenido de carbono para los estratos mencionados en la primera fila, procedentes de las fuentes de información citadas en la columna de la izquierda	79

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa de cobertura forestal del Paraguay por estratos, y detalle de la ubicación del país.	2
Figura 2. Mapa de cambio de la cobertura forestal correspondiente a los periodos 2000 – 2005 y 2005 – 2011.	8
Figura 3. Mapa de cambio de la cobertura forestal correspondiente a los periodos 2011 – 2013 y 2013 – 2015.	9
Figura 4. Mapa de ubicación de las unidades de muestreo con levantamiento de información en los estratos de bosque, por el Inventario Forestal Nacional (IFN).	16
Figura 5. Contribución en porcentaje de los sectores mencionados en las emisiones de CO ₂ al INGEI (2011), y contribución en las emisiones de CO ₂ de los depósitos de biomasa viva y suelo reportados por el mismo INGEI. Fuente: Primer Informe Bianual de Actualización (2015).	24
Figura 6. Superficie de conversión de uso promedio (ha/año) por región del país, y para cada período de tiempo analizado. Fuente: PNC ONU REDD+ (2015a).	27
Figura 7. Tendencia de las emisiones de CO ₂ -eq. En toneladas/año, por estrato de bosque.	30
Figura 8. Emisiones totales de CO ₂ al año, en el Paraguay.	31
Figura 9. Cobertura de Bosque Palmar del año 2011 en la Región Occidental (izquierda: original, derecha: posterior a la depuración).	48
Figura 10. Ejemplo de puntos de entrenamiento dentro de la máscara de no bosque y clasificación supervisada <i>CART</i> en <i>Google Earth Engine</i> para la Región Oriental.	50
Figura 11. Grilla de 2 x 2 grados para descarga de imágenes de GEE. Fuente: PNC ONU REDD+ (2015b)	51
Figura 12. Mapa de distribución de las unidades de muestreo: grilla de 1 km x 1 km.	63
Figura 13. Conglomerado utilizado por el ifn para el Bosque Seco Chaqueño.	64
Figura 14. Estructura de la parcela de 60 x 60 m establecida por el IFN.	64
Figura 15. Estructura de la parcela 40 x 40 m establecida por el IFN.	65
Figura 16. Análisis de distintas ecuaciones disponibles para el Bosque Sub Húmedo Inundable del Río Paraguay, el grado de dispersión respecto a la línea indica el nivel de ajuste de la ecuación. Fuente: metodología de procesamiento y análisis de datos del IFN (2015).	69
Figura 17. Ubicación geográfica de las investigaciones	76

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 Paraguay se ampara en la Decisión 12/CP.17 par 10, que indica que la Conferencia de las Partes (CP) acordó que un enfoque gradual (*step-wise approach*) para el desarrollo de NREF nacionales podría ser útil, habilitando a las Partes a que mejoren sus NREF, incorporando mejores datos y mejores metodologías y, donde sea apropiado, reservorios adicionales, notando la importancia de apoyos adecuados y predecibles, como se mencionan en el párrafo 71 de la Decisión 1/CP.16.

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 (NREF), el Paraguay ha tomado la totalidad (100%) del territorio del país (406.752 km²). En la figura 1 se observa el mapa de cobertura forestal del país y su referencia de ubicación en América del Sur.

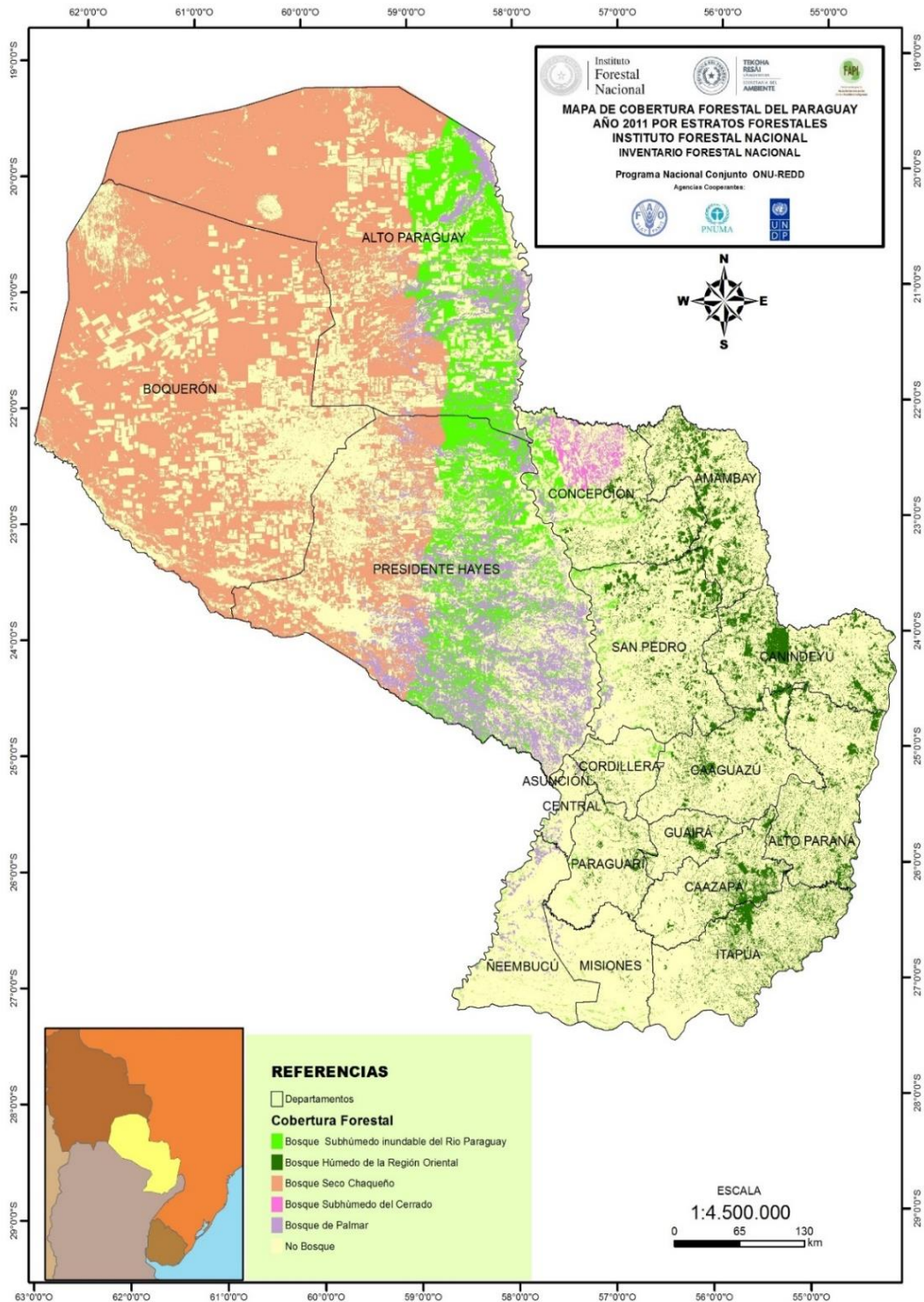


Figura 1. Mapa de cobertura forestal del Paraguay por estratos, y detalle de la ubicación del país.

2.2. Actividades incluidas

El Nivel de Referencia de las emisiones forestales del Paraguay, incluye únicamente las **emisiones de CO₂ provenientes de la deforestación bruta**. Entendiéndose como tal, la contabilización de las áreas categorizadas como bosque, sujetas a conversión en un período determinado; sin considerar las áreas forestadas, reforestadas, así como tampoco las eventuales pérdidas que puedan ocurrir en estas áreas mencionadas. En cuanto a las emisiones denominadas brutas, debido a que el país actualmente no dispone de estimaciones de contenido de carbono para las categorías de No-bosque, se decidió reportar solo las estimaciones de los contenidos de carbono en los bosques sujetos a conversión y no las existencias de carbono en los usos/cobertura del suelo resultantes de este proceso.

Considerando el estado actual del proceso en relación a la actividad de “Degradación de bosque nativo”, las instituciones que forman parte del Programa ONU REDD+ se encuentran en etapa de discusión e identificación de datos asociados requeridos para adoptar una definición y una metodología, que reúna los parámetros e indicadores necesarios y que a su vez esté en conformidad con las capacidades del país para la efectiva detección, estimación y monitoreo de esta actividad.

2.3. Definición de bosque nativo

En el Paraguay, se utilizan distintas definiciones de “bosque”, debido a los procesos inter institucionales involucrados y a los propósitos para los cuales fueron formuladas.

Al respecto, la definición empleada para la determinación de este Nivel de Referencia de las emisiones forestales (NREF), fue trabajada en consenso y establecida en base a acuerdos generales logrados por intercambios, entre las instituciones que conforman el Programa Nacional Conjunto ONU REDD+: el Instituto Forestal Nacional (INFONA), la Secretaría del Ambiente (SEAM) y la Federación por la Autodeterminación de los Pueblos Indígenas (FAPI).

Por consiguiente, a los efectos de REDD+ el “bosque nativo” se define como 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.

Sin embargo, es importante mencionar una restricción de carácter técnico, que actualmente no permite la detección de cobertura de bosque por debajo del umbral del 30%, por lo que la efectividad de la detección y monitoreo de cualquier uso/conversión de cobertura se limita a este valor mínimo. Esta dificultad técnica debida a la limitación de las imágenes de mediana resolución Landsat empleadas, será desarrollada en la sección 2.5 Datos de actividad y 4 Consideraciones finales: limitaciones y futuras mejoras a implementar.

En cumplimiento a lo establecido por el Anexo de la Decisión 12/CP.17, esta misma definición es empleada también para el reporte de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del sector Uso del suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura del Inventario Nacional de Gases de

Efecto Invernadero (INGEI – USCUS), contenido en el Informe Bianual de Actualización (IBA o BUR, por sus siglas en inglés) para el período 2005 - 2011.

Como se mencionó más arriba en relación a otras definiciones de bosque aplicadas en el país, la reportada por el Instituto Forestal Nacional (INFONA) para el *Forest Resources Assessment* (FRA), citado por (FAO, 2015c), fue formulada previamente a su vinculación al Programa ONU REDD+. La misma hace referencia a las tierras que se extienden por más de 0,5 hectáreas dotadas de árboles de una altura superior a 5 m y una cubierta de dosel superior al 10 por ciento, o de árboles capaces de alcanzar esta altura in situ. No incluye la tierra sometida a un uso predominantemente agrícola o urbano.

Mientras que para el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) bajo el Protocolo de Kyoto, la Secretaría del Ambiente como la Autoridad Nacional Designada mediante Resolución N° 941 del año 2007, estableció una definición de “bosque” como tierra que se extiende a partir de 0,5 hectáreas, cubierta de árboles con una altura mínima de 5 metros, alcanzando una cobertura de copa del 25% como mínimo.

Se estima que para próximos reportes a organismos internacionales, el país estará trabajando en la formulación de una definición de bosque consensuada y acordada por todas las instituciones involucradas en el proceso.

2.4. Estratificación de bosque nativo

En cuanto a la identificación de los tipos de bosque o estratos, esta se realizó teniendo en cuenta variables biofísicas, como clima, temperatura y tipo de suelo (FAO, 2015a). Esta estratificación es la misma empleada para el sector USCUS del INGEI, contenido en el Informe Bianual de Actualización (IBA).

Los estratos de bosque identificados por el Inventario Forestal Nacional, son los siguientes:

Bosque Húmedo de la Región Oriental (BHRO): comprende a los bosques altos nativos de la Región Oriental del Paraguay clasificado como bosque higrofito 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*, *Myrocarpus frondosus*, *Peltophorum dubium*, *Pterogine nitens*, *Nectandra* spp., *Ocotea* spp., *Patagonula americana*, *Enterolobium contortisiliquum*, *Albizia hassleri*, *Cabralea* sp., *Aspidosperma polyneuron* entre otras, además el bosque posee un elevado número de especies de lianas, epífitas, helechos arborescentes y palmeras (*Syagrus romanzofianum* y *Euterpe edulis*). Las comunidades naturales están constituidas por turberas, bosques en galería, bosques semicaducifolios altos y medios, bambuzales, cerrados, cuevas, roquedales y acantilados. Los suelos son bien drenados y predominantemente derivados de basalto y areniscas. El límite occidental fue definido en base a los suelos bien drenados y las imágenes del LANDSAT 7.

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

Las comunidades naturales están constituidas por bosques en galería, cuevas, bosques semicaducifolios medios y bajos, cerrados, sabanas arboladas y acantilados. Los suelos son predominantemente derivados de granito y de calcáreos. El límite con el estrato Bosque

Subhúmedo Inundable del Río Paraguay fue delimitado con base en las imágenes del LANDSAT 7 y los suelos bien drenados del mapa de suelos de la Región Oriental.

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

Por último, una mención especial para la formación denominada como **Bosque Palmar (BP)**, que 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), debido a su contenido de biomasa y la superficie que ocupa en el país. Sin embargo, es preciso aclarar algunos puntos previamente, en lo que concierne a las limitaciones de información que no permiten el adecuado tratamiento de este tipo de bosque, específicamente a “datos de actividad” para la determinación del NREF de las emisiones por deforestación.

Por este motivo, seguidamente se explican los antecedentes en la apreciación de esta formación, así como su incorporación como parte de la cobertura de bosque nativa. Además, la situación actual del relevamiento de información para este estrato, en términos de estimaciones de su contenido de biomasa como de su delimitación geográfica en el país.

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

Luego de incluir esta cobertura como parte de la definición de bosque nativo, se procedió a realizar un mapa de la distribución y estimación de la superficie ocupada por el Palmar para el mismo año 2011 utilizando las mismas imágenes de mediana resolución Landsat que ya fueron empleadas para la cobertura forestal previamente generada. Este mapa de la formación Palmar (tal como lo menciona el Anexo I del documento), fue generado fundamentalmente apoyándose en el conocimiento de campo del intérprete y responsable del mismo, siendo el primero de su tipo ya que en el país no existen estudios acerca de la distribución y localización de este tipo de vegetación.

Para la elaboración de este mapa de distribución del Palmar, se realizó primeramente un análisis fitofenológico mediante una revisión bibliográfica con el objetivo de determinar la época más adecuada para lograr una mejor discriminación de esta cobertura con respecto a las otras. Al respecto, se identificó que el criterio de discriminación más apropiado es por fructificación, sin embargo al tener en cuenta los diferentes estados de la vegetación y desarrollo de la planta, fue necesario analizar imágenes de fechas posteriores también.

Con el objetivo de lograr la coherencia con la definición de bosque e incluir esta cobertura en los Mapas de cambio que fueron generados posteriormente por los profesionales del Sistema Satelital de Monitoreo Terrestre del PNC ONU REDD+, identificaron mediante un análisis contrastando el mapa original con una verificación visual de las imágenes Landsat, que esta cobertura era compleja de discriminar entre lo que se denomina comúnmente sabana Palmar, campo natural o en la transición de Bosque Sub Húmedo y Palmar. Por lo que se aplicó una depuración basada en la identificación semi automática de las áreas de Palmar mediante el software utilizado para el efecto; es decir, se comprobó que las zonas con densidades medias y bajas de esta formación no lograban ser identificadas e incluidas por el análisis, debido a la confusión en la reflectancia (captura de los distintos detalles de la imagen por parte del sensor utilizado) del pastizal natural o pastura mejorada/implantada con los escasos ejemplares de Palmar presentes.

La dificultad mencionada se basa en la resolución espacial de las imágenes Landsat (30 x 30), lo que no permite una discriminación confiable de esta formación, principalmente a menores densidades. Normalmente, las variaciones en la densidad se deben a condiciones naturales como ser la topografía del sitio, el tipo suelo o a factores antrópicos. Específicamente en relación a las densidades bajas de Palmar, usualmente están sujetas a otros usos/cobertura de la tierra como pastizales naturales y/o pastura mejorada/implantada para la ganadería (principalmente en la región Occidental o Chaco).

Es así que para poder replicar esta metodología en futuros mapas a generarse, será necesario basarse en la identificación del Palmar por el análisis a emplearse en lugar de apoyarse en el conocimiento de campo del intérprete, y de esta forma asegurar la consistencia y coherencia de los mismos a través del tiempo. Al respecto, se están realizando esfuerzos para mejorar las capacidades para lograr un mapeamiento más preciso y de esta forma obtener un límite más exacto de la distribución geográfica de esta formación.

Más detalles con relación a esta cobertura, se encuentran en la sección 2.5 de Datos de actividad, 2.6 de Factores de emisión y en el Anexo I: Metodología de elaboración de los mapas.

2.5. 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 2.9), 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.

Período de análisis

El equipo técnico del Sistema Satelital de Monitoreo Terrestre (SSMT) 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 satelitales Landsat, dos **Mapas de cambio de la cobertura forestal** correspondientes a la serie temporal 2000 – 2005 – 2011 y 2011 – 2013 – 2015 respectivamente, empleando la plataforma del *Google Earth Engine* (GEE). Para seleccionar las imágenes más adecuadas, se introdujo en la plataforma GEE un rango de fechas indicativas, que cubre a partir del mes de mayo/enero (región Oriental/Occidental) del año 2000 al mes de agosto del año 2015; luego el sistema realiza un proceso de búsqueda y selección de acuerdo a criterios como presencia de nubes menor al 10%, de esta forma no necesariamente se incluyen imágenes correspondientes a los meses límites del rango inferior como superior. Por consiguiente, se determinó que el período total de análisis es de 15 años.

La selección de esta serie temporal (con sus respectivos sub períodos) de análisis, parte del año base que es el 2011 cuando se inició el Programa ONU REDD+ en el país, y a partir de allí se resolvió prolongar el período histórico hasta el 2000 para obtener datos de cambio de cobertura que permitan un análisis más amplio y representativo teniendo en cuenta las circunstancias nacionales. La definición de la etapa del 2005 – 2011 respondió a la necesidad de contar con información que sirviera de insumo para el sector USCUS del INGEI, constituyendo éste el período del Reporte del Informe BIANUAL de Actualización (IBA).

En cuanto a la última etapa de análisis (2011 – 2013 - 2015), considerando que tanto el tiempo como los recursos económicos, humanos y técnicos disponibles, permitieron un análisis más exhaustivo para un período de tiempo más reducido, se resolvió realizar diagnósticos de cambio de cobertura para el 2011 – 2013 y para el 2013 – 2015.

Al respecto, estos Mapas de cambio (Figuras 2 y 3) son los primeros de su tipo generados en el Paraguay, y 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 (mediados del 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 períodos mencionados como inicio y fin (2000 – 2005; 2005 – 2011; 2011 – 2013; y 2013 – 2015).

Es importante destacar que, se considera que pudo haber ocurrido un pequeño incremento en la cobertura boscosa en determinadas áreas, en alguna etapa del período de tiempo analizado. Sin embargo teniendo en cuenta que el patrón de la conversión de cobertura forestal en el Paraguay se debe principalmente al avance de la frontera agrícola, es prácticamente improbable un proceso de deforestación – regeneración y consiguiente deforestación en una misma extensión de tierra;

salvo específicos y exiguos casos que por su insignificancia en términos de superficie, no se podrán contabilizar como áreas deforestadas entre períodos de tiempo para la categoría de *Bosque estable*, debido a que se emplearon Mapas de cambio de cobertura en períodos específicos de tiempo.

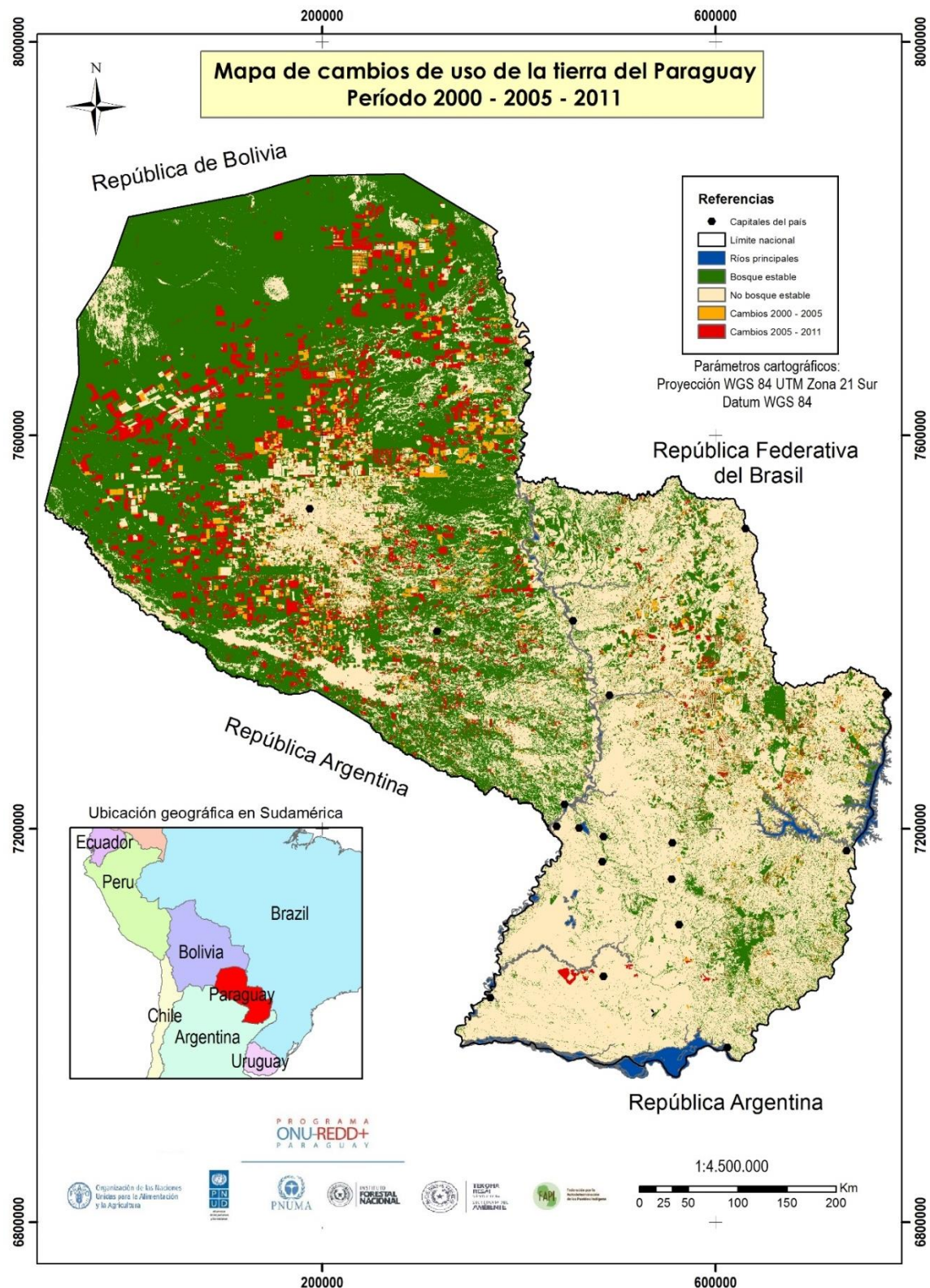


Figura 2. Mapa de cambio de la cobertura forestal correspondiente a los periodos 2000 – 2005 y 2005 – 2011.

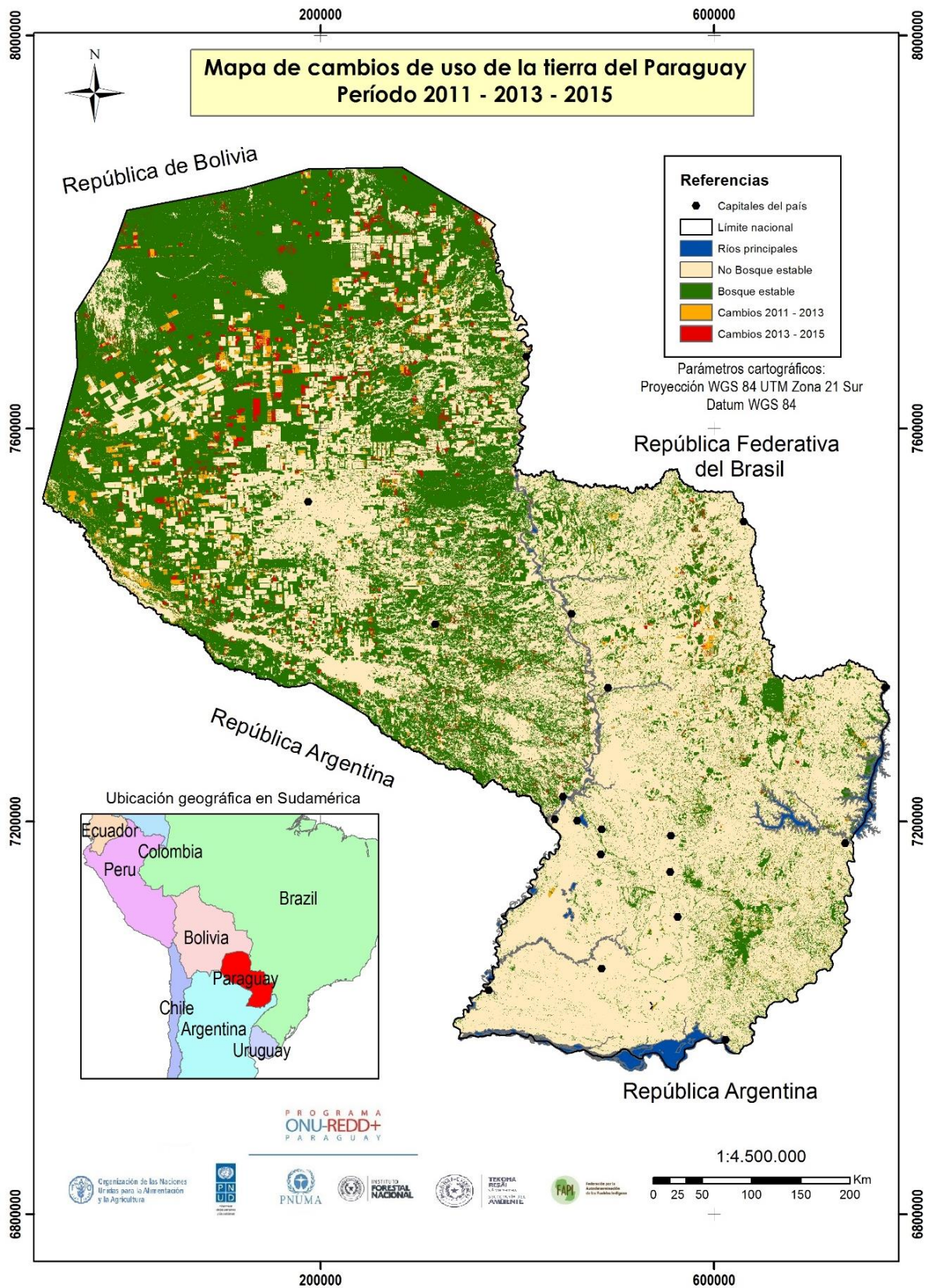


Figura 3. Mapa de cambio de la cobertura forestal correspondiente a los periodos 2011 – 2013 y 2013 – 2015.

Limitaciones referentes a la cobertura mínima identificada en el análisis

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 elaborado posteriormente de forma independiente, ambos correspondientes al año 2011.

Es así que este mapa base incluyó los tipos de bosque considerando la definición adoptada por el país (ver sección 2.3); con la salvedad de que en la práctica debido a limitaciones en cuanto a la capacidad de las imágenes satelitales del sensor Landsat de mediana resolución utilizadas (30 x 30 metros), se estima que la identificación cubre aproximadamente a partir del 30% de la cobertura forestal. Este punto será discutido con más minuciosidad en la sección 4 de Consideraciones finales: limitaciones y futuras mejoras a implementar.

Consideraciones referentes al estrato de Bosque Palmar para Datos de actividad.

En la misma línea de lo mencionado en la sección 2.4, considerando que se cuenta solo con el Mapa de cobertura de la distribución del Palmar para el año 2011 (que representa las altas densidades de esta formación integradas a las latifoliadas del Bosque Inundable, y que pudo ser identificada por el análisis) y dada la dificultad de mapear esta cobertura a menores densidades, utilizando las mismas imágenes de Landsat que fueron utilizadas para la cartografía de los demás estratos de bosque; se resolvió incluir esta cobertura del Palmar correspondiente al año 2011 al estrato de Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay (BSHIRP).

La integración del Palmar a la cobertura correspondiente al BSHIRP, se debe a la distribución geográfica común de ambas formaciones (PNC ONU REDD+, 2014b), tal como lo menciona Spichiger *et al.*, (1991) que la formación de *Copernicia alba* es típica de la mesopotamia conformada entre los río Paraguay y Pilcomayo, en el Chaco Boreal del Paraguay. Este hecho implica una cuestión importante para futuras mejoras a implementar, que se discute en la sección 4 correspondiente. Al respecto, la proporción de la superficie de cobertura del Palmar teniendo en cuenta la superficie total de Bosque Inundable del río Paraguay en el estrato es de aproximadamente 36%.

También, es preciso destacar que la deforestación reportada para el bosque nativo incluye las áreas con cobertura de Palmar pero sin discriminarla geográficamente, debido a que esta cobertura fue incluida a la cobertura forestal del año 2011. Esta cobertura de bosque nativo, constituyó el Mapa de año base para la generación de los dos Mapas de cambio para la serie temporal del 2000 – 2005 - 2011 y 2011 – 2013 – 2015. Por lo tanto, las conversiones de cobertura en el bosque nativo visualizadas en los Mapas de cambio, contienen las pérdidas de la cobertura de Palmar, pero sin categorizarlas geográficamente.

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

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* (GEE) 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 empleando clasificación supervisada escena por escena; posteriormente se realizaron modificaciones o correcciones a la misma, y a partir de ella se generaron las demás categorías mencionadas anteriormente. Además, fue incluido como parte de la cobertura forestal el mapa de distribución de la formación de Palmar, previamente editado.

Al respecto, se trabajó a nivel de cada región del país de forma independiente. Se entiende como región, a cada una de los dos en las que el río Paraguay divide geográficamente al país.

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 de Sistemas de Información Geográfica 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.

i) Por último, se realizó un procedimiento de geo procesamiento para sustraer la cobertura de Plantaciones forestales, a los efectos de no contabilizar la superficie de esta cobertura en los cálculos para obtener el Nivel de Referencia de las emisiones forestales por deforestación.

Finalmente, se realizan los cálculos para determinar **la exactitud de los mapas de cambio** y la incertidumbre asociada. Este procedimiento, arrojó como resultado la determinación de las exactitudes del productor y del usuario así como el índice de Kappa, considerando las 4 categorías generales por cada estrato de bosque nativo. Para el mapa de cambio período 2000 – 2005 – 2011, el valor de su exactitud global corresponde a 88,16%. Mientras que para el mapa de cambio período 2011 – 2013 – 2015 es de 89,23%. En el Anexo II se incluye la descripción metodológica de este proceso (PNC ONU REDD+, 2016a y b).

El IPCC ha desarrollado guías de buenas prácticas por disposición de la CMNUCC, siendo la más reciente la del año 2006, buscando estándares mínimos requeridos para la elaboración de los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Si bien, tanto para el mecanismo REDD+ como para la mencionada guía no se especifica un nivel mínimo necesario de exactitud, es una buena práctica que el nivel de incertidumbre debe ser conocido y reportado (ONU REDD+ Panamá, 2015).

Cabe mencionar que esta evaluación realizada arrojó resultados de superficies estimadas o libres de sesgo, derivadas mediante un muestreo estadístico y posterior ajuste, considerando los valores de exactitud determinados para cada estrato y categoría de cobertura (es crucial el valor de la exactitud del productor y del usuario, para establecer el incremento o disminución de las superficies ponderadas).

El análisis de exactitud se realizó, en primera instancia, con base al número de segmentos muestreados, independientemente de su tamaño. En este caso, las unidades de muestreo (segmentos) fueron tomados en cuenta de la misma manera que en un análisis tradicional por píxel.

Este análisis se repitió considerando la superficie de los segmentos muestreados, en lugar del número de segmentos, para ponderar las estimaciones por superficie. Esto permite tomar en consideración la variación en el tamaño de los segmentos seleccionados en la muestra, según recomienda MacLean & Congalton (2012).

Basados en estos datos de referencia levantados para la evaluación de la exactitud, se realizaron las estimaciones finales de superficie de cada categoría. Este proceso implicó una corrección de los sesgos de la interpretación, y para cada categoría se estimó la incertidumbre asociada y el rango de confianza

Estos valores insesgados de “Datos de actividad” fueron ajustados o ponderados de acuerdo a los resultados de la estimación de su incertidumbre asociada y son los utilizados para la construcción del *Nivel de Referencia de las emisiones forestales del Paraguay*. Al respecto es importante mencionar que la cifra total de deforestación en el período de análisis libre de sesgo constituye un valor inferior en relación a la cifra original (sin ajuste) reportada en la primera versión del documento; es decir, mediante la ponderación realizada conforme los estimadores de exactitud para cada categoría y período de análisis obtenidos en el proceso de evaluación de los mapas, se constató y se corrigió la sobreestimación de los valores de superficies de las distintas categorías, producto de los errores inherentes a la elaboración de los mapas mencionados.

Para más detalles ver documentos de la Evaluación de exactitud temática de los Mapas de cambio de uso de la tierra del PNC ONU REDD+ (2016a y b).

Los datos de cambio de la superficie cubierta por bosque constituyen los **datos de actividad** necesarios para la construcción del NREF, tal como se aprecian en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores de superficie de deforestación total en hectáreas, por estrato de bosque nativo.

Estrato de bosque nativo	Período 2000 – 2015
	Deforestación total (ha)
Bosque Húmedo de la Región Oriental (BHRO)	1.005.658,05
Bosque Seco Chaqueño (BSCH)	3.069.589,51
Bosque Sub Húmedo del Cerrado (BSHC)	30.469,39
B. Sub Húmedo Inundable del Río Paraguay (BSHIRP)	888.360,85
Total	4.994.077,80

Observación: la cobertura de Palmar se encuentra inserta en el Bosque Inundable del río Paraguay, por lo tanto la superficie de conversión en este estrato incluye también las pérdidas en el Palmar, sin embargo no están discriminadas geográficamente.

Este proceso de evaluación de incertidumbre de los mapas, lo realizó 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.

En la siguiente tabla, se puede observar los datos de superficie de conversión de uso (deforestación) en hectáreas por año, para cada estrato identificado. Estos valores se obtuvieron de la superposición de los Mapas de cambio de cobertura y el Mapa de estratificación de bosque nativo (que comprende la delimitación de 4 estratos o tipos de bosque). Para realizar la anualización se consideró los promedios simples de deforestación para cada período de tiempo, conforme recomendaciones del Equipo técnico de evaluadores de la Convención; debido a que los datos de actividad con los que cuenta el país proceden de los Mapas de cambio de cobertura que fueron generados para períodos de análisis o series temporales específicos. Los mismos resultados se emplearon para el cálculo de las emisiones históricas de CO₂ por deforestación bruta de bosque nativo, que se pueden observar más adelante, en la tabla 10.

Considerando la serie temporal de los Mapas de cambio de cobertura: 2000 – 2005 – 2011 y 2011 – 2013 – 2015, y debido a que el análisis de las imágenes Landsat parte del mes de mayo/enero (región Oriental/Occidental) del año 2000, se considera como año 1 a partir de mayo del año 2000 hasta mediados del año 2001 y así sucesivamente, hasta agosto del año 2015 para ambas regiones (15 años en total). Ver rangos de fechas de las distintas imágenes empleadas para la serie temporal en las tablas 15 y 16, del Anexo I.

Tabla 2. Superficies anualizadas de deforestación (ha) por estrato de bosque nativo, para el período de análisis.

Año	Período considerado*	B. Húmedo de la Región Oriental (BHRO)	B. Seco Chaqueño (BSC)	B. Sub Húmedo del Cerrado (BSHC)	B. Sub Húmedo Inundable del Río Paraguay (BSHIRP)	Total Deforestación ha/año
1	2000 - 2001	119.115,17	119.742,44	1.229,85	41.658,11	281.745,56
2	2001 - 2002	119.115,17	119.742,44	1.229,85	41.658,11	281.745,56
3	2002 - 2003	119.115,17	119.742,44	1.229,85	41.658,11	281.745,56
4	2003 - 2004	119.115,17	119.742,44	1.229,85	41.658,11	281.745,56
5	2004 - 2005	119.115,17	119.742,44	1.229,85	41.658,11	281.745,56
6	2005 - 2006	45.327,60	238.014,69	2.482,15	65.572,45	351.396,89
7	2006 - 2007	45.327,60	238.014,69	2.482,15	65.572,45	351.396,89
8	2007 - 2008	45.327,60	238.014,69	2.482,15	65.572,45	351.396,89
9	2008 - 2009	45.327,60	238.014,69	2.482,15	65.572,45	351.396,89
10	2009 - 2010	45.327,60	238.014,69	2.482,15	65.572,45	351.396,89
11	2010 - 2011	45.327,60	238.014,69	2.482,15	65.572,45	351.396,89
12	2011 - 2012	41.145,11	284.693,97	3.913,72	122.105,49	451.858,28
13	2012 - 2013	41.145,11	284.693,97	3.913,72	122.105,49	451.858,28
14	2013 - 2014	27.913,19	236.700,64	799,90	21.212,33	286.626,06
15	2014 - 2015	27.913,19	236.700,64	799,90	21.212,33	286.626,06

Fuente: PNC ONU REDD+ (2015b). *Ver en el Anexo I, el rango de fechas de las imágenes empleadas

2.6. 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 a los niveles 1 y 2. Para este segundo nivel, se emplearon datos específicos del país, colectados mediante el primer Inventario Forestal Nacional (IFN), que se está realizando 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 (BHRO), Bosque Seco Chaqueño (BSCH) y Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay (BSHIRP); como ecuaciones generadas para los trópicos (nivel 1) así como factores de expansión generados a partir de las mismas ecuaciones locales para el Bosque Sub húmedo del Cerrado (BSHC).

En lo que concierne al factor de emisión a asociar al estrato denominado Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay, teniendo en cuenta que en el mismo se encuentra inmersa la formación de Palmar - BP (como se menciona en la sección 2.4 Estratificación de bosque nativo y 2.5 Datos de actividad), y a cada uno de ellos se le asocia factores de emisión diferentes; se realizó un procedimiento de ponderación por peso para obtener un resultado promedio. Esta técnica se empleó para obtener un factor de emisión único a ser aplicado para todo el estrato, considerando el peso o la importancia de cada uno de los dos tipos de vegetación, en términos de la superficie que ocupan en la unidad de análisis.

El valor ponderado utilizado, es a los efectos de obtener un resultado más conservador en relación a las emisiones de CO₂ que se asumen solo para el BSHIRP. Con el empleo de este método se estima evitar potenciales sobre-estimaciones o sub-estimaciones al aplicar uno u otro factor de emisión asociado, considerando que los resultados preliminares arrojan para el BSHIRP cifras más altas que para el BP. Ver sección 4 Limitaciones y futuras mejoras a implementar.

Más detalles en relación a la metodología para la estimación de los contenidos de biomasa y carbono para los distintos estratos de bosque, así como el procedimiento de ponderación por peso, se encuentran en el Anexo IV de este documento.

2.6.1. Depósitos incluidos

En cumplimiento a la Decisión 12/CP.17; el presente NREF incluye la biomasa viva total, la cual comprende toda la biomasa viva que se encuentra sobre el suelo. Incluyendo troncos, tocones vivos, ramas, cáscaras, semillas y hojas, además de toda la biomasa de raíces vivas (biomasa debajo del suelo). Se excluyen 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 u orgánico).

Asimismo, se incluye la biomasa del Sotobosque, debido a que en el país el proceso de deforestación implica la destrucción de toda la vegetación, tanto para la conversión a tierras de cultivo como ganaderas. Por lo tanto, es oportuno incluir en las estimaciones de las emisiones de CO₂ por deforestación de bosque nativo, las asociadas al sotobosque.

Considerando la información proveniente de otros depósitos o reservorios, si bien se cuentan con resultados preliminares, aún no permiten su inclusión en los cálculos para la construcción de este NREF. Específicamente en relación al depósito de “Suelo”, el mismo fue reportado en el Informe Bianual de Actualización (SEAM, 2015), sector Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura (USCUSS) para el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI), por la significancia en su contribución a las emisiones totales de CO₂ (39,1 %).

Estas informaciones preliminares para otros depósitos se encuentran en el Anexo V; también los resultados preliminares para el depósito “suelo”, y más detalles de la justificación de su omisión en este NREF se encuentran en la sección 2.7 de este documento.

Cabe mencionar que los depósitos excluidos en el presente NREF, se consideran como parte de futuras mejoras a incorporar (*step wise approach*).

2.6.2. 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 unidades de muestreo. 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 121 unidades de muestreo en total (para Biomasa arriba del suelo y Biomasa debajo del suelo); en tanto para el sotobosque la información corresponde al procesamiento de datos de 99 unidades de muestreo aproximadamente, establecidas entre los años 2014 - 2015 (ver Figura 4).

Para el estrato de Bosque Húmedo de la región Oriental (BHRO) se establecieron 45 unidades de muestreo (este es el único estrato que cuenta con resultados finales, se colectó la información en la totalidad de las unidades de muestreo previstas).

Considerando el Bosque Seco Chaqueño (BSCH) se relevaron datos de 39 unidades de muestreo en conglomerado (cada conglomerado cuenta con 3 parcelas). El procesamiento de datos para la biomasa arriba del suelo (AGB) y Biomasa debajo del suelo (BGB) corresponde a la totalidad de estas unidades de muestreo, mientras que para el sotobosque los valores corresponden al procesamiento de datos de 109 parcelas.

En relación al Bosque Sub Húmedo del Cerrado (BSHC), se dispone de datos colectados y procesados en 30 unidades de muestreo para la Biomasa arriba y debajo del suelo; mientras que los valores del sotobosque proceden del procesamiento de datos de 16 parcelas.

En este punto, es conveniente la aclaración en cuanto al levantamiento de la información en un número menor de unidades de muestreo para el “sotobosque” en dos estratos: Bosque Seco del Chaco (BSCH) y Bosque Sub Húmedo del Cerrado (BSHC), debido a que algunas unidades de muestreo no aplicaron para la colecta de datos (por ausencia de sotobosque, inundación y otros motivos). En relación a los otros estratos (BHRO, BSHIRP y BP), el número total de unidades de muestreo se mantuvo constante, tanto para la Biomasa arriba del suelo y Biomasa debajo del suelo como para el sotobosque (todas aplicaron).

Para el Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay los datos proceden de 4 unidades de muestreo. En relación al estrato de Bosque Palmar, los datos proceden de 3 unidades de muestreo en conglomerado (cada uno consta de 3 parcelas). Ver tabla 3.

Considerando la parcela de medición, cada una posee un tamaño de 60 x 60 metros (0.36 ha), a excepción de las parcelas del estrato de Palmar, cuyo tamaño es de 40 x 40 metros (0,16 ha).

Tabla 3. Cantidad de unidades muestrales establecidas por el IFN por tipo de bosque.

Tipo de bosque (estrato) del IFN	Unidades muestrales (AGB y BGB)
Bosque Húmedo de la Región Oriental (BHRO)	45
Bosque Seco del Chaco (BSCH)	39*
Bosque sub húmedo del Cerrado (BSHC),	30
Bosque sub húmedo inundable del río Paraguay (BSHIRP)	4
Bosque Palmar (BP)	3*
Total de unidades de muestreo establecidas	121

**Observación: considerando tres parcelas por conglomerado, para el Bosque Seco del Chaco corresponden a 117 parcelas en total, y para el Bosque Palmar 9 parcelas. Para el sotobosque, el procesamiento de datos corresponde a 109 parcelas para el BSCH y 16 parcelas para el BSHC. Para los estratos restantes, se consideró el mismo número de unidades de muestreo para Biomasa arriba del suelo, Biomasa debajo del suelo y sotobosque.*

La sección 2.4 de Estratificación de bosque nativo, explica las características de cada uno de los estratos identificados por el IFN, y específicamente hace referencia a la cobertura de Palmar y a sus limitaciones para realizar una cartografía multi – temporal.

Teniendo en cuenta tanto el Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay como el Bosque Palmar, como las estimaciones preliminares de sus respectivos contenidos de Biomasa viva están basados en el procesamiento y análisis de los datos procedentes de la colecta de información en 4 y 3 unidades de muestreo. En el Anexo VI se presentan resultados obtenidos de fuentes secundarias para estos tipos de formación, a manera de referencia o complemento de los valores reportados en este documento.

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 de Procesamiento y análisis de datos del Inventario Forestal Nacional (PNC

ONU REDD+, 2015a). Estos documentos corresponden a informes adjuntos y complementarios a éste (está el detalle de cada uno de ellos en la sección 2.7).

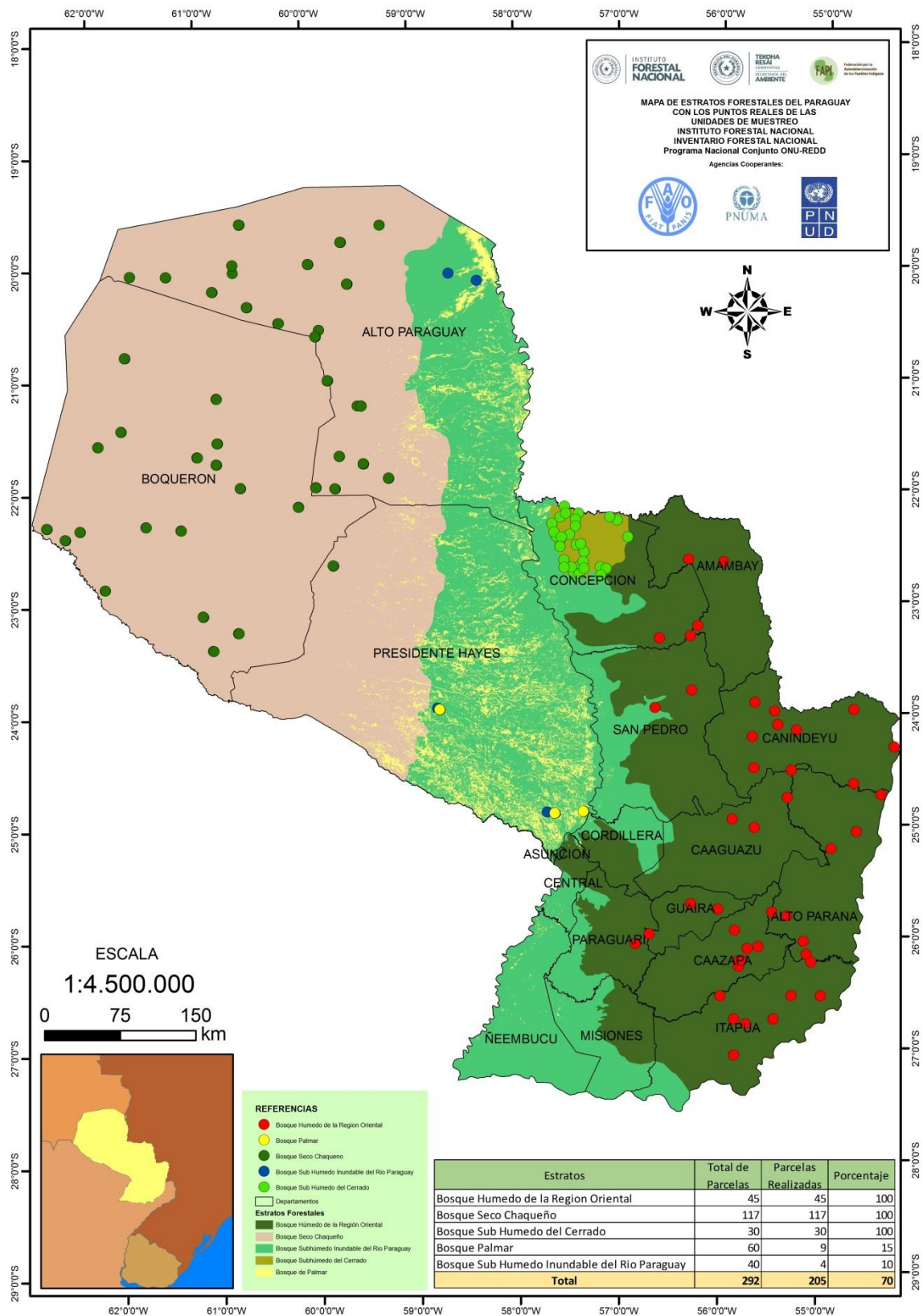


Figura 4. Mapa de ubicación del total de las unidades de muestreo con levantamiento de información en los estratos de bosque, por el Inventario Forestal Nacional (IFN).

2.6.3. Estimación de biomasa total por estrato de bosque.

La aplicación de las ecuaciones alométricas (EA) para la estimación de biomasa, se basó en un proceso de investigación bibliográfica, se consideraron estudios nacionales y regionales disponibles, en la generación de ecuaciones alométricas a nivel de ecosistemas forestales y especies arbóreas.

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

En relación a la selección de las EA más apropiadas, fueron utilizadas estas ecuaciones desarrolladas en el país, debido a que la mayoría de las otras ecuaciones desarrolladas a nivel regional como las genéricas de Chave, solo contemplan la Biomasa aérea (Sato *et al.*, 2013).

Además, en la sección 2.4 se describen las características principales de cada uno de los estratos de bosque nativo con sus respectivas especies predominantes. Estas EA generadas localmente, se desarrollaron empleando una metodología de muestreo y aprovechamiento (método destructivo) de diferentes especies forestales, diámetros, densidades, entre otros parámetros. Fundamentalmente considerando las especies predominantes de cada estrato, se seleccionaron 16 especies características del Bosque Húmedo, 13 especies del Bosque Seco Chaqueño, y 9 para el Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay. Se puede obtener más información, consultando los artículos científicos: “Generación de las ecuaciones alométricas para ecosistemas del Paraguay” y “Ecuaciones alométricas para la especie *Ceiba chodatii* en el Chaco Oeste Paraguayo”, de Sato *et al.* (2013 y 2014).

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

Para la estimación de la biomasa viva total (incluyendo biomasa bajo el suelo, BGB por sus siglas en inglés *Belowground Biomass*) y la biomasa arriba del suelo (AGB, por sus siglas en inglés de *Aboveground Biomass*), se aplicaron ecuaciones alométricas (EA) desarrolladas localmente por Sato *et al.*, 2013 y 2014 (para los estratos de Bosque Húmedo de la Región Oriental - BHRO, Bosque Seco Chaqueño - BSCH y Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay – BSHIRP), y para la especie *Copernicia alba* del Bosque Palmar por la Organización No Gubernamental Guyrá Paraguay (2015).

Además, se empleó una ecuación generada para los trópicos por Brown (1997) para el Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay (BSHIRP) y otra de Chave *et al.* (2005); así como factores de expansión obtenidos en base a las mismas ecuaciones locales para el Bosque Sub Húmedo del Cerrado (BSHC) y para el estrato del BSHIRP.

También, se utilizaron EA específicas para la obtención de Biomasa aérea y viva total, desarrolladas para la especie característica del Bosque Seco Chaqueño: *Ceiba chodatii*, denominada comúnmente Samu’u (*Bottle-shaped Tree*). Estas ecuaciones, también fueron desarrolladas en el país por Sato *et al.* (2014).

Las ecuaciones alométricas que fueron generadas a nivel de estrato de bosque, pueden ser aplicadas a cada árbol independientemente de la especie, cuyo valor alcanzará la precisión estadística deseada una vez que se realice la sumatoria de la biomasa de todos los árboles de

cada unidad de muestreo. Luego de ser aplicadas a cada árbol, se realizó la extrapolación de los resultados a nivel del estrato boscoso correspondiente.

Por su parte, para obtener resultados de Biomasa bajo el suelo, se procedió a realizar una sustracción del resultado de Biomasa viva total

Para más detalles en relación a las ecuaciones, ver Anexo IV: Procesamiento de datos del IFN y documento adjunto de Metodología del procesamiento y análisis de datos del IFN (versión octubre 2015).

La **biomasa viva total** por hectárea en los diferentes tipos de bosques del país varía entre 43,6 tn/ha y 199,12 tn/ha (tabla 4).

Tabla 4. Valores de biomasa sobre el suelo, debajo del suelo y de sotobosque (tn/ha), por estrato de bosque

Estrato de bosque nativo	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)	*111,4	*14,02	*2,95	*128,37
Bosque Seco Chaqueño (BSCH)	50,27	26,12	6,17	82,56
Bosque Sub Húmedo del Cerrado (BSHC)	109,21	29,21	0,26	138,68
B. Sub Húmedo Inundable del Río Paraguay (BSHIRP)	**141,31	**48,57	**9,24	**199,12
B. Palmar (BP)	**36,3	**2,95	**4,35	**43,6

Fuente: PNC ONU REDD+ (2015b)

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

****Estos valores corresponden a los empleados para efectuar el cálculo de obtención del promedio de biomasa ponderado por peso.**

A continuación se presentan las cifras para Biomasa, resultantes del procedimiento del cálculo de ponderación de acuerdo al peso de cada una de las formaciones mencionadas. Más detalles de este proceso, se presentan en el Anexo IV.

Tabla 5. Valor promedio ponderado para Biomasa del Bosque Inundable del río Paraguay.

Estrato de bosque nativo	Biomasa sobre el suelo (tn/ha)	Biomasa bajo el suelo (tn/ha)	Biomasa sotobosque (tn/ha)	Biomasa viva total (tn/ha)
B. Sub Húmedo Inundable del Río Paraguay (BSHIRP) y B. Palmar (BP)	102,77	31,83	7,45	142,05

2.6.4. 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 obtenidas en campo, en el laboratorio, aplicando el método de combustión seca de la biomasa, a una temperatura de aproximadamente 900°C. La conversión de la biomasa a carbono se obtuvo al multiplicar la biomasa seca de cada muestra por la fracción de carbono remitida desde laboratorio.

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

Tabla 6. Estimación del contenido de carbono y CO₂ equivalente (tn/ha) para todos los estratos de bosque.

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

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	*6,59	*1,39	*60,34	221,28
Bosque Seco Chaqueño (BSCH)	23,63	12,28	2,90	38,81	142,3
Bosque Sub Húmedo del Cerrado (BSHC)	51,33	13,73	0,12	65,18	238,99
B. Sub Húmedo Inundable del Río Paraguay (BSHIRP)	**66,42	**22,83	**4,34	**92,69	339,86
B. Palmar (BP)	**17,06	**1,39	**1,4	**19,85	72,78

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

****Estos valores corresponden a los empleados para efectuar el cálculo de obtención del promedio de contenido de carbono ponderado por peso.**

En la siguiente tabla, se presentan las cifras para contenido de Carbono y CO₂ equivalente, resultantes del procedimiento del cálculo de ponderación por peso de cada una. Más detalles de este proceso, se presentan en el Anexo IV.

Tabla 7. Valor promedio ponderado para contenido de Carbono, para el Bosque Inundable del río Paraguay.

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
B. Sub Húmedo Inundable del Río Paraguay (BSHIRP) y B. Palmar (BP)	48,3	14,96	2,69	65,95	241,82

Este resultado de **241,85 tn/ha de CO₂ –equivalente**, es el empleado para el cálculo de determinación del presente NREF, fue aplicado como “factor de emisión” correspondiente al estrato de Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay (BSHIRP).

Considerando que el valor preliminar de biomasa viva para el BSHIRP está basado en el procesamiento y análisis de datos de solo 4 unidades de muestreo, se estima conveniente la mención de otros resultados provenientes de fuentes secundarias para Biomasa viva, a modo de referencia. Es así que, el rango de valores reportados a nivel local, comprende de 17,32 a 77,17 toneladas de Carbono/ha, para el mismo tipo de formación o estratificación de bosque (Gill, 2012; Lubián, 2014; Guyrá Paraguay/World Land Trust, 2012 y Pas Chaco, 2014).

Mientras que para la formación de Palmar, se reportan datos desde 1,67 tn a 23,47 tn de carbono/ha. (Lubián, 2014; Guyrá Paraguay/World Land Trust, 2012 y Pas Chaco, 2014).

Esta información complementaria proveniente de otras fuentes, así como detalles relevantes respecto a la metodología empleada y principales diferencias con los resultados del IFN, se aprecian en el Anexo VI de este documento.

2.6.5. Estimación de la incertidumbre de Factores de emisión

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 sobre el suelo y para la Biomasa bajo el suelo. En la siguiente tabla, se pueden visualizar los valores.

Tabla 8. Incertidumbre en porcentaje, por depósito de Biomasa viva y por estrato. Fuente: datos del Programa Nacional Conjunto ONU REDD+ (2015b).

Estrato de bosque nativo	Incertidumbre % Carbono Biomasa árboles vivos	Incertidumbre % Carbono Biomasa sotobosque	Incertidumbre % Carbono Biomasa bajo el suelo
Bosque Húmedo de la Región Oriental (BHRO)	7,27	16,74	5,97
Bosque Seco Chaqueño (BSCH)	6,19	12,38	6,38
Bosque Sub Húmedo del Cerrado (BSHC)	7,31	12,45	7,31
Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay (BSHIRP)	15,89	28,39	14,31
B. Palmar (BP)	14,05	23,54	7,55

El mismo procedimiento se realizó para estimar la incertidumbre asociada a los valores obtenidos del procedimiento de ponderación por peso, aplicado a las dos formaciones de bosque.

Tabla 9. Incertidumbre en porcentaje, para los resultados del proceso de ponderación por peso.

Estrato de bosque nativo	Incertidumbre % Carbono Biomasa sobre el suelo (tn/ha)	Incertidumbre % Carbono Biomasa bajo el suelo (tn/ha)	Incertidumbre % Carbono Biomasa sotobosque (tn/ha)
B. Sub Húmedo Inundable del Río Paraguay (BSHIRP) y B. Palmar (BP)	13,95	13,82	23,39

Es importante mencionar, que las estimaciones de incertidumbre correspondientes a los estratos para los cuales aún se cuentan con resultados preliminares, serán mejoradas con la inclusión de nuevos datos, y por ende el error asociado resultaría 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.

2.6.6. Gases incluidos

Teniendo en cuenta el análisis de la información disponible, se incluyen en el cálculo exclusivamente a las emisiones de CO₂, provenientes de la conversión de tierras forestales a otras categorías de cobertura. Aunque, se reconoce la posibilidad de emisiones de otros gases durante

las actividades de conversión de bosques a otros usos de la tierra, estas emisiones serían marginales y difíciles de calcular en comparación con las emisiones de CO₂.

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

2.7. Información transparente, completa, consistente y precisa

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

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

Todos los procesos y metodología aplicadas para la estimación de los “datos de actividad”, “factores de emisión” y construcción del NREF están reportados en el presente documento, incluyendo los Anexos y los documentos externos relacionados al proceso, citados más abajo.

En relación a la información completa, toda la documentación relacionada que fue utilizada para la construcción del NREF del Paraguay, está disponible en una plataforma web de público acceso a través del siguiente link: <http://www.infona.gov.py/index.php/604>

A continuación la lista de los mencionados documentos:

- Manual de Campo del Inventario Forestal Nacional (IFN). Programa ONU REDD+. Versión Programa ONU REDD+. 2014.
- Documento de Metodología de procesamiento y análisis de datos del IFN. Programa ONU REDD+. versión octubre 2015.
- Desarrollo de Ecuaciones alométricas para biomasa de árbol en ecosistemas forestales del Paraguay. Sato *et al.* (2013).
- Ecuaciones alométricas para *Ceiba chodatii* en la región Occidental o Chaco del Paraguay. Sato *et al.* (2014).
- Metodología de elaboración de los Mapas de cambio de cobertura. Programa ONU REDD+. 2016.
- Primer Informe Bianual de Actualización del Paraguay (IBA). Diciembre 2015. Secretaría del Ambiente.
- Informe final de evaluación de exactitud temática del Mapa de cobertura forestal y cambio de uso de la tierra para los años 2000 – 2005 – 2011. 21. SEAM/Coordinación SIG. Mayo 2016. Programa Nacional Conjunto (ONU-REDD+ Paraguay).
- Informe final de evaluación de exactitud temática del Mapa de cobertura forestal y cambio de uso de la tierra para los años 2011 – 2013 – 2015. 21. SEAM/Coordinación SIG. Mayo 2016. Programa Nacional Conjunto (ONU-REDD+ Paraguay).
- Documentos de consultoría de Procesamiento y análisis estadístico preliminar del componente suelo; y Estudio complementario sobre área representativa para muestreo de carbono en suelo. Programa ONU REDD+. 2014.
- Base de datos de cálculos para determinación de biomasa viva (incluyendo sotobosque) en todos los estratos de bosque.
- Planillas de cálculo para construcción del NREF del Paraguay.

Documentos respaldatorios:

- Guyrá Paraguay/World Land Trust (2012). The Paraguay Forest Conservation Project-Reduction of GHG emissions from deforestation and forest degradation in the Chaco-Pantanal ecosystem.
- Proyecto de Manejo Sustentable de Bosques en el Sistema Transfronterizo del Gran Chaco Americano/Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación/Ministerio de Medio Ambiente y Agua/Secretaría del Ambiente. (2014).
- Investigación académica de Lubián. (2012). Valoración económica de sistemas de producción con inclusión de servicios ecosistémicos en el Bajo Chaco.
- Investigación académica de Gill. (2014). Estimación preliminar del stock de Carbono en Bosque Mesoxerofítico alto y bajo del Departamento de Alto Paraguay, Chaco.

En lo concerniente a la información precisa utilizada en la construcción de este NREF, se reportan los valores de incertidumbre asociados a los “factores de emisión” utilizados. Sin embargo, como se mencionó en el apartado 2.6.5 está pendiente la estimación de la incertidumbre asociada a los “datos de actividad” considerando la estratificación de bosque nativo utilizada.

Respecto a la consistencia de la información presentada, el NREF propuesto se construyó empleando una metodología y un conjunto de datos únicos y consistentes entre sí. Para la determinación de los datos de actividad históricos, se empleó una sola fuente de información que fueron los mapas de cambio de cobertura, generados mediante la aplicación de una metodología clara y replicable. Mientras que los Factores de emisión utilizados, son los mismos para todos los años de análisis y proceden también de la aplicación de una misma metodología sistematizada, que es la del Inventario Forestal Nacional (IFN).

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

2.8. Vinculación del NREF e INGEI – sector USCUS

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

De lo expuesto más arriba, en esta sección se explica la consistencia de la información contenida en este documento y la utilizada para el reporte de las emisiones del sector Uso del Suelo, Cambio de Uso del suelo y Silvicultura del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI – USCUS) para el período 2005 - 2011, contenidas en el Primer Informe Bianual de Actualización (IBA) que fue remitido a la Convención en el mes de diciembre de 2015.

Al respecto, se utilizó la misma definición de bosque, que fue formulada a los efectos del Programa ONU REDD+, y la misma fuente de información para los “factores de emisión” y para los “datos de actividad”. Igualmente, es necesaria la mención de que las variaciones presentadas en este NREF son mejoras derivadas de la mayor disponibilidad de datos, en cuanto a informaciones específicas para el país procedentes del IFN e información de datos de actividad más precisos correspondientes a la versión final de los mapas de cambio de cobertura (el INGEI - USCUS empleó la versión preliminar por razones de tiempo). En este sentido, el próximo INGEI a elaborarse que se remitirá con el correspondiente IBA, deberá ceñirse a estas informaciones mejoradas para asegurar la consistencia.

A continuación se detallan los puntos de variaciones existentes entre ambos.

Primeramente, debido a que la construcción del NREF contó con un lapso de tiempo más prolongado para realizar los cálculos y remitir el documento oficial a la CMNUCC (enero 2016), se

resolvió utilizar la **información preliminar del IFN** correspondiente a dos estratos de bosque nativo: del Bosque Sub Húmedo del Cerrado (BSHC) y el Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay (BSHIRP), debido a la mayor confiabilidad (los datos propuestos por defecto por el IPCC son estimaciones a nivel regional que presentan un nivel alto de incertidumbre asociado). Esta información corresponde a datos colectados y procesados, procedentes de 30 y 4 unidades de muestreo respectivamente, la misma fue proveída a fines del mes de octubre y principios de noviembre. Estos resultados específicos del país, no pudieron utilizarse para la estimación de las emisiones del sector USCUS, en lugar de ello se emplearon los valores por defecto propuestos por el IPCC (2003).

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

También, es importante mencionar que el USCUS -INGEI (PNC ONU REDD+, 2015c) para el **cálculo de las emisiones** y absorciones con el objetivo de estimar el flujo total del CO₂ en el Paraguay, consideró la variación de las reservas de Carbono en un año de crecimiento de las tierras agrícolas utilizando factores por defecto del IPCC. Mientras que para el NREF, se consideró exclusivamente las emisiones de CO₂ por conversión de tierras forestales (deforestación de bosque nativo), asumiendo que las existencias de carbono post – conversión tienen un valor de “cero”.

Respecto a la diferencia en cuanto a **depósitos** de Carbono y **gases** reportados en uno y otro documento; para el NREF se resolvió incluir solo el depósito de Biomasa viva (arriba del suelo y debajo del suelo) y las emisiones del Dióxido de Carbono (CO₂).

El sector USCUS – INGEI reportó en cuanto a gases, las emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂ - eq) y Óxido nitroso equivalente (N₂O - eq); por razones de disponibilidad de la información.

Las emisiones de CO₂ por cambio de uso de la tierra, es decir de Tierras forestales a Tierras agrícolas, son las de mayor relevancia en términos de contribución a las emisiones totales en un 99.97% (de acuerdo al INGEI USCUS). Otro gas que reportó el mismo Inventario, es el Óxido nitroso equivalente (N₂O), pero su contribución se considera insignificante con 8.980 toneladas de N₂O equivalente (o 2.676.040 de CO₂ equivalente, según Global Warming Potential del Greenhouse gas Protocol, 4th Assessment Report AR4 - 2007), por lo que se consideró pertinente su exclusión en los cálculos para el NREF. Además, esta omisión se ampara en lo señalado en las Orientaciones sobre las Buenas Prácticas del IPCC (2003), que en el contexto de las emisiones y absorciones, se considera como significativa una sub categoría (depósito o gas) si representa al menos un 25 – 30% de las emisiones/absorciones de la categoría general.

Otras emisiones de gases distintos a CO₂ como Metano, asociadas a las transiciones de tierras forestales a tierras no-forestales tampoco se contemplaron en el presente NREF, aunque la tala, roza y quema sea una práctica común en el Paraguay para la conversión de bosque nativo en tierras de cultivo agrícola o pastizales. Además debido a la ausencia de información espacialmente explícita y completa para toda la serie temporal relativa a los incendios forestales que podrían estar asociados a la conversión de tierras forestales a tierras de cultivo y pastizales en el período comprendido entre el año 2000 y el 2015. Esta presunción se debe mantener en las futuras mediciones, reportes y verificaciones de las emisiones por deforestación en el contexto de pagos por resultados para mantener consistencia con este NREF propuesto.

En la siguiente figura se observa el detalle de las contribuciones en las emisiones de CO₂ por conversión de uso de “Tierras forestales a Tierras agrícolas” del sector USCUS, así como las respectivas contribuciones de los sectores de Energía e Industrias del mismo gas (en porcentaje de acuerdo al total del valor reportado), desplegados en el Primer Informe Bianual de Actualización relativas al INGEI correspondiente al año 2011 (izquierda); y las contribuciones (en porcentaje) en las emisiones de CO₂ de los depósitos de Biomasa viva total y suelo, que fueron

reportados para el mismo INGEI. Una observación importante es que los sectores de Agricultura y Residuos no presentan aportes de CO₂ para este INGEI.

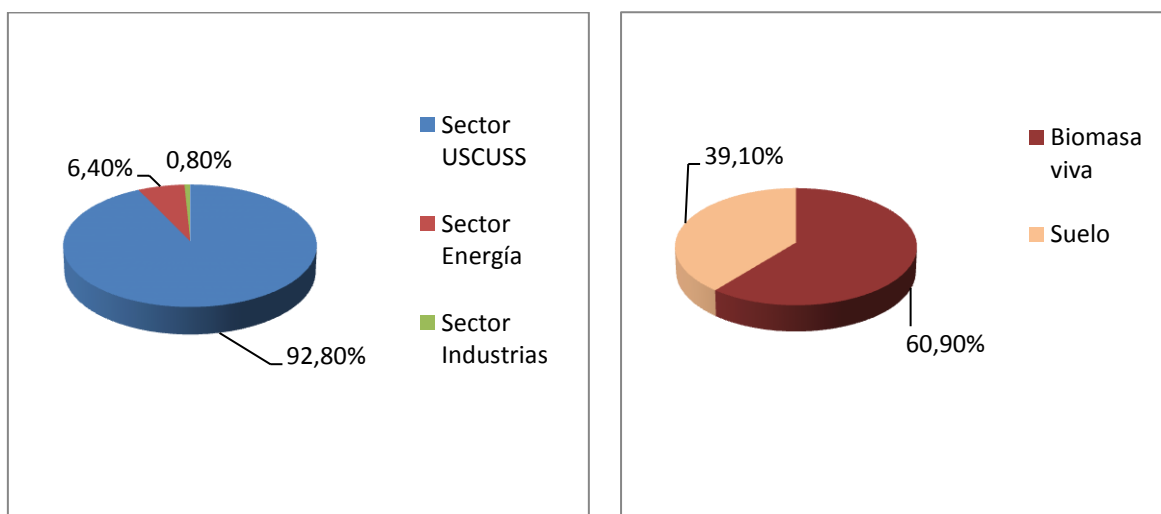


Figura 5. Contribución en porcentaje de los sectores mencionados en las emisiones de CO₂ al INGEI (2011), y contribución en las emisiones de CO₂ de los depósitos de Biomasa viva y suelo reportados por el mismo INGEI. Fuente: Primer Informe Bianual de Actualización (2015).

Por último, el sector USCUS del INGEI además de “Biomasa viva” reportó el depósito de “Suelo”, por sus contribuciones significativas en las emisiones totales (39,1%), como se mencionó en la sección 2.6.1. La exclusión de éste depósito en la construcción del NREF por deforestación en el Paraguay, se justifica por el hecho de que solo se cuenta con informaciones procedentes del “suelo forestal” de origen mineral y no se cuenta con informaciones adicionales disponibles en relación a las existencias de carbono o de volumen en la transferencia/intercambio de las emisiones, en las coberturas resultantes de la conversión de bosque nativo. El valor de contenido de carbono total que se reporta corresponde a las existencias de carbono en “suelo”, mediante colecta de datos en unidades de muestreo localizadas en el bosque.

Respecto a informaciones reportadas en la Segunda Comunicación Nacional (SEAM, 2011) en relación a la presencia de “suelos orgánicos” en el norte de la región Oriental del país; no hay estudios o investigaciones científicas que avalen esta mención. Por lo que se considera necesario recabar información in situ, empleando una metodología científica que sustente la confiabilidad de la investigación.

Para detalles de los resultados preliminares y metodología para su estimación de contenido de carbono de este depósito y los restantes, dirigirse al Anexo V.

2.9 Circunstancias Nacionales

2.9.1. Análisis cualitativo de las causas de la deforestación y posibles futuras tendencias

Expansión de la Frontera agropecuaria

Si bien Paraguay aún cuenta con 16.756.898,07 (al año 2015) has de bosques de acuerdo a los datos del Sistema Satelital de Monitoreo Forestal de la Dirección del Sistema Nacional de Información Forestal del INFONA, 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

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

de Sistemas de 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.

2.9.2. 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, 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 (ver la Tabla 2). La Figura 6, presenta los valores de superficie promedio de deforestación en hectáreas (línea vertical) por región del país y por período de análisis (línea horizontal) considerando los datos de los mapas de cambio de cobertura (PNC ONU REDD+, 2015a).

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.

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 por el Sistema Satelital de Monitoreo Forestal del SNIF (Tabla 2 y Figura 6), 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.

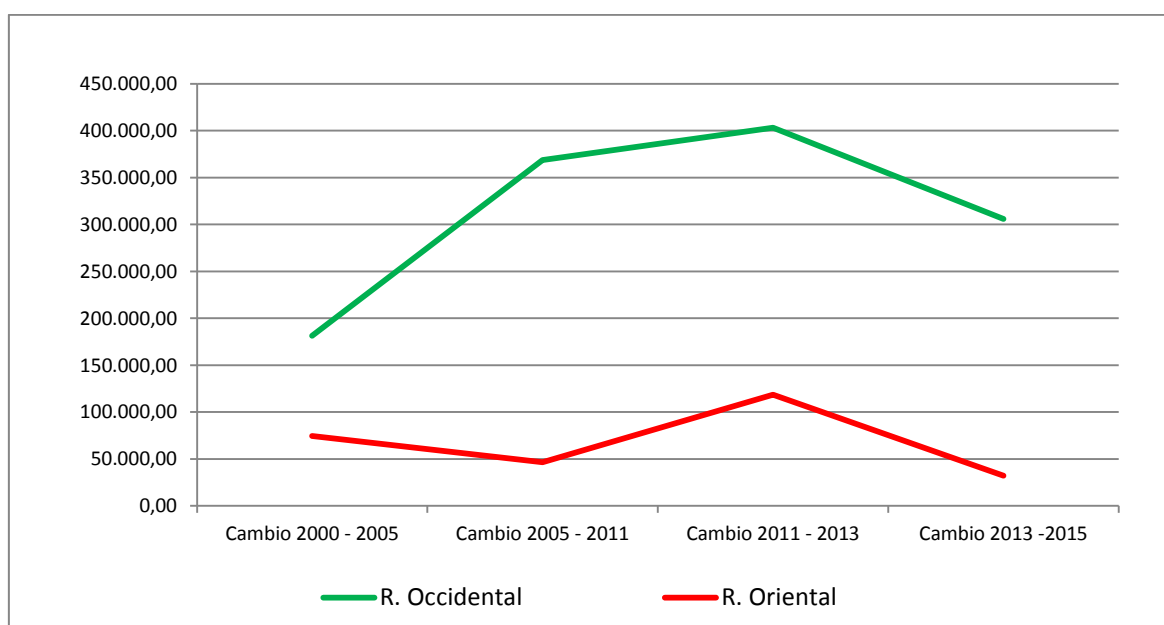


Figura 6. Superficie de conversión de uso promedio (ha/año) por región del país, y para cada período de tiempo analizado. Fuente: PNC ONU REDD+ (2015a).

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 2.5 y 2.6 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).

Metodología empleada

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

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

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

Dónde:

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

Σ= sumatoria

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

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

i: estrato de bosque nativo

t: un año

i: número total de estratos de bosque nativo o categoría de

Observaciones:

Para la construcción de este NREF, los factores de emisión (FE o EF por sus siglas en inglés de *Emission Factors*) para un estrato de bosque nativo específico no difieren en el tiempo y en el espacio, porque se asume que el contenido de carbono promedio de los bosques maduros es constante.

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

carbono de cero, luego de la deforestación del bosque. Este es el método más conservador y simple para calcular los factores de emisión.

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

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

La siguiente tabla detalla las emisiones anualizadas y el total de las emisiones al año de CO₂ – equivalente, por estrato de bosque nativo.

Tabla 10. Emisiones anualizadas de CO₂ –eq (en toneladas) para cada estrato de bosque nativo, por deforestación bruta.

Año	Período de análisis considerado	B. Húmedo de la Región Oriental (BHRO)	B. Seco Chaqueño (BSC)	B. Sub Húmedo del Cerrado (BSHC)	B. Sub Húmedo Inundable del Río Paraguay (BSHIRP)	Total emisiones CO ₂ tn/año
1	2000 - 2001	26.358.201,87	17.039.748,35	293.925,95	10.073.625,30	53.765.501,47
2	2001 - 2002	26.358.201,87	17.039.748,35	293.925,95	10.073.625,30	53.765.501,47
3	2002 - 2003	26.358.201,87	17.039.748,35	293.925,95	10.073.625,30	53.765.501,47
4	2003 - 2004	26.358.201,87	17.039.748,35	293.925,95	10.073.625,30	53.765.501,47
5	2004 - 2005	26.358.201,87	17.039.748,35	293.925,95	10.073.625,30	53.765.501,47
6	2005 - 2006	10.030.242,42	33.870.283,77	593.217,30	15.856.511,28	60.350.254,78
7	2006 - 2007	10.030.242,42	33.870.283,77	593.217,30	15.856.511,28	60.350.254,78
8	2007 - 2008	10.030.242,42	33.870.283,77	593.217,30	15.856.511,28	60.350.254,78
9	2008 - 2009	10.030.242,42	33.870.283,77	593.217,30	15.856.511,28	60.350.254,78
10	2009 - 2010	10.030.242,42	33.870.283,77	593.217,30	15.856.511,28	60.350.254,78
11	2010 - 2011	10.030.242,42	33.870.283,77	593.217,30	15.856.511,28	60.350.254,78
12	2011 - 2012	9.104.727,09	40.512.900,91	935.352,99	29.527.142,57	80.080.123,56
13	2012 - 2013	9.104.727,09	40.512.900,91	935.352,99	29.527.142,57	80.080.123,56
14	2013 - 2014	6.176.723,73	33.683.290,07	191.170,77	5.129.494,93	45.180.679,50
15	2014 - 2015	6.176.723,73	33.683.290,07	191.170,77	5.129.494,93	45.180.679,50

Fuente: PNC ONU REDD+ (2015a y b)

La superficie total de deforestación bruta del país en el periodo de análisis representa 4.994.077,8 hectáreas, siendo el promedio simple de 332.938,52 ha/año aproximadamente. Esta cifra de deforestación promedio es similar al valor obtenido de 331.904,01 ha/año para el período 2001 – 2014, resultante del análisis realizado para el Paraguay, empleando el Mapa Global de pérdida de cobertura forestal de Hansen et al., (2013). Al respecto, este Mapa Global de alta resolución (30

metros), fue elaborado por un equipo de expertos procedentes de varias instituciones, liderado por Matthew Hansen de la Universidad de Maryland, en colaboración con profesionales de Google Inc., USGS (U. S. Geological Survey), la Universidad Estatal de Dakota del Sur y el Centro de Investigación Woods Hole, entre otros. El proyecto utilizó la capacidad de procesamiento de la plataforma *Google Earth Engine* (GEE), que procesó 650.000 imágenes Landsat de la NASA, para cartografiar la pérdida (loss) y el aumento (gain) en la cobertura de los bosques, de esta forma reporta la deforestación de forma anual a nivel mundial.

Este proceso de deforestación histórica en el país, representa emisiones estimadas de **58.763.376,14 tn de CO₂ –equivalente al año que corresponde al Nivel de referencia del Paraguay**, totalizando 881.450.642,15 toneladas de emisiones totales de CO₂ para el período total de análisis (tabla 10).

En la primera versión de este documento la cifra del NREF era levemente mayor en comparación a ésta última, debido principalmente a la inclusión de nuevas informaciones provenientes del Inventario Forestal Nacional, de las cifras resultantes de la ponderación por superficie realizada para los estratos del Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay y Bosque Palmar, así como de los valores estimados libres de sesgo para las superficies de deforestación conforme resultados de la evaluación de exactitud.

Independientemente de estos datos numéricos, es importante describir la tendencia de estas emisiones en el periodo de estudio. En la figura 7 se observa la tendencia de las emisiones de CO₂ equivalente (tn/año), teniendo en cuenta los valores promedio producto de la anualización de los datos. En la columna vertical se aprecian los valores de las emisiones de CO₂ en toneladas, mientras que la línea horizontal representa el periodo de análisis (2000 – 2001, así sucesivamente hasta el 2014 -2015).

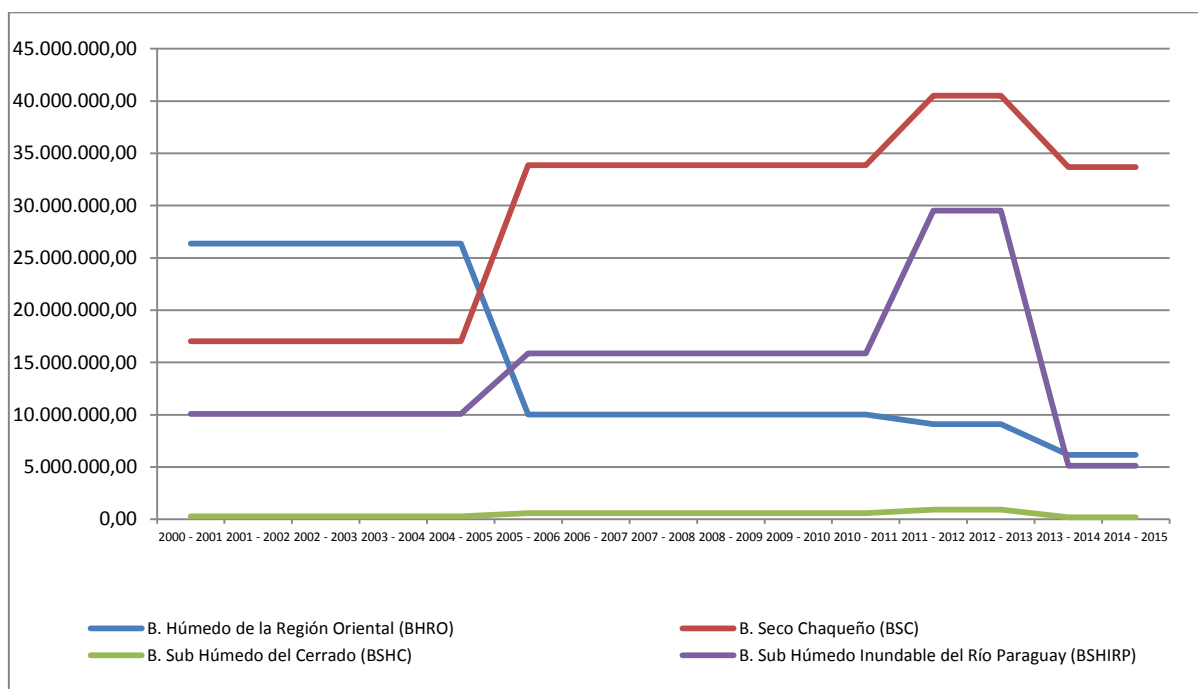


Figura 7. Tendencia de las emisiones de CO₂_eq. en toneladas/año, por estrato de bosque.

En alusión a 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. El cambio de uso que registra este estrato es aproximadamente 4 veces mayor al cambio que se presenta en el Bosque Húmedo de la región Oriental.

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.

En la figura a continuación, se observan las emisiones de CO₂ (tn/año) en el Paraguay, considerando como año 1 al período 2000 – 2001, al año 2 al período 2001 – 2002, y así sucesivamente hasta el año 15 que corresponde al período 2014 – 2015.

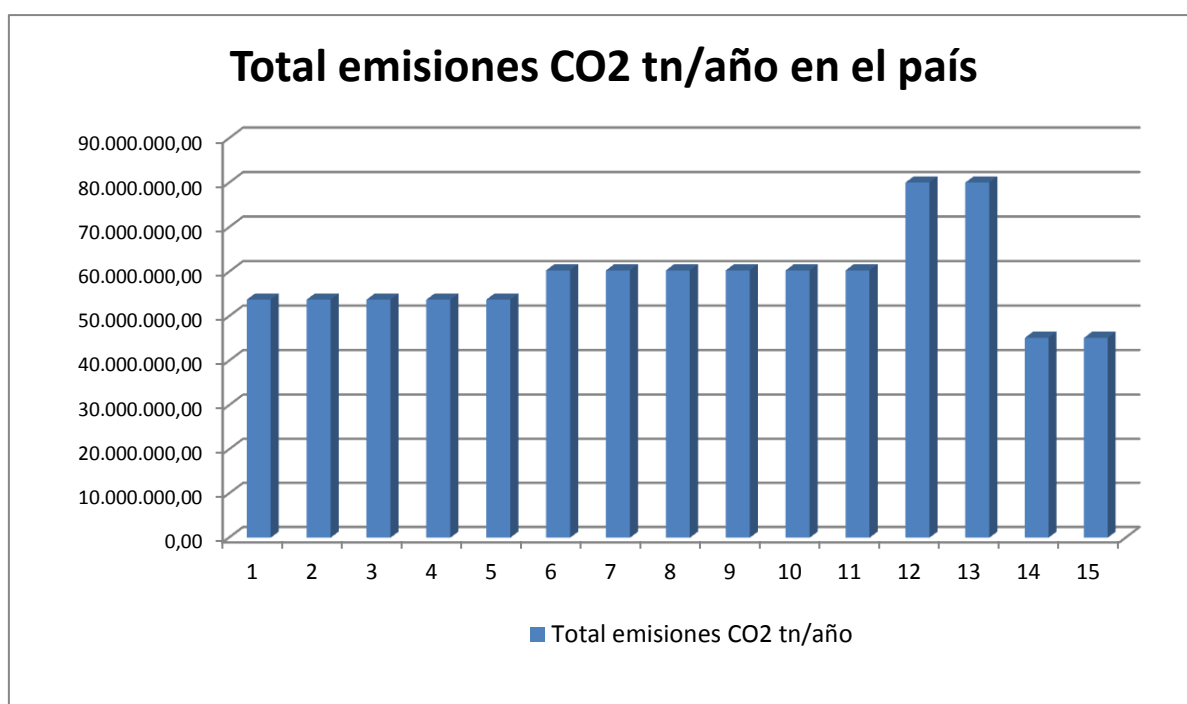


Figura 8. Emisiones totales de CO₂ al año, en el Paraguay.

4. Consideraciones finales: limitaciones y futuras mejoras a implementar

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

Primeramente, es conveniente destacar los esfuerzos que está realizando el país para la implementación de la iniciativa REDD+, en cuanto a mejora de las capacidades institucionales (técnica, logística y en recursos humanos), gracias al apoyo del Programa de las Naciones Unidas ONU REDD+. Mediante este Programa, las instituciones del Gobierno involucradas están desarrollando actualmente, tanto la implementación del primer Inventario Forestal Nacional a nivel país, como así también el Sistema Satelital de Monitoreo Terrestre. Este proceso, inicia con la generación de Mapas de cambio de uso de una serie temporal representativa del proceso histórico de conversión de tierras, empleando una tecnología innovadora y de última generación como lo es la clasificación de imágenes satelitales empleando la plataforma GEE.

Al respecto de las limitaciones actuales y futuras mejoras a implementar, un punto esencial hace referencia a la **definición de bosque** a los efectos REDD+ utilizada para la determinación de este NREF, la cual contempla dos umbrales o unidades mínimas de cobertura, una para cada región natural del país: 10% de cobertura mínima para la región Occidental y 30% para la región Oriental. Sin embargo, como se mencionó en la sección 2.3 y 2.5, restricciones en cuanto a la capacidad del sensor utilizado para el análisis de las distintas coberturas y cambios en el uso/cobertura (Landsat, de resolución espacial media), en la práctica se contempla una cobertura mínima de bosque del 30% (unidad mínima que puede ser identificada).

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

Con relación a la actividad de **“reducción de las emisiones por Degradación de bosque nativo”**, actualmente el Paraguay está en etapa inicial de discusión y análisis de una definición, por lo que se estima prudente no incluir aún ninguna información.

Aún no se puede evaluar su potencial significancia en las emisiones debido a la falta de información suficiente. Para ello primeramente, se deben identificar los insumos disponibles y necesarios para estimar y monitorear la degradación de bosque, como ser informaciones de extracción anual de leña a nivel país y por región, aprovechamiento de bosques, entre otros.

Mejoras a implementar en relación a “datos de actividad”

Específicamente a lo relacionado al estrato del **Bosque Palmar** y teniendo en cuenta las consideraciones especiales mencionadas en la sección 2.4 de Estratificación de bosque nativo; para la cartografía de este tipo de vegetación, actualmente se están analizando las opciones más convenientes para poder contar en breve con informaciones respecto a la superficie de cobertura actual así como de datos históricos de superficie en el país para una serie temporal de análisis. De esta forma se tendrá una visión más precisa de las emisiones de CO₂ asociadas al cambio de este tipo de vegetación de bosque nativo.

También, está pendiente la determinación de la **incertidumbre asociada a los datos de actividad** por estratificación de bosque nativo.

Mejoras a implementar en relación a “factores de emisión”

En referencia a las unidades de muestreo para los estratos de los cuales se tiene **resultados preliminares** está previsto el levantamiento de información en un mayor número de unidades en los próximos meses, con el objetivo de reducir los niveles de incertidumbre en los resultados para los diferentes depósitos y estratos.

La información procedente de 3 unidades de muestreo para el Palmar (BP), se valoró como insuficiente, debido a que fue colectada en una extensión geográfica reducida (en el sur de la región Occidental), es decir se estima que estos resultados no poseen una adecuada representatividad de toda la extensión del Palmar en el territorio del país, puesto que es una formación con mucha variabilidad en cuanto a densidad. Se espera a futuro, colectar información en un número mayor de unidades de muestreo.

También la información de contenido de carbono para el Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay (BSHIRP) procede de escasas unidades de muestreo; por lo que se decidió integrar estos resultados preliminares de biomasa y carbono asociados a los estratos de BSHIRP y Bosque Palmar respectivamente, mediante un proceso de cálculo de promedio ponderado por peso. Esta medida es con el objetivo de evitar sobre -estimaciones al utilizar solo el factor de emisión asociado al Bosque Inundable para todo el estrato (ver sección 2.4 Estratificación de bosque nativo y 2.6 Factores de emisión).

No obstante, se prevé considerar a cada formación como un estrato independiente en futuros cálculos para la determinación de emisiones de GEI, tanto para las actualizaciones del NREF como para otros reportes.

Según lo establecido por la CMNNUC, en la Decisión 12/CP.17 subparagraph (c) del Anexo, cualquier exclusión de depósitos significativos debe ser justificada. En lo que concierne a los resultados del contenido de carbono en el **depósito “suelo”**, como se mencionó en la sección 2.8, se resolvió no incluir en este NREF por los motivos que se explican a continuación.

La medición del carbono en el suelo se realizó en el bosque, es decir, el resultado que reporta el INGEI es el contenido pre-conversión de cobertura, y respecto al contenido de carbono en suelos post-conversión de cobertura, aún no se dispone de esta información por lo que es incierto el grado de variación o cambio en las existencias de este depósito. Es necesario un análisis más amplio en base a resultados de mediciones, para determinar certeramente el contenido final de carbono en las coberturas que se implantan luego de la conversión de bosque nativo. Al respecto el IPCC (2003) menciona que los cambios en el carbono del suelo producto de la conversión de tierra forestales a otras coberturas de uso, se estiman de la diferencia entre el contenido de referencia de carbono en el suelo del bosque y el carbono del suelo contenido en el nuevo uso de la tierra, utilizando un período de transición por defecto de 20 años.

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

En relación a las estimaciones de contenido de carbono para los demás depósitos, como ser detritus, necromasa de madera caída y de árboles muertos, aún están en etapa de ajustes. Se estima además, que no todo el contenido de carbono en detritus se pierde luego de la conversión de uso, debido a residuos presentes en el suelo; de esta manera se asume que al reportar una pérdida total del carbono se estaría incurriendo en una sobre -estimación de las emisiones.

Como medida conservadora, no se incluyeron en el cálculo para determinar el NREF estos resultados, ni como parte de las estimaciones para las emisiones del sector USCUS del INGEI. También, es un tópico a considerar para futuras mejoras.

Considerando las **Ecuaciones alométricas** generadas en el país para obtención de biomasa arriba del suelo y total, a nivel de bioma o zona climática y específicas para la especie *Ceiba chodatii* (Sato *et al.*, 2013 y 2014); los modelos alométricos proveen errores relativamente bajos, pese a que las unidades de muestreo son limitadas, es por ello que sería importante realizar más muestreos destructivos empleando un mayor número de especies nativas y de individuos. El objetivo consiste en mejorar la representatividad de estas ecuaciones generadas a nivel local para los distintos estratos de bosque nativo, teniendo en cuenta su variabilidad y riqueza en especies florísticas.

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

En conclusión, el Gobierno del Paraguay está comprometido firmemente en la continua mejora de las estimaciones de este NREF, en línea con el enfoque gradual permitido. Estas mejoras están sujetas tanto a las capacidades como a las políticas nacionales.

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.
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forest. *FAO Forestry paper*. 134. Forest Resources Assessment Publication, págs 55.
- Cairns, M.; Brown, S.; Helmer, E.H.; Baugardner, G.A. Root biomass allocation in the words upland forest. 1997. *Oecologia* 111:1 -11.
- Chave, J.; Andalo, C.; Brown, S.; Cairns, D.; Chambers, J.; Eamus, D.; Folster, H.; Fromard, F.; Higuchi, N.; Kira, T.; Lescure, P.; Nelson, B.; Ogawa, H.; Puig, H.; Riera, B.; Yamakura, T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Ecologia* 145: 87-99.
- Cochran, W. 1977. *Sampling Techniques*. 3rd edition. New York. 442 p.
- 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). 2002. Captura de Carbono en los Suelos para un Mejor Manejo de la Tierra. Informe sobre los recursos mundiales de suelos N° 66.
- 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). 2014. Emerging approaches to Forest Reference Emission Levels and/or Forest Reference Levels for REDD+. Programa ONU-REDD+. FAO/PNUD/PNUMA. 54 p.
- Food and Agriculture Organizations (FAO). 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.
- Food and Agriculture Organizations (FAO)/Departamento Forestal. 2015c. Evaluación de los recursos forestales mundiales, Informe Nacional, Paraguay. 39 p. Informe proporcionado por INFONA. Sin publicar.
- Global Forest OI (GFOI). 2014. Integración de las observaciones por teledetección y terrestres para estimar las absorciones y emisiones de gases de efecto invernadero en los bosques: Métodos y orientación de la iniciativa Mundial de Observación de los Bosques. Publicación: Grupo de Observación de la Tierra, Ginebra (Suiza). 190 p.
- Gill, E. 2012. Estimación preliminar del stock de Carbono en Bosque Mesoxerófito alto y bajo del Departamento de Alto Paraguay, Chaco. Tesis de Grado. Carrera de Ingeniería Forestal. CIF/FCA/UNA.

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

Guyrá Paraguay. 2015. Ecuación alométrica del Bosque de *Copernicia alba*. En proceso de publicación. sp.

Guyrá Paraguay. World Land Trust. 2012. The Paraguay Forest Conservation Project-Reduction of GHG emissions from deforestation and forest degradation in the Chaco-Pantanal ecosystem. Project description for validation under Verified Carbon Standard (v3). Disponible en: <https://vcsprojectdatabase2.apx.com/myModule/Interactive.asp?Tab=Projects&a=2&i=953&lat=-19%2E425592&lon=-58%2E834586&bp=1>. Consultado el 02 de abril de 2016.

Hansen, M. C., P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S. V. Stehman, S. J. Goetz, T. R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C. O. Justice, and J. R. G. Townshend. 2013. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. Science 342 (15 November): 850–53. Data available on-line from: <http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>

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.

Lubián, A. 2014. Valoración económica de sistemas de producción con inclusión de servicios ecosistémicos en el Bajo Chaco. Tesis de Grado. Carrera de Ingeniería Ambiental. CIAM/FCA/UNA.

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

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

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

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). 2014c. Estudio complementario sobre área representativa para muestreo de carbono en suelo. Informe final de consultoría del especialista en Suelos, Sergio Burgos. S. p.

Programa Nacional Conjunto (ONU-REDD+ Paraguay). 2014d. Procesamiento de datos y análisis estadístico preliminar del componente suelo, en los estratos del Bosque Húmedo de la región Oriental y el Bosque Seco Chaqueño. Informe de consultoría de la Asistente en Estadística Giovanna Da Ponte. S. p.

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

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

Programa Nacional Conjunto (ONU-REDD+ Paraguay). 2015c. Reporte sectorial del INGEI 2005 – 2011 (USCUSS) para el BUR. Octubre 2015. Informe de consultoría. S. p.

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

Programa Nacional Conjunto (ONU-REDD+ Paraguay). 2016a. Informe final de evaluación de exactitud temática del Mapa de cobertura forestal y cambio de uso de la tierra para los años 2000 – 2005 – 2011. 21. SEAM/Coordinación SIG. Mayo 2016. S. p.

Programa Nacional Conjunto (ONU-REDD+ Paraguay). 2016b. Informe final de evaluación de exactitud temática del Mapa de cobertura forestal y cambio de uso de la tierra para los años 2011 – 2013 – 2015. 21. SEAM/Coordinación SIG. Mayo 2016. 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.

Proyecto de Manejo Sustentable de Bosques en el Sistema Transfronterizo del Gran Chaco Americano/Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación/Ministerio de Medio Ambiente y Agua/Secretaría del Ambiente. 2014. Consultoría para la Medición y Monitoreo del Contenido de Carbono en parcelas bajo Manejo Forestal Sustentable y Manejo Sustentable de Tierras, en el Chaco Paraguayo –PAS CHACO. GEF, PNUMA, OEA, PNUD. (S.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 Amazônica (IA). 79 p.

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

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

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

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

Spichiger, R.; Ramella, L.; Palese, R.; Mereles, F. 1991. Proposición de leyenda para cartografía de las formaciones vegetales del Chaco paraguayo. Contribución al estudio de la flora y vegetación del Chaco III. *Candollea* 46 (2) 541-564.

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+.

Wolf, M. 2004. Determinación del factor de expansión de biomasa en un Bosque Mesolítico del Chaco Húmedo en Alto Paraguay. Tesis Ms. Sc.

Anexos

6. ANEXOS

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

1. Mapa de cobertura de Bosque nativo 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 11.
- *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 11. Imágenes satelitales Landsat utilizadas para la elaboración del Mapa de cobertura de bosque nativo año 2011, con su órbita y fecha de toma correspondiente.

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		

Fuente: Programa ONU REDD+ (2014a).

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 pixel 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 pixel 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).

Es importante mencionar que este mapa originalmente poseía una unidad mínima de mapeo (UMM) de 2 hectáreas, debido a las dificultades del procesamiento empleando una unidad menor; es decir el trabajo de depuración y validación se facilitaba enormemente al utilizar un producto que contiene un número menor de polígonos totales.

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

Como se mencionó en la sección 2.4 de Estratificación de bosque nativo, esta formación identificada como Bosque de Palmar (BP) fue incluida como uno de los estratos de bosque nativo por el Inventario Forestal Nacional (IFN), considerando 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, el cual 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 de los posteriores Mapas de cambio de cobertura. Este Mapa de distribución del Palmar 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. Primeramente, al ser incluida esta cobertura en la definición de bosque, un geo-intérprete procedió a realizar su mapeamiento en el año 2013; empleando para tal proceso su amplio conocimiento de campo e identificando áreas de densidades medias y bajas (difíciles de reconocer empleando técnicas automatizadas para imágenes de mediana resolución como Landsat). El resultado fue un producto prácticamente difícil de replicar para otros años o períodos de análisis, dado el conocimiento de campo requerido. Por lo que posteriormente, se procedió a depurar o editar las áreas que no eran capaces de ser identificadas por otros intérpretes al utilizar las mismas imágenes satelitales (Ver sección 3.1 de este mismo Anexo, en las páginas siguientes).

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 Cubierta 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.

La unidad mínima de mapeo (UMM) también fue de 2 hectáreas, por las mismas razones mencionadas en el apartado 1 de este mismo Anexo I.

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 este 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+, fueron elaborados los Mapa de cambios de uso de la tierra del Paraguay para el periodo 2000 – 2005 – 2011 y para el 2011 – 2013 - 2015. 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, que fue 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).

En este punto, es importante mencionar que para la construcción del Nivel de Referencia de las emisiones forestales, fue excluida la cobertura de Plantaciones Forestales, mediante operaciones de geo procesamiento. La omisión de esta cobertura para las estimaciones de las emisiones por áreas deforestadas, es con el objetivo de asegurar la consistencia con la definición de bosque utilizada a los efectos de REDD+, ya que la misma no contempla este tipo de cobertura.

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.

Además de la plataforma *Google Earth Engine Beta* (GEE) para el procesamiento de imágenes y la clasificación supervisada; se empleó *Monteverdi2* (software libre) para la segmentación; el software *ENVI 5.0* para la generación de mosaicos multibandas de las imágenes satelitales *Landsat* a nivel país y además los softwares *Quantum GIS 2.12* (libre) y *ARCGIS 10.1* para la corrección manual de la clasificación, el manejo de bases de datos geoespaciales y el diseño de impresión de los mapas finales.

Las imágenes utilizadas son las *Landsat 5 TM* y *Landsat 8 OLI*. Al respecto, el satélite *Landsat 5* monta los sensores *TM12* (Thematic Mapper) y *MSS13* (Multi Spectral System) con una resolución temporal de 16 días. El sensor *TM* ofrece imágenes multibanda de 7 bandas con resolución de 30 metros en las bandas del visible e infrarrojo medio y 120 metros en la banda del infrarrojo termal. El mismo cuenta con una resolución radiométrica equivalente a 8 bits lo que supone 256 niveles de gris. Las imágenes tienen un tamaño de 185 x 172 km (Olaya 2011). El mismo ha estado operativo desde 1984 hasta mediados del año 2012, convirtiéndose en el satélite de observación Terrestre operativo más longevo. Las principales características del *Landsat 5* se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 12. Características de *Landsat 5 TM*

Bandas	Longitud de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
Banda 1 - Azul	0.45 - 0.52	30
Banda 2 - Verde	0.52 - 0.60	30
Banda 3 - Rojo	0.63 - 0.69	30
Banda 4 – Infrarrojo cercano 1	0.76 - 0.90	30
Banda 5 - Infrarrojo cercano 2	1.55 - 1.75	30
Banda 6 - Infrarrojo medio	10.4 – 12.5	120
Banda 7 - Infrarrojo térmico	2.08 - 2.35	30

Fuente: USGS (2013).

En relación a las imágenes *Landsat 8 OLI*, en la actualidad el programa se encuentra en su octava versión denominada: “*Landsat Data Continuity Mission*” (LDCM) es el octavo satélite de observación de la serie *Landsat*. El *Landsat 8* cuenta con dos de sensores de observación terrestre, el primero de ellos denominado *Operational Land Imager* (OLI) y el sensor térmico infrarrojo *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). OLI y TIRS recogerán datos de forma conjunta para proporcionar imágenes coincidentes de la superficie terrestre, incluyendo las regiones costeras, hielo polar, las islas y las zonas continentales.

El *Landsat* fue puesto en órbita el 11 de febrero del 2013 y tiene una vida útil de 5 años, pero lleva suficiente combustible para 10 años de operaciones. La nave orbita de norte a al sur durante el día, cruzando el ecuador a las 10 a.m., hora local, con una órbita aproximada de unas 438 millas (705 kilómetros) por encima de la Tierra (USGS. 2013). Posee una órbita heliosíncrona y una resolución temporal de 16 días. El mismo cuenta con una resolución radiométrica equivalente a 16 bits.

Las imágenes Landsat 8 constan de nueve bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros para las bandas del 1 a 7 y 9. Una banda nueva (banda 1 azul profundo) es útil para estudios costeros y aerosoles, así como la nueva banda 9 es útil para la detección de cirrus. La resolución para la banda 8 (pancromática) es de 15 metros. Dos bandas térmicas 10 y 11 son útiles para proporcionar temperaturas más precisas de la superficie y se toman a 100 metros de resolución (véase tabla 13). El tamaño aproximado de la escena es de 170 km de norte-sur por 183 kilómetros de este a oeste (106 km por 114 km).

Tabla 13. Características de las imágenes Landsat 8 OLI.

Bandas	Longitud de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
Banda 1 - Aerosol costero	0.43 - 0.45	30
Banda 2 Azul	0.45 - 0.51	30
Banda 3 - Verde	0.53 - 0.59	30
Banda 4 - Rojo	0.64 - 0.67	30
Banda5 – Infrarrojo cercano (NIR)	0.85 - 0.88	30
Banda 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
Banda 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
Banda 8 - Pancromático	0.50 - 0.68	15
Banda 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
*Banda 10 – Infrarrojo térmico (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
*Banda 11 - Infrarrojo térmico (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100

*Las bandas TIRS se adquieren a una resolución de 100 metros, pero se vuelven a remuestrear a 30 metros. Fuente: USGS (2013).

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 la metodología original que fue utilizada anteriormente, para futuros Mapas de esta misma formación. La metodología original para su generación se basó fundamentalmente en el conocimiento de campo del analista, es decir las áreas de Palmar (principalmente a densidades medias y bajas) fueron identificadas gracias a una interpretación visual. Además, mediante esta depuración y corrección, se redujo la unidad mínima de mapeo a 1 hectárea.

Las consideraciones importantes respecto a las particularidades de esta formación y sus limitaciones para cartografiarla, se encuentran en la sección 2.4 de Estratificación de bosque nativo.

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 cumplían 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.

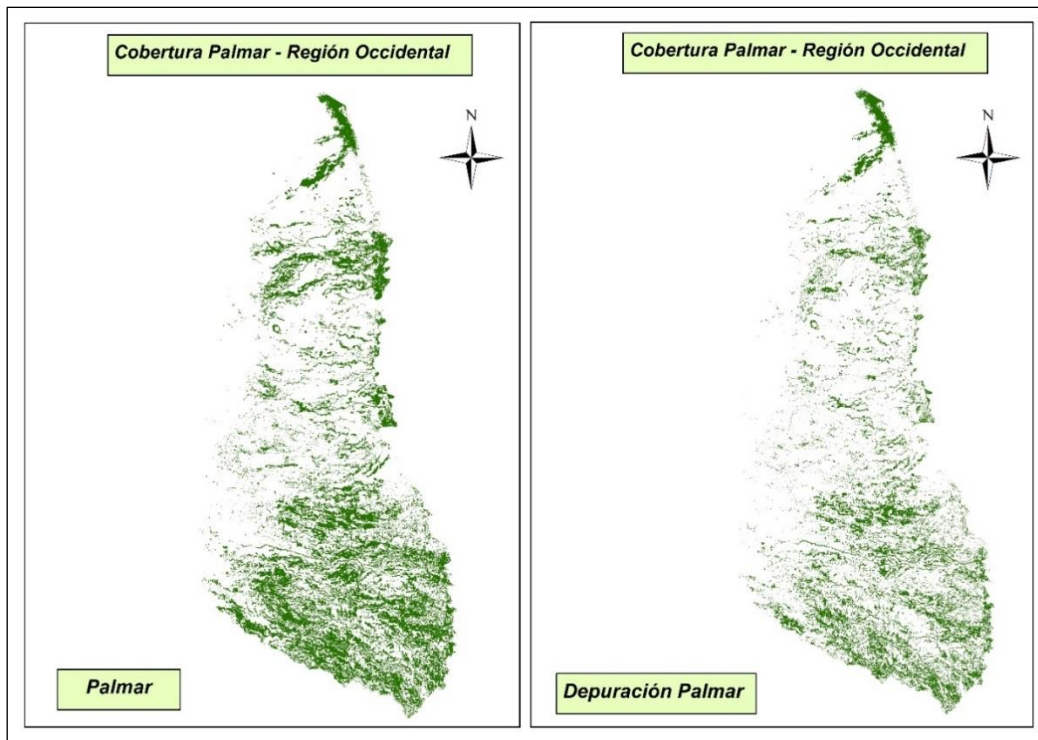


Figura 9. Cobertura de Bosque Palmar del año 2011 en la Región Occidental (izquierda: original, derecha: posterior a la depuración).

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*, ésta se incluyó a la cobertura de *Bosque Nativo*; 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 y utilizado para la construcción del Nivel de Referencia, corresponde a la versión final de los Mapas de cambios (no incluye las Plantaciones Forestales), 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 14. 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	5. Bosque estable
2. No bosque estable	6. No bosque estable
3. Cambios 2000-2005	7. Cambios 2011-2013
4. Cambios 2005-2011	8. Cambios 2013-2015

Al respecto, el algoritmo de árboles de clasificación multivariantes *CART* (*Classification and Regression Tree* por sus siglas en inglés), es un método no-paramétrico de segmentación binaria donde el árbol es construido dividiendo repetidamente los datos. En cada división los datos son partidos en dos grupos mutuamente excluyentes. El nodo inicial es llamado nodo raíz o grupo madre y se divide en dos grupos hijos o nodos, luego el procedimiento de partición es aplicado a cada grupo hijo por separado. Las divisiones se seleccionan de modo que “la impureza” de los hijos sea menor que la del grupo madre y estas están definidas por un valor de una variable explicativa (Deconinck et al. 2006 citado por Serna 2009).

Como se observa, para este Mapa se clasificó una sola cobertura forestal con la nomenclatura de Bosque Estable. Ésta a su vez, incluye el estrato de Bosque Palmar; es decir, la misma no se encuentra diferenciada o caracterizada como cobertura propia y consecuentemente no se contabilizan los cambios ocurridos en esta formación.

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.

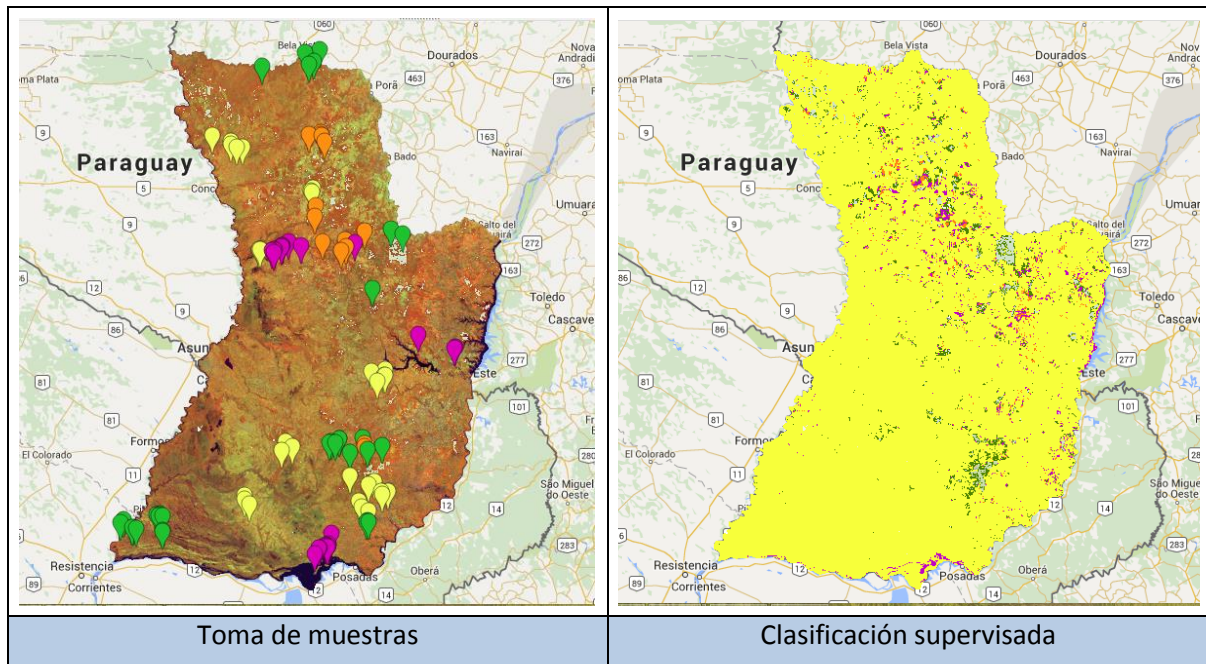


Figura 10. Ejemplo de puntos de entrenamiento dentro de la máscara de no bosque y clasificación supervisada CART en Google Earth Engine para la Región Oriental.

- **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 15 y 16). Se efectuó la descarga de estos mosaicos, utilizando la misma grilla mencionada anteriormente (Figura 11), ya que cada fracción corresponde al tamaño máximo admisible. También se procedió a descargar la clasificación de GEE obtenido en el paso anterior (ambos en formato ráster .tif).

Cabe mencionar también, que los archivos en formato vectorial utilizados corresponden al año 2012 y fueron proveídos por la Dirección de Encuestas Estadísticas y Censos (DGEEC). Fueron empleados tanto para delimitar las regiones como apoyo y referencia en el momento de realizar la edición visual, los mismos se citan a continuación:

- Región Occidental y Oriental y sus respectivos departamentos, distritos y ciudades;
- Recursos hídricos;
- Curvas de nivel;
- Rutas y caminos.

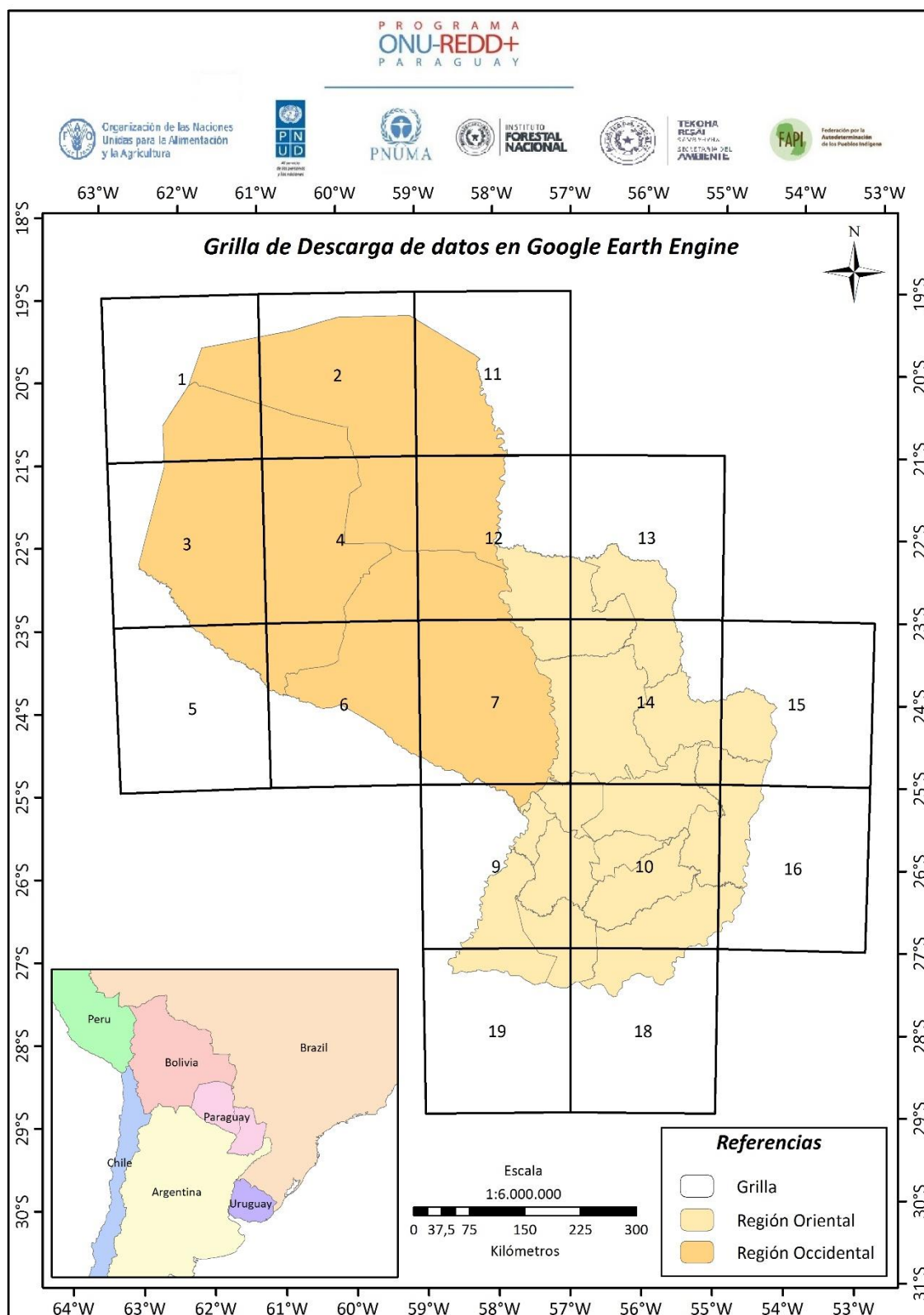


Figura 11. Grilla de 2 x 2 grados para descarga de imágenes de GEE. Fuente: PNC ONU REDD+ (2015b)

Tabla 15. Imágenes Landsat utilizadas periodo 2000 – 2005 - 2011.

Región Occidental					
Satélite	Sensor	Colección en GEE	Año	Rango de Fechas	Bandas
Landsat 5	MMS/TM	USGS Landsat 5 Raw Scenes (Orthorectified)	2000	Enero a agosto	4,5,3
			2005	Abril a agosto	
			2011	Setiembre a octubre	
Región Oriental					
Landsat 5	MMS/TM	USGS Landsat 5 Raw Scenes (Orthorectified)	2000	Mayo a octubre	4,5,3
			2005	Abril a agosto	
			2011	Julio a octubre	

Fuente: PNC ONU REDD+ (2015a).

Tabla 16. Imágenes Landsat utilizadas periodo 2011 – 2013 - 2015.

Región Occidental					
Satélite	Sensor	Colección en GEE	Año	Rango de Fechas	Bandas
Landsat 5	MMS/TM	USGS Landsat 5 Raw Scenes (Orthorectified)	2011	Setiembre a octubre	4,5,3
			2013	Julio a octubre	
Landsat 8	OLI/TIRS	USGS Landsat 8 Raw Scenes (Orthorectified)	2015	Julio a agosto	5,6,4
Región Oriental					
Landsat 5	MMS/TM	USGS Landsat 5 Raw Scenes (Orthorectified)	2011	Julio a octubre	4,5,3
			2013	Junio a setiembre	
Landsat 8	OLI/TIRS	USGS Landsat 8 Raw Scenes (Orthorectified)	2015	Abril a agosto	5,6,4

Fuente: PNC ONU REDD+ (2015a).

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.

Se calculó un valor de similitud de nubes para cada píxel basándose en el brillo, la temperatura y el valor de NDSI (Índice Normalizado de Nieve). Para el porcentaje máximo de nubes aceptado por píxel, se asignó un valor de 10. El script calculó el percentil de los valores de reflectancia de los píxeles restantes y utilizó el píxel con valor de percentil 50, el cual fue definido para componer cada banda.

El pre-procesamiento de imágenes fue realizado para cada mosaico de cada año analizado (2000 - 2005 – 2011 – 2013 - 2015) y por último fueron unidos con un script generando así un mosaico final único de 9 bandas para los dos periodos, usando las 3 bandas ya mencionadas en las tablas 15 y 16.

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 paso, 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.

En relación a la unidad mínima, como se mencionó en los apartados anteriores de este mismo Anexo, los mapas del año base 2011 (cobertura forestal nativa original y de distribución del Palmar) fueron generados considerando una unidad mínima de 2 hectáreas; sin embargo al incluir estos mapas base para generar los mapas de cambio, se realizó una depuración por segmentación y se logró reducir la unidad mínima a 1 hectárea que es la que corresponde a los mapas finales resultantes.

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 el software libre Quantum Gis para este propósito del cálculo de mayoría por segmentos. 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.

Edición visual: Los resultados obtenidos en el paso anterior fueron editados por medio de un análisis visual, utilizando de base la imagen satelital de modo a detectar algún error en los cálculos estadísticos. Se procedió a la modificación de la tabla de atributos del archivo cambiando segmentos a las clases correspondientes mencionadas en la tabla 14.

Finalmente se generaron los mapas de la cobertura forestal para cada año seleccionado, cuyo proceso de obtención se detalla a continuación:

- a) Año 2000: A la Cobertura forestal del año 2011 se le ha adicionado la superficie de cambios que se produjeron en la misma durante los años 2000 - 2005 y 2005 - 2011.
- b) Año 2005: A la Cobertura forestal del año 2011 se le ha adicionado la superficie de cambios que se produjeron en la misma durante los años 2005 y 2011.
- c) Año 2011: Luego de la clasificación obtenida en *Google Earth Engine* se localizó superficie adicional de bosque en la Región Oriental, que se encontraba fuera de la capa de Cobertura forestal año 2011 (realizada en el marco del PNC ONU REDD+). Dicha superficie fue incluida a la capa formando una nueva Cobertura forestal para el año 2011, la cual fue utilizada para los siguientes trabajos. En la Región Occidental no se realizó dicho proceso debido a que no se encontró superficie de bosque adicional.
- d) Año 2013: Al bosque estable del año 2015 se le ha adicionado la superficie de cambios que se produjeron en la misma durante los años 2011 - 2013.
- e) Año 2015: se utilizó el bosque estable obtenido del mapa de Cambios 2011 – 2013 - 2015.

Unión regional: 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, para componer un Mapa de cambios de uso de la tierra. El mismo fue realizado mediante la utilización del diseñador de impresión del software ARCGIS 10.1.

Por último, Previamente a la evaluación de exactitud se procedió a la validación mediante imágenes de alta resolución de *Google Earth* y *Bing Maps* de Nokia, para el control de calidad de los mapas. Así también fueron utilizadas dichas imágenes como referencia en el momento de la toma de muestras de entrenamiento y para la edición visual.

Específicamente para el Mapa del período 2011 – 2013 – 2015, se han generado dos máscaras en formato ráster de:

- Cobertura forestal del año 2011 y;
- *No Bosque*: que contiene a las 3 clases de No Bosque estable del año 2011, Cambio 2000 - 2005 y Cambio 2005 - 2011 obtenidos del Mapa de Cambio de Uso de la Tierra del periodo 2000 - 2005 - 2011.

La máscara de *No Bosque* fue utilizada para asignarla a la clase de *No bosque estable* para el Mapa de Cambios 2011-2013-2015 y la máscara de *Cobertura forestal* del año 2011 fue la utilizada para la clasificación mediante el algoritmo CART, sobre la cual se realizó la selección de los puntos de entrenamiento o muestras para la clasificación de las siguientes 3 clases:

- *Bosque estable*: siendo las tierras forestales que siguen siendo tierras forestales a la fecha.
- *Cambios 2011 - 2013*: tierras forestales que han cambiado a otro uso en el periodo 2011 - 2013.
- *Cambios 2013 - 2015*: tierras forestales que han cambiado a otro uso en el periodo 2013 - 2015.

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 cambio de uso de la tierra del período 2000 – 2005 – 2011 arrojó un valor de **88,16%** de exactitud global que considera la superficie en hectáreas de las clases por estrato. Mientras que para el Mapa de cambio de uso de la tierra del período 2011 – 2013 – 2015, el resultado fue de **89,23%** de exactitud global (teniendo en cuenta la superficie de las clases en hectáreas). Para más información al respecto, ver documentos Anexos de los Informes finales de la evaluación de exactitud temática (PNC ONU REDD+, 2016a y b).

Este proceso de validación oficial que culminó en el mes de mayo del año 2016, realizó 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, estos cálculos de determinación de la exactitud de ambos mapas se realizaron mediante un “muestreo probabilístico estratificado”. Este método consiste en considerar categorías típicas diferentes entre sí (estratos) que poseen gran homogeneidad respecto a alguna característica. Lo que se pretende con este tipo de muestreo es asegurarse de que todos los estratos de interés estarán representados adecuadamente en la muestra. Cada estrato funciona independientemente, pudiendo aplicarse dentro de ellos el muestreo aleatorio simple.

Es decir, se especifica la incertidumbre asociada a la identificación de las categorías de cobertura que corresponden a cada uno de los tipos de formación boscosa (estratos) 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).

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

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 100 muestras por categoría, debido a la heterogeneidad que presentan los datos. Teniendo en cuenta este enfoque, se estableció finalmente una cantidad de muestras específicas, para cada tipo de estrato de bosque y para cada una de las categorías o clases: Bosque estable, No bosque estable y de cambio 2000 – 2005, cambio 2005 – 2011, cambio 2011 – 2013 y cambio 2013 - 2015 (con el objetivo de evitar una sub representación de las mismas); totalizando 1985 muestras para todo el Mapa.

El tamaño de la muestra suele ser inexacto ya que su cálculo depende de la exactitud y el área de las clases y esta información suele estimarse para alcanzar valores por aproximación. Para el efecto se utilizó la fórmula de Cochran (1977):

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

W_i : peso del estrato

S_i : error estándar del estrato i ; se estima como $\sqrt{p_i(1 - p_i)}$

Dónde:

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

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

Observación.:

- Para que la muestra sea representativa, se debe medir el total de la población.
- Como no conocemos la exactitud del usuario, se estima un valor para cada estrato.
- Se recomienda utilizar un mínimo de 100 muestras por estrato.
- Para los estratos correspondientes a cambios se utilizó un único valor de 100 muestras, debido a que podrían quedar sub representadas.
- Para los estratos correspondientes a Bosque Estable y No Bosque Estable, se considera el porcentaje según la superficie que ocupa cada estrato.

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

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

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

En la siguiente tabla, se detalla el número de muestras que corresponden a cada una de las 4 categorías para cada uno de los estratos correspondientes (igual cantidad para ambos mapas):

Tabla 17. Cantidad de muestras por clase y estrato de bosque nativo

Estrato de bosque	Clase por estrato	Número de muestras
Bosque Seco Chaqueño (BSCH)	Bosque estable	206
	No bosque estable	155
	Cambio 00 - 05/11 - 13	100
	Cambio 05 - 11/13 - 15	100
Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay (BSHIRP)	Bosque estable	140
	No bosque estable	164
	Cambio 00 - 05/11 - 13	100
	Cambio 05 - 11/13 - 15	100
Bosque Sub Húmedo del Cerrado (BSHC)	Bosque estable	102
	No bosque estable	102
	Cambio 00 - 05/11 - 13	100
	Cambio 05 - 11/13 - 15	100
Bosque Húmedo de la Región Oriental (BHRO)	Bosque estable	121
	No bosque estable	195
	Cambio 00 - 05/11 - 13	100
	Cambio 05 - 11/13 - 15	100

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 18, 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 18. 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}/S_a
- Exactitud del usuario: S_{11}/S_e

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 19. Modelo de Matriz de superficie ponderada.

Datos de Referencia					
Categoría	1	2	3	4	Total
1	S_{1a}	S_{1b}	S_{1c}	S_{1d}	Se
2	S_{2a}	S_{2b}	S_{2c}	S_{2d}	Sf
3	S_{3a}	S_{3b}	S_{3c}	S_{3d}	Sg
4	S_{4a}	S_{4b}	S_{4c}	S_{4d}	Sh
Total Superficie	Sa	Sb	Sc	Sd	Si

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

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

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

Básicamente, el procedimiento se resume de la siguiente forma:

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

Finalmente, se determina:

La **exactitud global**, que corresponde al cociente entre la superficie total de los segmentos muestreados, y cuya categoría en los datos de referencia coincide con la del mapa, y el total de la superficie muestreada. Elevados valores de esta relación indican, en general, un alto nivel de concordancia del mapa con la realidad. Por tratarse de una medida global y única de la cartografía, se ha generalizado su uso como primer indicador de calidad de los mapas.

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

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

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

Estas cifras estimadas (ponderadas) resultantes de la evaluación de exactitud son las empleadas para la construcción del NREF. Comparando la cifra original de deforestación total reportada en la primera versión de este documento (debido a que aún no había finalizado este proceso de evaluación), el valor libre de sesgo resultante es ligeramente inferior; es decir, se produjo una sobrestimación en la determinación de las superficies de cambio de cobertura durante el proceso de generación de los mapas. Asimismo, estos valores de exactitud por categoría y período de análisis resultantes del proceso, permitieron la corrección de las cifras originales mediante la estimación o ponderación por superficie, de las mismas. Para más detalles ver documentos de Evaluación de exactitud temática del Mapa de cobertura forestal y cambio de uso de la tierra para los años 2000 – 2005 – 2011 y 2011 – 2013 – 2015 (Programa Nacional Conjunto, 2016a y b).

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, tanto para el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero - INGEI (sector Uso de Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura - USCUS) y para la construcción del Nivel de Referencia de las emisiones forestales del país (NREF), los factores de emisión para todas las actividades y categorías en REDD+ se representan en unidades de 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 todos los estratos de Bosque Húmedo de la Región Oriental, Bosque Seco Chaqueño, Bosque Sub Húmedo del Cerrado y Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay.

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 IBA 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 (INGEI), los Reportes o Informaciones Bianuales Actualizados (IBA) 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 y tamaño de las unidades muestrales (UM) determinadas por el IFN para los estratos para la recolección de datos con el propósito de determinar el contenido de biomasa en tierras forestales, se puede observar en la Tabla 17. El detalle consiste en 45 unidades de muestreo (parcelas) para el Bosque Húmedo de la Región Oriental (BHRO), 30 para Bosque Sub Húmedo del Cerrado (BSHC), en tanto para el Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay (BSHIRP) corresponden a 4; mientras que para el Bosque Seco del Chaco (BSCH) y el Bosque Palmer (BP) las unidades de muestreo consistieron en conglomerados, cada uno con 3 parcelas. Ver figuras 12, 13 y 14.

Considerando el “sotobosque” del Bosque Seco del Chaco (BSCH) y Bosque Sub Húmedo del Cerrado (BSHC), se consideraron una cantidad menor de unidades muestrales, consistentes en 109 parcelas y 16 respectivamente. Mientras que para Biomasa arriba y Biomasa debajo del suelo se consideraron 117 parcelas (39 conglomerados) y 30 unidades de muestreo, teniendo en cuenta los mismos estratos.

En relación a la cantidad de unidades muestrales en las cuales se levantaron información del “sotobosque” de los estratos restantes: BHRO, BSHIRP y BP, consisten en las mismas unidades muestrales que fueron consideradas para Biomasa arriba y debajo del suelo. El detalle se encuentra en la sección 2.6.2 Compilación de datos de campo.

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

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 20. Cantidad de unidades muestrales establecidas por el IFN por tipo de bosque.

Tipo de bosque (estrato) del IFN	Unidades muestrales (para AGB y BGB)	Tamaño de las parcelas
Bosque Húmedo de la Región Oriental	45	60 x 60 m (0,36 ha)
Bosque Seco del Chaco	39*	60 x 60 m (0,36 ha)
Bosque sub húmedo del Cerrado	30	60 x 60 m (0,36 ha)
Bosque sub húmedo inundable del río Paraguay	4	60 x 60 m (0,36 ha)
Bosque Palmar	3*	40 x 40 m (0,16 ha)
Total de unidades muestrales	121	

**Obs: considerando tres parcelas por conglomerado, para el Bosque Seco del Chaco corresponden a 117 parcelas en total, y para el Bosque Palmar 9 parcelas. Para el sotobosque, el procesamiento de datos corresponde a 109 parcelas para el BSCH y 16 parcelas para el BSHC. Para los estratos restantes, se consideró el mismo número de unidades de muestreo para Biomasa arriba del suelo, Biomasa debajo del suelo y sotobosque.*

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

No obstante, mediante este primer levantamiento de datos por parte del IFN, se han identificado este tipo de situaciones y serán incluidas las modificaciones correspondientes en una nueva versión del Manual de campo para el monitoreo permanente, así como también en las planillas de campo, en las cuales se solicitan especificar el motivo de la no aplicación de una parcela, solicitando informaciones adicionales como apoyo (imágenes fotográficas, como ejemplo).

De acuerdo al Manual mencionado, el levantamiento de las variables de medición consta de dos fases: en primer lugar se ha establecido una grilla de muestreo de 1 x 1 km superpuesta a los 6 estratos de bosques definidos para el país (Figura 12). Luego, en la segunda fase dentro de cada estrato se seleccionó al azar las unidades de muestreo.

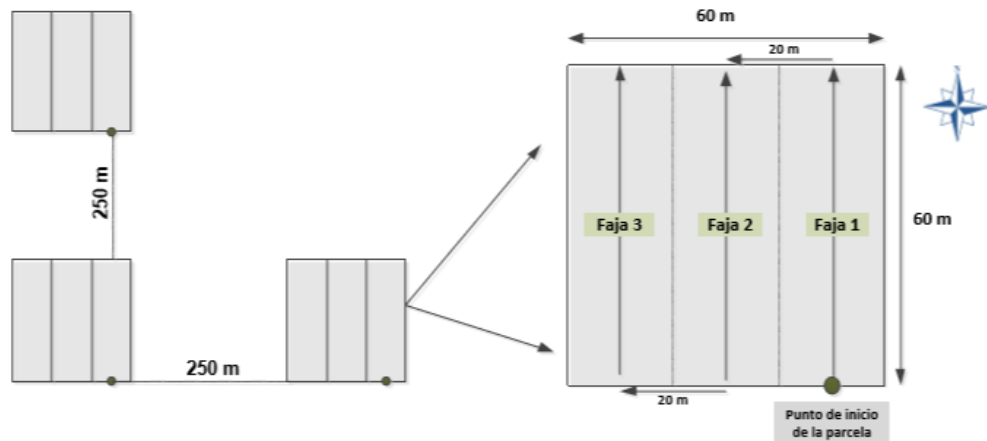


Figura 13. Conglomerado utilizado por el IFN para el Bosque Seco Chaqueño.
Fuente: Manual de campo del IFN (FAO, 2015a).

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 14.

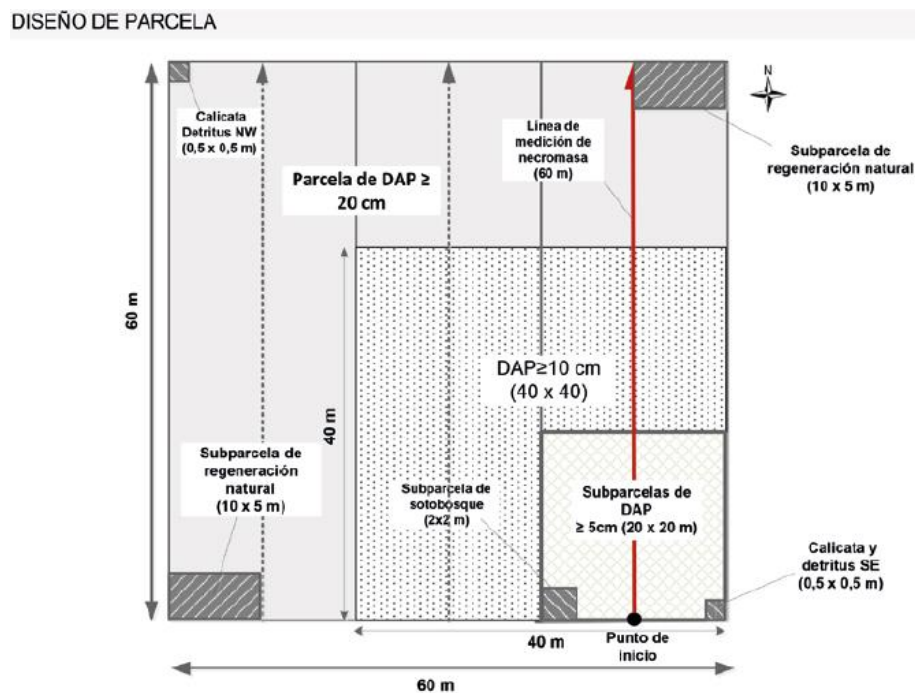


Figura 14. Estructura de la parcela de 60 x 60 m establecida por el IFN.
Fuente: Manual de campo del IFN (FAO, 2015a).

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 15 más abajo). Esta área fue considerada preliminarmente como suficiente para recoger la variabilidad con relación a la composición florística y estructura (FAO, 2015a).

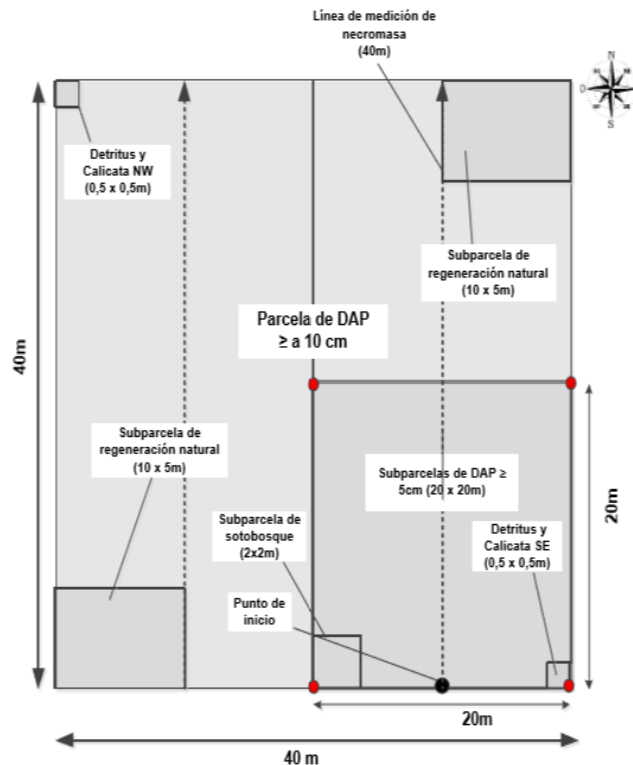


Figura 15. Estructura de la parcela 40 x 40 m establecida por el IFN.
Fuente: Manual de campo del IFN (FAO, 2015a)

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

IV- Procesamiento de datos del IFN

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

Este proceso se detalla a continuación:

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

Para la estimación de la biomasa aérea y biomasa viva total (incluyendo biomasa bajo el suelo) fueron utilizadas principalmente las ecuaciones alométricas generadas en el país por Sato *et al.*, 2013 y 2014. Las mismas fueron concebidas a través de un trabajo conjunto y de cooperación desarrollado por el proyecto “Desarrollo de metodologías de monitoreo de carbono almacenado en los bosques para REDD+ en Paraguay”, ejecutado por el *Forestry and Forest Products Research Institute* del Japón (FFPRI), la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción (FCA-UNA), el Instituto Forestal Nacional (INFONA) y la Secretaría del Ambiente (SEAM).

Para el caso del Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay (BSHIRP), además de la ecuación de Sato *et al.*, (2013) para obtención de Biomasa aérea, también se empleó la ecuación para la zona climática de Bosque Húmedo generada por Brown (1997) para árboles con DAP mayor a 10 cm. El empleo de esta ecuación adicional para Biomasa aérea y un coeficiente de 1,3199 aplicado a la misma para obtención de Biomasa viva total, se debe a que al emplear la ecuación generada localmente (Sato *et al.*, 2013) a individuos con DAP mayores a 10 cm. se obtenían valores muy altos, por lo que se optó por el empleo de la ecuación de Brown a fin de que el resultado sea más conservador.

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

En relación al Bosque Palmar (BP), para la obtención de Biomasa aérea se empleó una ecuación alométrica generada en el país para la especie característica principal *Copernicia alba* (Guyrá Paraguay, 2015). Mientras que para la obtención de Biomasa viva total se utilizó una ecuación para Palmas de alto porte (>10 m de altura), desarrollada para los trópicos por Pearson *et al.* (2005).

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

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

Tabla 21. Ecuaciones alométricas aplicadas para la determinación de la biomasa para cada estrato de bosque nativo

Estrato de Bosque	Ecuación	R ²	Unidad	Autores/Lugar
BHRO	$B \text{ aérea} = 0,0405 * (DAP^2 \cdot Ht)^{0,9668}$	0,97	B aérea (kg) DAP (cm) Ht (m)	Sato et al. (2013) Paraguay
BHRO	$B \text{ total} = 0,0505 * (DAP^2 \cdot Ht)^{0,9564}$	0,97	B total (kg) DAP (cm) Ht (m)	Sato et al. (2013) Paraguay
BSCH	$B \text{ aérea} = 0,2147 * (DAP^2 \cdot Ht)^{0,8391}$	0,96	B aérea (kg) DAP (cm) Ht (m)	Sato et al. (2013) Paraguay
BSCH	$B \text{ total} = 0,2733 * (DAP^2 \cdot Ht)^{0,8379}$	0,96	B total (kg) DAP (cm) Ht (m)	Sato et al. (2013) Paraguay
BSHIRP	$B \text{ aérea} = 0,0339 * (DAP^2 \cdot Ht)^{1,0401}$	0,96	B aérea (kg) DAP <10 (cm) Ht (m)	Sato et al. (2013) Paraguay
BSHIRP	$B \text{ total} = 0,0690 * (DAP^2 \cdot Ht)^{0,9932}$	0,96	B total (kg) DAP (cm) Ht (m)	Sato et al. (2013) Paraguay
BSHIRP	$B \text{ aérea} = 21,297 - 6,953 * DAP + 0,74 * DAP^2$	Sin dato	B aérea (kg) DAP >10 (cm)	Brown (1997) Trópicos
BSHC	$B \text{ aérea} = 0,0509 * (0,768 * DAP^2 * Ht)$	0,99	B aérea (kg) ρ (g/cm ³) DAP (cm) Ht (m)	Chave et al. (2005) Trópicos
BP <i>Copernicia alba</i>	$B \text{ aérea} = -18,1524159 + 12,3118061(Ht) - 0,07993274(Ht)^2$	Sin dato	B aérea (kg) Ht (m)	Guyra Paraguay (2015) Paraguay
BP Palmas de alto porte	$B \text{ total} = 6,666 + 12,826 * Ht^{0,5} * \ln(Ht)$	Sin dato	B total (kg) Ht (m)	Pearson et al. (2005) Trópicos
<i>Ceiba chodatii</i> (bottle-shape tree)	$B \text{ aérea} = 0,0224 * (D^2 * H)^{0,8688}$	0,97	B aérea (kg) DAP (cm) Ht (m)	Sato et al. (2014) Paraguay
<i>Ceiba chodatii</i> (bottle-shape tree)	$B \text{ total} = 0,0585 * (D^2 * H)^{0,8151}$	0,97	B total (kg) DAP (cm) Ht (m)	Sato et al. (2014) Paraguay

También se emplearon las ecuaciones alométricas que fueron generadas en el país para la especie *Ceiba chodatii*, para obtención de Biomasa arriba del suelo (aérea) y Biomasa viva total (Sato *et al.*, 2014). Esta especie es característica de la composición florística del Bosque Seco Chaqueño (BSCH), y una particularidad importante se refiere a que su contenido de biomasa no es proporcional a su diámetro a la altura del pecho (DAP), que se considera muy pronunciado (tronco en forma de botella) para su escaso contenido de biomasa. Es así que, que estos modelos representan los primeros intentos de desarrollo de ecuaciones específicas para esta especie, tanto para determinación de volumen como para Biomasa, considerando que los modelos establecidos previamente con las ecuaciones alométricas para el estrato del Chaco Seco no son las más acordes.

Las ecuaciones alométricas aplicadas fueron seleccionadas de acuerdo a los parámetros estadísticos disponibles obtenidos en la medición de su ajuste como: el coeficiente de determinación (R^2), el coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado), el Error Cuadrático Medio de Predicción (ECMP), el Criterio de Información Akaike (AIC, por sus siglas en 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), Brown (1997) y Pearson *et al.* (2005).

En la figura 16, se observa un gráfico que contiene la comparación de las distintas ecuaciones alométricas disponibles y que podrían aplicarse para el tipo de formación de Bosque Sub Húmedo Inundable. De acuerdo a los ajustes presentados, se seleccionaron aquellas que presentaron mejores ajustes y resultados más conservadores para este estrato. Es por ellos, que se aplicó la de Sato *et al.* (2013) para árboles menores de 10 cm de DAP y la de Brown (1997) para aquellos con DAP mayor a 10 cm.

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

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

Al respecto, primeramente se aplicaron las ecuaciones a nivel del árbol, y luego para obtener los valores de Biomasa arriba del suelo y Biomasa viva total por hectárea, se realizó una extrapolación de acuerdo a las diferentes dimensiones de DAP medidos en campo: el Manual de Campo del IFN (Ver Figura 13 del Anexo III de este documento), explica que fueron medidos todos los árboles con DAP menor a 10 metros en la sub parcela de 20 x 20 m (400 m²), los árboles con DAP menores a 20 metros en la sub parcela de 40 x 40 m (1600 m²) y por último, todos los árboles de DAP mayor o igual a 20 metros en la parcela de 60 x 60 m (3600 m²). A partir de estos datos colectados, mediante una función inserta en la planilla de cálculo se obtuvo valores de biomasa a nivel de cada árbol del estrato correspondiente (siendo aplicada la EA generada para ese mismo estrato), para luego realizar la extrapolación a valores de biomasa en toneladas por hectárea.

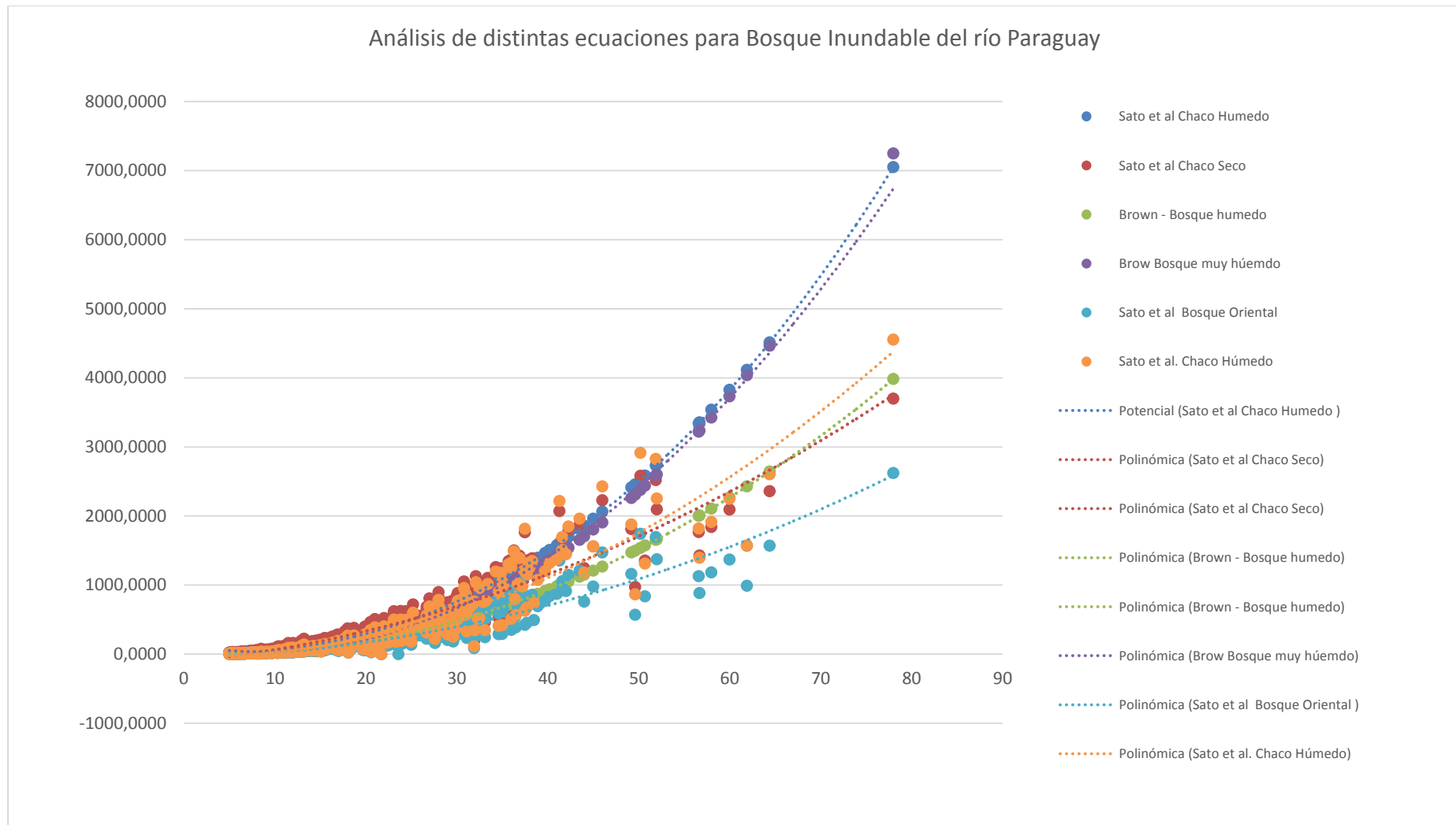


Figura 16. Análisis de distintas ecuaciones disponibles para el Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay, el grado de dispersión respecto a la línea indica el nivel de ajuste de la ecuación. Fuente: Metodología de procesamiento y análisis de datos del IFN (2015).

Aplicación de factores de expansión de biomasa

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

Las ecuaciones para el cálculo del factor de expansión son:

FEB aérea = Biomasa aérea / Biomasa del volumen comercial

FEB raíz = Biomasa de raíz / Biomasa aérea

FEB total = Biomasa total / Biomasa aérea

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

El factor de expansión es el siguiente:

BSHC FEB total = 1,2675

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

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

Tabla 22. Densidades y factores de expansión aplicados para el cálculo de biomasa en las especies arbóreas asociadas a *Copernicia alba* en el bosque de Palmar.

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

Fuente: PNC ONU REDD+ (2015b).

Observaciones:

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

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

Procedimiento de ponderación por peso, aplicado al contenido de biomasa y carbono de los estratos de Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay (BSHIRP) y Bosque Palmar (BP).

El documento que contiene la Metodología del procesamiento y análisis de los datos del IFN, versión octubre (PNC ONU REDD+, 2015b) incluye una fórmula para el cálculo a nivel general de bosque (capítulo 2.3). Esta fórmula es a los efectos de integrar varios resultados en uno solo, teniendo en cuenta el tamaño del estrato y el de la población.

Para el cálculo de la proporción de cada estrato en relación a la población total, se toma como tamaño de la población a las superficies totales de bosque nativo (N) y a las áreas correspondientes a cada estrato (N_j).

Para el caso particular de la ponderación efectuada para los estratos del Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay (BSHIRP) y el Bosque Palmar (BP), se consideró el tamaño total del estrato (superficie).

La proporción estimada, resulta así:

BSHIRP: 0,633

BP: 0,367

Luego, se aplican las fórmulas que se observan a continuación:

Media muestral entre estratos (\bar{X})

$$\bar{X} = \sum_{j=1}^M P_j * \bar{X}_j$$

Varianza del promedio del estrato $S_{\bar{X}_j}^2$

$$S_{\bar{X}_j}^2 = \sum_{j=1}^M P_j^2 * \frac{S_j^2}{n_j}$$

Varianza del promedio muestral entre estratos $S_{\bar{X}}^2$

$$S_{\bar{X}}^2 = \sum_{j=1}^M P_j^2 * S_{\bar{X}_j}^2$$

Error estándar entre estratos $S_{\bar{X}}$

$$S_{\bar{X}} = \sqrt{S_{\bar{X}}^2}$$

Error de estimación al 95%

$$E \pm = S_{\bar{X}} * t_{(n-1) \alpha/2}$$

Error relativo (%)

$$E\% \pm = \frac{E * 100}{\bar{X}}$$

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.

V- Información preliminar del IFN respecto al depósito “Suelo”, y otros.

A continuación se describe lo relacionado al depósito de “suelo”, con la debida acotación que no se incluyen estos valores en el proceso de cálculo para obtención del Nivel de Referencia de las emisiones forestales. Ver sección 2.6.1; 2.8 Vinculación con el INGEI y 4 de Consideraciones finales: limitaciones y futuras mejoras a implementar.

En la tabla 23 se presentan los resultados de contenido promedio de carbono para este depósito, además del error estándar (+/-) y el porcentaje de error asociado, para cada estrato de bosque nativo.

Tabla 23. Resultados de contenido de carbono en Suelo, para todos los estratos de bosque.

Carbono orgánico del suelo toneladas ha-1 (0 - 50 cm)	Bosque Húmedo de la Región Oriental*	Bosque Seco Chaqueño	Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay	Bosque Sub Húmedo del Cerrado	Bosque Palmar
Promedio (tn/ha)	58,70	64,07	47,39	32,35	53,69
Error estándar ±	3,95	3,69	6,69	5,85	3,52
Error %	6,72	5,76	14,13	18,08	6,56

Fuente: PNC ONU REDD+ (2015).

***Observación:** los valores de este estrato, corresponden a los resultados finales del levantamiento de datos en las parcelas previstas.

Los inconvenientes al inicio de las mediciones para cuantificar el contenido de carbono en suelo, fueron que los resultados arrojaban valores con alta variabilidad, además del tamaño del área de muestreo para lograr la suficiente representatividad, y que las muestras a la vez sean técnica y económicamente viables de obtener.

Para ello, se realizó un estudio complementario a cargo de un especialista en Suelos, para determinar la cantidad de muestras y la distancia entre cada una de ellas que aseguren la adecuada captación de la variabilidad de las propiedades del suelo. La investigación se realizó en la región Occidental del país, específicamente en el estrato identificado como Bosque Seco Chaqueño (BSCH).

Los resultados correspondientes demostraron que dentro de la parcela de 60 x 60 metros (que se está implementando actualmente en el IFN) y con dos puntos de muestreos se logra el objetivo propuesto, sin embargo, con la acotación de que estos datos son provisorios y están basados en la estadística convencional. (PNC ONU-REDD+ Paraguay, 2014c).

Posteriormente, se efectuaron análisis estadísticos para este componente de “suelo” en 5 UM en el estrato del Bosque Húmedo de la región Oriental (BHRO) y 4 UM (12 parcelas en total) en el Bosque Seco Chaqueño. El procesamiento y análisis de datos se realizó mediante el paquete estadístico SPSS versión 3.0 y también en MS-Excel. Los resultados obtenidos presentaron una alta variabilidad en el CV (%) en relación al carbono del suelo de 41 a 78 % en el estrato del BHRO; mientras en el estrato BSCH para todas las profundidades muestreadas la variabilidad se mantuvo relativamente baja entre conglomerados (17,4 a 34,7%), sin embargo entre parcelas la variabilidad encontrada fue alta, en el orden de 35,5 a 77,5% (PNC ONU REDD+, 2014d).

Está pendiente realizar nuevos análisis estadísticos una vez que se cuenten con un mayor número de muestras de suelo.

Metodología de la colecta de información para el depósito “Suelo”

La caracterización y muestreo del suelo en las unidades de muestreo (UM) es requerida para contabilizar el stock de carbono en el horizonte A, que es el horizonte de acumulación de materia orgánica y parte de los depósitos de carbono en los ecosistemas boscosos. Todos los datos levantados de suelo como profundidad del horizonte A, pedregosidad, agregación, rocosidad y la

extracción de muestras de carbono y densidad aparente se registraron en la planilla para el efecto. Para más detalles, ver el Manual de Campo del IFN (FAO, 2015a).

Se establecieron dos calicatas en los extremos Sureste y Noroeste de las parcelas de 60 x 60 o 40 x 40 m (Ver Figuras 13 y 14 del diseño de las parcelas en el Anexo III), para la caracterización y toma de muestras de suelo, realizándose un total de 6 calicatas por UM en conglomerado y 2 calicatas en la UM en parcela, hasta 50 cm de profundidad.

Una vez ubicado el lugar para hacer la calicata, se realizaron los siguientes pasos:

1. Se realizó una limpieza del sotobosque en un área de aproximadamente 3 x 3 m para evitar interferencia de lianas y troncos caídos, pero sin remover la capa de hojarasca que cubre la superficie del suelo;
2. Se verificó visualmente un sector del área en la que se realizó la limpieza donde no exista interferencia de árboles o arbustos para evitar raíces que impidan la excavación de la calicata;
3. Se marcó con la punta de la pala un rectángulo de 1 x 0,5 m, de tal manera que el largo del área (1 m) tenga una dirección Norte – Sur para que el lado menor (0,5 m), sea la pared del perfil que tuvo una exposición Sur para la descripción del suelo;
4. Se excavó la calicata con la pala hasta una profundidad mínima de 0,5 m, previendo dejar uno o dos escalones (para realizar el muestreo del suelo) en el lado Norte, de tal forma que quede un cuadrado de 0,5 x 0,5 m en el fondo de la calicata. Se colocó la tierra en el costado izquierdo evitando en todo momento que ésta cubra la hojarasca que se encuentra en el lado de la pared donde se describió el perfil;
5. Se inspeccionó y adecuó el perfil de la cara o pared del lado Sur, para tener una superficie homogénea y que esté uniformemente húmeda;
6. Se caracterizó la profundidad o límite del horizonte A extrayendo pequeñas muestras de suelo con un cuchillo de campo y se colocó en el costado izquierdo para verificar diferencias de color y textura manual;
7. Se marcó con el cuchillo las profundidades de 0-5, 25-30 y 45-50 en la pared inspeccionada y se procedió a tomar las muestras para densidad y carbono orgánico utilizando el muestreador metálico para penetración de anillos. Se colocó las muestras en bolsas plásticas doble ranura de cerrado hermético con sus respectivas etiquetas, comenzando por tomar la muestra de mayor profundidad (45-50 m), luego las más superficiales (25-30 m y 0-5 m);
8. Se procedió a mezclar las muestras de suelo tomadas en la calicata del extremo SE con las muestras de suelo tomadas en la calicata del extremo NW, generando una muestra por cada profundidad, tanto para densidad aparente como para carbono orgánico;
9. Se colocaron todas las muestras en forma ordenada en una caja y se etiquetaron para su posterior traslado al laboratorio de suelos;
10. El laboratorio remitió el resultado de suelos basado en el carbono orgánico para lo cual se utilizó el método de combustión seca, el cual consistió en pesar una muestra de gramos de suelo colocada en un recipiente de porcelana blanca para examinar las muestras sólidas, se utilizó para el efecto el equipo SHIMADZU TC SSM-5000 A (TOCVCPH TOTAL ORGANICA CARBON ANALYZER).

El contenido de carbono se analizó aplicando al suelo una temperatura de 900° C. La materia orgánica se obtuvo multiplicando el valor del carbono orgánico por 1,724.

Cálculo de carbono en suelos

El cálculo de carbono se realizó con base en los datos de porcentaje de carbono y densidad aparente del suelo remitido desde el laboratorio mediante la aplicación del método de combustión seca sugerido por el IPCC (2003). El contenido de carbono de cada uno de los tres

puntos de profundidad se interpoló para distribuir de manera equidistante la magnitud vertical de incidencia de cada muestra hasta los 50 cm. Las profundidades consideradas fueron:

Profundidad 1 de 0,0 – 5,0 cm, magnitud o profundidad de incidencia 15 cm

Profundidad 2 de 25,0 – 30,0 cm, magnitud o profundidad de incidencia 22,5 cm

Profundidad 3 de 45,0 – 50,0 cm, magnitud o profundidad de incidencia 12,5 cm

El carbono a 50 cm de profundidad se obtuvo al sumar el carbono en las tres capas anteriores de profundidad interpoladas. La ecuación para el cálculo del carbono en cada una de las profundidades fue la aplicada por FAO (2002) y otros.

$$C/ha = (C\%/100) * d * p * 10.000$$

En donde:

C/ha = carbono por hectárea

d = densidad aparente

p = profundidad en metros (m)

Resultados preliminares para los depósitos categorizados como: “necromasa de: árboles muertos en pie”, “de madera caída muerta”, “necromasa de tocones” y “necromasa de detritus”

Actualmente, se cuentan con estos resultados preliminares del Inventario Forestal Nacional (IFN), para los depósitos que se mencionan a continuación, a manera de información de referencia:

Tabla 24. Resultados preliminares de necromasa y carbono para árboles muertos en pie, madera muerta caída, tocones y detritus en toneladas/hectárea, para todos los estratos de bosque nativo.

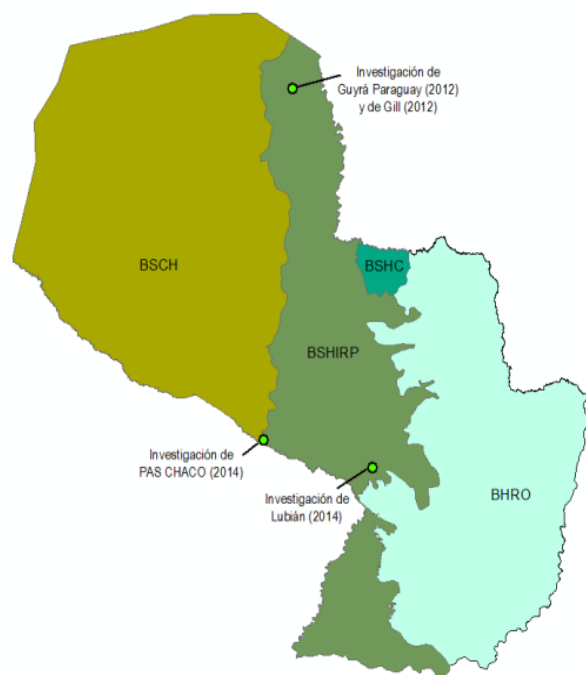
Estrato de bosque nativo	Necromasa de árboles muertos en pie ≥ 5 cm de DAP	Necromasa de árboles muertos en pie ≥ 5 cm de DAP	Necromasa de madera muerta caída ≥ 10 cm diámetro	Carbono de madera muerta caída ≥ 10 cm diámetro	Necromasa de tocones >5 cm diám.	Carbono de tocones >5 cm diám.	Necromasa de detritus 2 mm a 10 cm de diámetro.	Carbono de detritus 2 mm a 10 cm de diámetro.
B. Húmedo de la Región Oriental	10,51	4,94	10,32	4,85	0,32	0,15	7,24	3,38
B. Seco Chaqueño	1,38	0,65	1,24	0,62	SD	SD	6,52	2,9
B. Sub H. Inundable del río Paraguay	3,2	1,5	17,28	8,12	0,09	0,04	7,83	2,03
B. Sub H. del Cerrado	4,9	2,3	9,14	4,3	0,16	0,07	6,17	1,52
B. Palmar	0,196	0,092	NE	NE	0,136	0,064	1,758	0,632
Total	18,806	9,482	37,98	17,89	0,706	0,324	29,518	10,462

*NE: no encontrado. SD: sin dato.

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

VI- Información de referencia procedente de otras fuentes de datos, para el Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay y Bosque Palmar

Es relativamente escasa la información disponible en relación a contenido de Biomasa para estos estratos de bosque nativo. En la fase inicial de investigación y recopilación de informaciones que servirían de insumo para la construcción del Nivel de Referencia de las emisiones forestales del Paraguay (NREF), se identificaron las fuentes de datos que serían de utilidad para este propósito.



La figura 17 exhibe la ubicación geográfica de las áreas de estudio en las cuales se desarrollaron las investigaciones citadas en este Anexo. Todas ellas están geográficamente en el estrato del Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay, y además contienen resultados para la formación del Palmar.

Al respecto, las fuentes de información válidas son las procedentes de investigaciones científicas y académicas, como ser los resultados obtenidos por la consultoría para la “Medición y monitoreo del contenido de carbono en parcelas bajo manejo forestal sustentable y manejo sustentable de tierras en el Chaco paraguayo”, para el **Proyecto “Manejo sustentable de bosques en el ecosistema transfronterizo del Gran Chaco Americano - PAS CHACO”** en el año 2014.

Figura 17. Ubicación geográfica de las investigaciones en el estrato de BSHIRP. Fuente: elaboración propia.

Sin embargo, teniendo en cuenta el propósito de esta investigación que fue la de estimar el almacenamiento de carbono y su variación en el tiempo en diversos ambientes del territorio chaqueño, lo que incluye la contemplación de los diversos sistemas de manejo que se implementan, ya sean de carácter de tipo productivo o que respondan a mecanismos de conservación que se enmarcan en las diversas modalidades de Manejo Sustentable de Bosques (MSB) y Manejo Sustentable de Tierras (MST).

Este criterio ha incluido sitios para la colecta de datos, en donde el manejo corresponde a dos principales áreas que comprenden la gestión del bosque y la tierra. Dentro de estos regímenes de manejo o formas de emplear los recursos en el Chaco Paraguayo, se han considerado áreas en donde se implementan sistemas de producción forestal o pecuaria y áreas de conservación de recursos naturales.

No obstante, solo la información proveniente de algunos de los sitios en donde se colectaron datos, son de utilidad para los propósitos del NREF. Es decir, las unidades de muestreo identificadas como fuentes de información para NREF son tres (dos unidades de muestreo contienen datos que corresponden a la cobertura de Bosque Meso Xerofítico de la denominada eco región del Chaco Húmedo, y la unidad restante corresponde a las sabanas de *Copernicia alba*, designadas de esta forma por el Proyecto PAS CHACO).

La metodología del levantamiento de información contempló unidades de muestreo de 20 x 100 metros (0,2 hectáreas de superficie) divididas en 5 sub parcelas de 20 x 20 m para colecta de

datos en los depósitos de Biomasa aérea y debajo del suelo (se realizó la medición de todos los individuos con DAP $\geq 2,5$ cm), mientras que en cada una de estas sub parcelas se determinaron otras de 1 m^2 que se emplearon para medición de Biomasa arbustiva y herbácea. Mientras que 3 de las sub parcelas de 20×20 fueron utilizadas para la extracción de muestras del suelo mediante tomas de hasta 70 cm de profundidad, para estimación del contenido de carbono en el suelo.

La ecuación alométrica utilizada, fue la desarrollada por Sato *et al.* (2013) para el Bosque del Chaco Húmedo, que constituye la misma empleada para el cálculo del contenido de biomasa en el estrato del Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay (BSHIRP) para este NREF.

Para obtener las estimaciones de contenido de carbono se utilizó el coeficiente de conversión de biomasa a carbono de 0,5 propuesto por el IPCC (2003), además se empleó un coeficiente de relación entre raíces/biomasa aérea: 0,24 (Cairns *et al.*, 1997).

En relación a los valores asociados al estrato de Bosque Palmar, los datos fueron recabados de una unidad de muestreo situada en un establecimiento que basa su manejo en un sistema silvopastoril constituido de pastura natural, implantada (pasto cultivado) y árboles dispersos además de Palmares (*Copernicia alba*).

Los resultados de esta investigación para el Palmar, corresponden a 10,27 tn/ha de contenido de carbono, que incluye Biomasa arbórea viva (8,12 tn/ha) y biomasa arbustiva y herbácea (2,15 tn/ha).

Mientras que para el BSHIRP, el resultado es de 41,96 tn/ha de existencias de carbono, correspondientes a 39,19 tn/ha para Biomasa arbórea viva y 2,77 tn/ha para biomasa arbustiva y herbácea.

De acuerdo al documento consultado, el resultado de la biomasa arbórea viva incluye el valor de la biomasa subterránea o debajo del suelo (la correspondiente a las raíces), sin embargo no se encuentra el detalle del mismo.

Otra investigación para estimación de contenido de biomasa, llevó a cabo la Organización No Gubernamental Guyrá Paraguay en marco del ***“The Paraguay Conservation Project – Reductions of GHG emissions from deforestation and forest degradation in the Chaco Pantanal ecosystem”*** para el mercado voluntario de Carbono. El mismo constituye el primer proyecto REDD+ en el país acreditado bajo los estándares VCS y CCBA, y se desarrolla en la propiedad denominada Tobich en el Distrito de Bahía Negra del Departamento de Alto Paraguay de la región Occidental del país. El área de estudio está comprendida en el noreste de la región del Chaco (Ver figura 16).

Respecto a la metodología empleada en esta investigación, se colectó información de árboles a partir de 10 cm de DAP, en parcelas permanentes de 100×100 metros (1 hectárea), sub divididas en 4 sub parcelas de 50×50 metros, y éstas a su vez divididas en bloques de 25×25 metros.

Los resultados obtenidos por este estudio para el estrato denominado Sabana Palmar (*Palm Savannah*), que a su vez derivan de otro estudio previo en las inmediaciones del Parque Nacional Río Negro (citando a Leiva, 2009), adyacente a la zona de estudio y de características idénticas a las áreas de sabana Palmar descritas por el Proyecto; son de 18,35 toneladas para las existencias de carbono/hectárea de biomasa aérea y de 5,12 tn de contenido de carbono/hectárea para la biomasa debajo del suelo, totalizando 23,47 tn de C/ha.

También, recabaron información en el estrato que nombraron como “Transición de Bosque Meso-xerofítico y Palmar”, obteniendo valores para biomasa aérea de 17,42 tn de carbono por hectárea y 4,87 tn de carbono/hectárea para biomasa debajo del suelo, resultando en 22,29 tn de C/ha (Guyrá Paraguay, 2012).

Finalmente, los valores resultantes para las estimaciones de las existencias de carbono para los estratos de Bosque Meso-xerofítico Alto son de 104,08 tn/ha para biomasa aérea y 29,14 tn/ha para biomasa debajo del suelo (total: 133,22 tn/ha para la biomasa viva total); mientras que para el Bosque Meso-xerofítico Bajo se obtuvieron resultados de 16,5 tn/ha para biomasa aérea y 4,62 tn/ha para biomasa debajo del suelo, totalizando 21,12 tn/ha de carbono para la biomasa viva total. Estos resultados de estas formaciones de Bosque Meso xerofítico, por su enclave geográfico y sus características florísticas, son equivalentes o correspondientes a los del estrato de Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay (BSHIRP).

Respecto a las **investigaciones académicas** disponibles (tesis de grado), relacionadas a estimaciones de contenido de biomasa para estas dos formaciones de bosque, aún son escasas debido a que principalmente las condiciones climáticas sumadas a las insuficientes vías de comunicación son los principales condicionantes para la accesibilidad. Al respecto, es fundamental mencionar que una buena parte del año las precipitaciones constantes dificultan el acceso a la zona para recabar informaciones. Pese a estos inconvenientes, es loable recalcar los esfuerzos actuales que se están llevando a cabo para contar con mayor información respecto a estos tipos de bosque nativo, esperando disponer de los mismos próximamente.

Entre los estudios académicos, podemos citar a Gill (2012) que realizó estimaciones preliminares de stock de carbono en el Bosque Meso-xerofítico Alto y Meso-xerofítico Bajo en el departamento de Alto Paraguay (Chaco), en el mismo sitio de análisis del Proyecto de Guyrá Paraguay. Para el efecto se establecieron cuatro parcelas permanentes de medición (PPM) de 10.000 m² (1 hectárea) cada una, en las cuales se efectuó la medición de individuos con DAP mayores o iguales a 10 cm.

La ubicación de estas cuatro unidades de muestreo, corresponde geográficamente al estrato de Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay (BSHIRP), como se puede visualizar en la figura 16.

No se emplearon ecuaciones alométricas para el cálculo de las existencias de biomasa, sino un factor de expansión de 2,4 (Wolf, 2004). Además, se aplicó un coeficiente de relación entre raíces/biomasa aérea, propias para la formación de Bosque Inundable de 0,28 (IPCC, 2003). Asimismo, un coeficiente de conversión de biomasa a carbono de 0,47 (IPCC, 2006).

El resultado de esta investigación en relación al contenido de carbono en la biomasa viva total es en promedio de 50,48 tn/ha.

También, Lubián (2014) realizó investigaciones para “Valoración económica de sistemas de producción con inclusión de servicios ecosistémicos en el Bajo Chaco”. Para este trabajo, el propósito fue el de obtener informaciones respecto al rédito económico que ofrecen los sistemas silvopastoriles y los bosques a través de los servicios ambientales, que entre ellos está la captura de carbono.

De esta forma, primeramente se recabó datos de campo procedentes de 3 unidades de muestreo de 7.500 m² (0,75 hectárea) cada una, las cuales incluyen sitios con presencia de la formación de Palmar. Al respecto, fueron medidos todos los individuos del estrato Palmar (*Copernicia alba*), con DAP entre 11,7 y 29,3 cm.

Para esta investigación, tampoco se utilizó ecuaciones alométricas, en su lugar se empleó un coeficiente de relación entre raíces/biomasa aérea de 0,27 (IPCC, 2003) y un factor de expansión de biomasa para formación de Palmar: 0,44 (Wolf, 2004). En tanto el coeficiente para conversión de biomasa a carbono empleado es el 0,47 (IPCC, 2006).

Cabe resaltar que el contenido de carbono estimado para la formación de Palmar en esta investigación fue solo de 1,67 tn/ha; considerándose muy bajo, pero la razón podría deberse a que estos sitios de colecta de datos están sujetos a sistemas silvopastoriles con una presencia de Palmar a una densidad media a baja. Este resultado no puede servir de referencia al analizar la formación del Palmar en toda su extensión, a distintas densidades y sujetas bajo diversos manejos en el territorio nacional.

Otra formación de bosque de la que se recabaron datos fue la denominada Bosque Meso-xerofítico semi-caducifolio de Quebracho colorado (*Schinopsis balansae*), el resultado obtenido fue de 17,32 tn/ha de carbono en la biomasa viva total. Este resultado también, puede ser de referencia para el estrato del BSHIRP.

Otro punto importante de comparación, es que no se cuenta con el detalle de Carbono aéreo y radicular para estos estratos de Palmar y Bosque Sub Húmedo Inundable de estas dos investigaciones, debido a la utilización de fórmulas específicas (sin empleo de ecuaciones Alométricas) para obtención del Carbono total.

La tabla 25, presenta el resumen de los valores reportados para contenido de carbono (tn/ha) por distintas fuentes de información. Los resultados correspondientes al Bosque Húmedo del Chaco son los que pueden ser considerados como referencia para el Bosque Sub Húmedo Inundable del río Paraguay, sin embargo en cada uno de ellos las denominaciones difieren entre sí.

Tabla 25. Resultados de estimaciones de contenido de carbono para los estratos mencionados en la primera fila, procedentes de las fuentes de información citadas en la columna de la izquierda

Fuente	Bosque Húmedo del Chaco			Sabana Palmar/ Bosque Palmar			Transición de Bosque Meso xerofítico y Palmar		
	C. Biomasa aérea (tn/ha)	C. Biomasa debajo del suelo (tn/ha)	C. Biomasa viva total (tn/ha)	C. Biomasa aérea (tn/ha)	C. Biomasa debajo del suelo (tn/ha)	C. Biomasa viva total (tn/ha)	C. Biomasa aérea (tn/ha)	C. Biomasa debajo del suelo (tn/ha)	C. Biomasa viva total (tn/ha)
Guyrá Paraguay 2012	60,29	16,88	77,17	18,35	5,12	23,47	17,42	4,87	22,29
PAS CHACO 2014	SD	SD	41,96	SD	SD	10,27	x	x	x
Lubián 2014	x	x	17,32	SD	SD	1,67	x	x	x
Gill 2012	SD	SD	50,48	x	x	x	x	x	x

Fuente: Guyrá Paraguay y Gill (2012); Lubián y Pas Chaco (2014).

*SD: sin dato. X: no considerado en el análisis

En síntesis, en lo concerniente a la diferencia en los resultados comparando una fuente y otra para un mismo estrato o formación de bosque, la razón podría deberse a las diferentes metodologías aplicadas en cuanto a empleo de ecuaciones alométricas o de factores de expansión, coeficientes de conversión, altura mínima o DAP considerados, así como tamaño de las unidades de muestreo. Asimismo, las condiciones del sitio de análisis, estado de la vegetación o bosque intacto o bajo un mínimo de intervención o aprovechamiento; en el caso del Proyecto PAS CHACO y de la investigación de Lubián, los sistemas de producción implementados en la zona de estudio.