

Nivel de referencia de emisiones forestales de la Provincia de Misiones

El nivel de referencia de emisiones forestales (NREF) o FREL por sus siglas en inglés, permite establecer el escenario de la línea de base de emisiones originadas por procesos de deforestación en toda la provincia de Misiones¹. El NREF es un elemento importante dentro del Programa Jurisdiccional REDD+ en Misiones, Argentina (“Programa REDD+”) y fue elaborado cumpliendo con los requerimientos del Marco Jurisdiccional y Anidado para REDD+ (JNR) de Verra². El objetivo del Programa REDD+ es el desarrollo de medidas, políticas, incentivos y sistemas de salvaguardas para conservar los bosques nativos de la provincia, públicos o privados, con el mayor beneficio posible para todos los actores de la provincia.

La NREF es de 4.120.725 tCO₂ por año y tiene una validez de 6 años (desde el año 2017 hasta el año 2022).

El Programa REDD+ permite el desarrollo de proyectos anidados por lo que el escenario del Marco JNR es el Escenario 2. El Gobierno de la Provincia de Misiones buscará acreditar las reducciones de emisiones generadas fuera de los proyectos anidados. Actualmente no se identifican actividades anidadas en desarrollo.

Método de Contabilidad

El enfoque utilizado es el método de contabilidad basado en cambios de uso del suelo, dada la gran fragmentación que tiene la provincia en términos de actividades productivas y actores involucrados.

El enfoque seleccionado es consistente con los datos y métodos usados en la contabilidad de gas de efecto invernadero (GEI) en los inventarios nacionales, según las categorías de uso del suelo del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).

El NREF es estimado para la deforestación en cada estrato de bosque identificado y teniendo en cuenta las transiciones de usos del suelo durante el período de 2009 al 2014 (el “Periodo de Referencia”).

Se han hecho los cruces de las cartografías de los distintos usos del suelo, con el Ordenamiento Territorial de Bosque Nativo (OTBN) de la provincia y con los planes de manejo. Dado que estos últimos representan una pequeña cantidad de hectáreas y cuyas coordenadas geográficas son difíciles de corresponder con las áreas determinadas a partir del análisis de las imágenes satelitales, se decidió analizar la deforestación como actividad no planeada. Este supuesto es conservador, dado que el riesgo de deforestación queda asociado a la tasa histórica del NREF que es menor que aquella sobre la cual se tienen permisos de desmonte.

¹ Las emisiones de GEI causadas por la degradación forestal no se incluyen en el NREF debido a que estas se encuentran dentro de los límites de minimis.

² <https://verra.org/programs/jurisdictional-nested-redd-framework/>

La estratificación considerada es la misma que se utiliza en los inventarios nacionales, en el Anexo Técnico REDD+³ que se usa como base para el pago por resultados ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (“CMNUCC”). Del mismo modo, los factores de emisión, tanto para los bosques como para las transiciones surgen de los mismos informes, basados en el primer inventario forestal de la República Argentina.

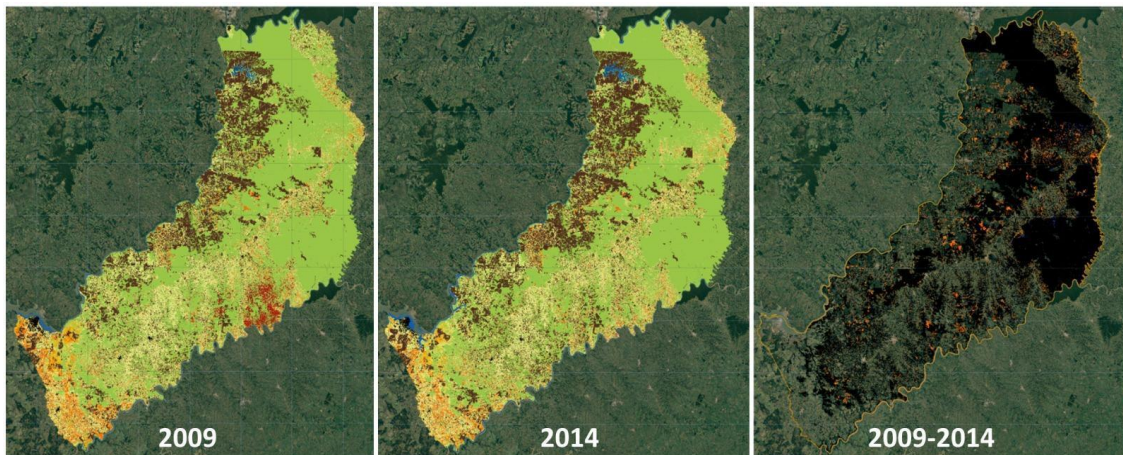
Se realizó un análisis de la tasa de deforestación de los bosques nativos de la provincia para el Período de Referencia, utilizando bases de datos oficiales e información derivada de sensores remotos montados sobre plataformas satelitales y sistematizada en Google Earth Engine (GEE). Entre otras ventajas, esta metodología garantiza la transparencia, trazabilidad, replicabilidad y mejora de los procesos y resultados obtenidos. Se caracterizó el uso y cobertura del suelo de la provincia de Misiones. Si bien la cartografía está enfocada en la distribución de bosques nativos, se utilizó una leyenda más detallada que luego fue agrupada para la identificación de las transiciones relevantes. Las muestras de entrenamiento se generaron mediante interpretación de imágenes satelitales de alta y media resolución espacial y firmas fenológicas del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por su sigla en inglés). Se definió un espacio de atributos que considera la estacionalidad del sistema incorporando compuestos del espectro visible, infrarrojo e índices espectrales de las cuatro estaciones del año, métricas que sintetizan la dinámica temporal de la vegetación e información geomorfológica. La identificación de la degradación se realizó con algoritmos de segmentación temporal sobre series temporales del Índice de Flujo de Diferencia Normalizada (NDFI). Dichos algoritmos modelan la dinámica temporal del funcionamiento del bosque basándose en un período previo de entrenamiento y comparan los valores modelados con los observados en el período de monitoreo.

Los resultados obtenidos se compararon e integraron con las bases de datos oficiales. Los resultados muestran que en la provincia de Misiones existían 1.531.690 hectáreas de bosque nativo en el año 2009. La tasa de deforestación resultó 21.584 ha/año. Las cifras reportadas fueron validadas mediante un análisis de la precisión e incertidumbre de las estimaciones, el cual arrojó una precisión general alrededor del 98%. Además, el análisis visual de los patrones espaciales es contundente. Por otro lado, la metodología presentada permitió identificar procesos de regeneración (transición de No-Bosque a Bosque) y de degradación del bosque nativo, sucesos de los cuales se carecía hasta el momento de reportes técnicos que los analicen de manera espacialmente explícita. Por último, los resultados generados se sistematizaron en una app de GEE que permite la exploración de los patrones espaciales de los distintos procesos analizados, la visualización de series temporales de NDFI y la incorporación de las imágenes Landsat de todas las fechas disponibles para el período de referencia.

El NREF es calculado como el promedio histórico de un período de 6 años, comprendido entre los años 2009 y 2014.

Respecto de la superficie estimada de deforestación en el periodo 2009-2014, se compararon las cifras reportadas por la UMSEF con aquellas derivadas de la cuantificación de la transición Bosque-No Bosque producto de la comparación de las clasificaciones de los años 2009 y 2014.

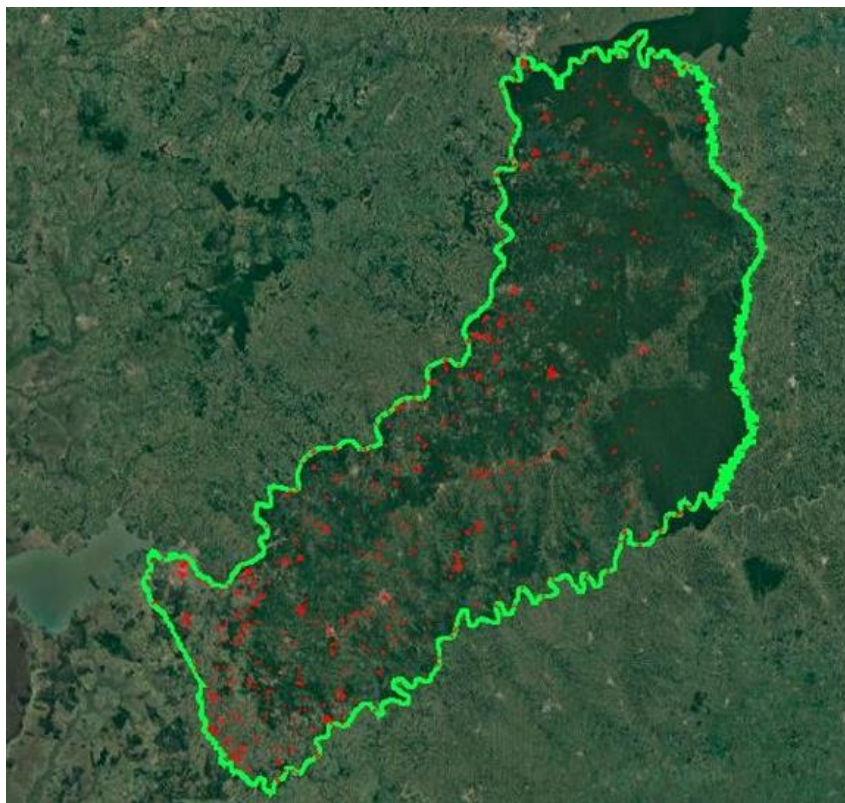
³ https://unfccc.int/sites/default/files/resource/134785_Argentina-BUR3-1-Anexo%20Tecnico%20REDD%20de%20la%20Republica%20Argentina.pdf



Se observó que el área estimada con las clasificaciones fue 4 veces superior a la superficie estimada por la UMSEF para el mismo periodo. Mientras que la UMSEF reportó una superficie total deforestada de 34.874 ha en el periodo.

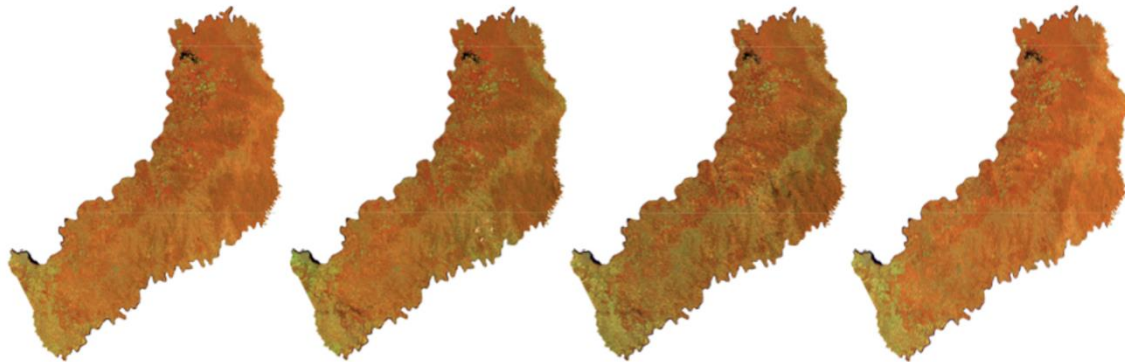
Mapas de cobertura terrestre

Mediante la interpretación de imágenes Landsat y firmas fenológicas del Índice de Vegetación Normalizado, se identificaron distintas clases de uso y cobertura del suelo. Para cada clase de uso se tomaron muestras de referencia (también denominadas áreas de entrenamiento) con el fin de abastecer a un algoritmo de clasificación supervisado que permita asignar a cada uno de los píxeles de las imágenes Landsat una clase específica. Cada una de las muestras de referencia se correspondió con un polígono digitalizado de manera manual y de un tamaño variable, aunque no mayor a un área que incluyera más de 20 píxeles Landsat (alrededor de 2 hectáreas). En total se digitalizaron 1.268 polígonos, los cuales incluyeron las siguientes clases de uso y cobertura del suelo (entre paréntesis se indica la cantidad de polígonos por clase): Bosque (224), Plantación forestal (150), Pastizal (30), Pasturas (153), Cultivos agrícolas anuales (77), Mosaico de agricultura y pastura (39), Áreas sin vegetación (267), Cuerpos y cursos de agua (93) y Cultivos perennes (235).



Para poder identificar las áreas con bosque nativo, se determinó una definición operativa de bosque, la cual considera el porcentaje de cobertura de leñosas y la unidad mínima mapeable. En esta definición operativa se excluye la altura de los árboles considerada en la definición conceptual ya que no es posible incorporar dicha variable de forma espacialmente continua y con la resolución requerida con los métodos y bases de datos utilizados en esta consultoría. Asimismo, para la elaboración de esta definición se consideraron las definiciones de bosque del Consejo Federal de Medio Ambiente (COFEMA) y de la Evaluación de los Recursos Forestales mundiales (FRA, FAO 2020) adaptadas a Argentina. La definición asumida es que bosque nativo es toda tierra que constituye un ecosistema natural y presenta una cobertura arbórea de especies nativas mayor o igual al 20% con una superficie continua mínima de 0,5 hectáreas.

Para la construcción del mapa de cobertura, se utilizaron imágenes de reflectancia de la superficie de la Colección 2 entre enero y diciembre provistas por los satélites Landsat-5 y Landsat-8, respectivamente. Las imágenes fueron filtradas por calidad descartando aquellos píxeles que presentaban nubes y/o sombras utilizando la función CloudMaskC2, y se aplicaron los factores de escala correspondientes. Se construyeron compuestos estacionales de 3 meses para el verano, otoño invierno y primavera. Los compuestos consideran el píxel con el valor mediano de la distribución de frecuencias de todas las observaciones de buena calidad de cada periodo. En general, los compuestos trimestrales presentaron datos en todos los píxeles que cubren la provincia de Misiones, pero con pequeñas porciones de datos faltantes en ciertas zonas por presencia frecuente de nubes y/o superficies muy reflectivas (suelo desnudo o ciudades). En dichas áreas se aplicó un algoritmo desarrollado ad hoc que de forma secuencial rellena los datos faltantes con el promedio de las observaciones del mes previo y posterior al periodo focal en ventanas temporales sucesivas hasta un periodo máximo de 12 meses. Así, en los casos en que resultó necesario, se evaluaron 4 ventanas temporales de uno, dos, tres meses y un año.



Verano 2009

Otoño 2009

Invierno 2009

Primavera 2009

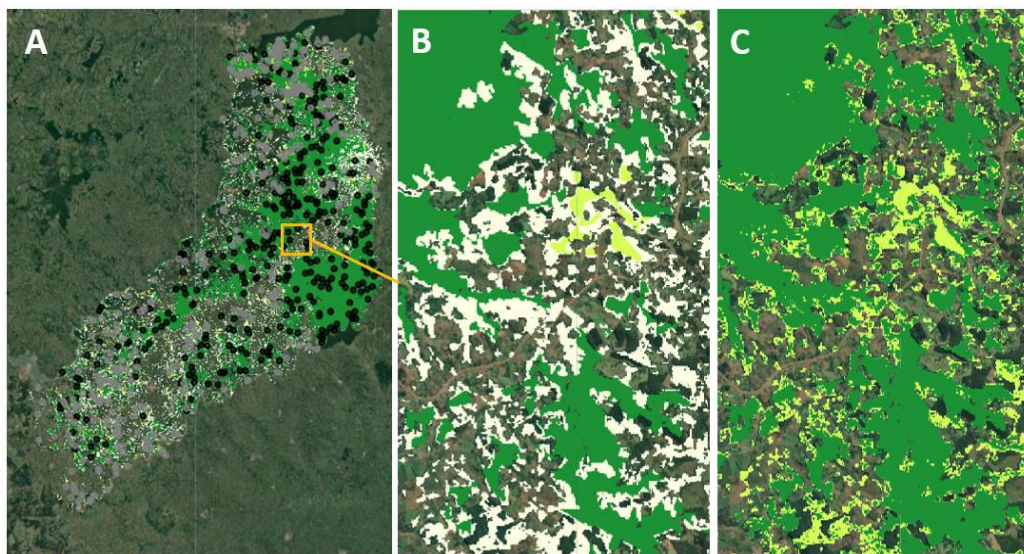
Sobre los compuestos trimestrales se calcularon cuatro índices espectrales vinculados con la vegetación, el suelo, los eventos de fuego y el agua: el NDVI, SAVI, NBR y NDWI (4 estaciones x 4 índices espectrales). A su vez, se caracterizó la dinámica temporal de la vegetación mediante atributos funcionales asociados a los índices espectrales. Así se calculó la media, el máximo, el mínimo y desvío estándar de cada uno de los cuatro índices mencionados (4 métricas x 4 índices). Además, se incluyó un modelo de elevación digital del cual se derivó la altura sobre el nivel del mar, la pendiente y la exposición de las laderas. Esto se hizo a partir del modelo de elevación digital SRTM disponible en GEE provisto por la NASA. Con los datos digitales de elevación de Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) se obtuvieron modelos digitales de elevación a una escala casi global con resolución espacial de 30 m. Así el espacio de atributos clasificado se compuso de 59 bandas de información: la reflectancia de las 6 bandas del visible e infrarrojo y los cuatro índices espectrales en las 4 estaciones (10 x 4), los atributos funcionales (4 x 4) y los atributos geomorfológicos derivados del modelo de elevación digital.

Se realizaron clasificaciones supervisadas utilizando el espacio de atributos de cada periodo, las muestras de entrenamiento y el algoritmo de clasificación Random Forest. Según la definición operativa de bosque se clasificó una unidad mínima mapeable de 0,5 hectáreas. Se generó un script en GEE en el que se aplica un filtro espacial sobre la clase de bosque de cada una de las clasificaciones. Este filtro evalúa la conectividad de los píxeles de bosque, calcula el tamaño de los parches y filtra aquellos que son menores a 6 píxeles (0,45 ha). Así se ajusta la clase de bosque, eliminando los parches menores a la unidad mínima mapeable y se genera también una capa con los fragmentos de bosque menores a 0,45 ha. De esta manera, primero se elimina la clase de bosque de la clasificación, luego se integran los fragmentos de bosque menores a 0,45 ha y se los reclasifica usando un filtro de moda y una ventana móvil de 3 x 3 píxeles en la que asigna a los fragmentos de bosque la clase mayoritaria que los rodea. Por último, se integra la clase de bosque con parches mayores a 0,45 ha con la clasificación original y sus fragmentos de bosque reclasificados.

Las clases de leyenda utilizadas para la construcción del mapa de cobertura y uso que se obtuvieron son Bosque Nativo, Forestaciones, Pastizales, Pasturas, Cultivos, Mosaicos de Agricultura-Pastura, Áreas sin Vegetación, Agua, Cultivos Perennes (yerba, entre otros; no incluye forestaciones).

Se consideró la cartografía de base del año 2006 derivada del Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos (ms_spa_2006_2020_cg4326.shp) para estratificar el área de bosques nativos en Tierras

Forestales (TF) y Otras Tierras Forestales (OTF). Así se clasificó la clase Bosque derivada obtenida de la metodología explicada anteriormente en TF y OTF. En las áreas en que las dos caracterizaciones indican presencia de Bosque, simplemente se integró lo cartografiado en 2006 asignando la clase TF u OTF tal cual figuraba en el mapa de base. En las zonas de bosque identificadas, pero que no fueron cartografiadas en 2006, se realizó una clasificación supervisada para discriminar el bosque en TF y OTF utilizando un algoritmo Random Forest. Para entrenar el algoritmo se seleccionaron de forma balanceada 2000 puntos aleatorios dentro de las clases TF y OTF en las áreas de coincidencia de los dos mapas. El algoritmo entrenado se aplicó en los bosques identificados por fuera de la cartografía base para asignarles la clase TF u OTF según su similitud espectral con dichas clases (Figura Y'). El espacio de atributos utilizado para estratificar el bosque nativo fue el mismo que se utilizó para la clasificación general.



Las clasificaciones supervisadas de los años 2009 y 2014 obtenidas luego de la aplicación del filtro espacial, fueron reclasificadas en Bosque y No-Bosque, para luego identificar las transiciones Bosque Estable (Bo-Bo), No Bosque Estable (NoB-NoB), Deforestación (transformación de Bosque a No Bosque) y Regeneración (transformación de No Bosque a Bosque). Sobre las áreas identificadas como deforestación y regeneración se aplicó el filtro espacial de unidad mínima mapeable ya descrito para identificar solo transiciones mayores que 0,5 hectáreas. Además, se aplicó un filtro temporal de estabilidad para descartar transiciones ilógicas asociadas a errores en las cartografías de cada año, considerando clasificaciones preliminares del período de monitoreo incluyendo los años 2017 y 2018. Así se evaluaron las transiciones conjuntas para los periodos 2009-2013-2017-2018 identificando transiciones reales (ej: Bo-Bo-NoB-NoB-NoB, NoB-Bo-Bo-Bo-Bo, Bo-Bo-Bo-Bo-Bo, etc.) y transiciones resultantes de artefactos de las clasificaciones (ej: Bo-NoB-Bo-NoB-B, NoB-Bo-Bo-NoB-NoB, NoB-B-NoB-NoB-B, etc.). Mediante la aplicación del filtro temporal se descartaron 114.680 ha de transiciones ilógicas.

Las cartografías generadas y las transiciones identificadas se compararon con bases de datos preexistentes. En primera instancia se comparó la cartografía de uso/cobertura del suelo del año 2009 con la cartografía de base del año 2006 derivada del Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos (ms_spa_2006_2020_cg4326.shp). La comparación se realizó con baja resolución conceptual a nivel de Bosque y No-Bosque. Para realizar la comparación se actualizó la cartografía al año 2009 incorporando la deforestación reportada por UNSEF y las plantaciones forestales. Se seleccionaron

los polígonos de deforestación identificados por UNSEF entre 2006 y 2009 y se descontaron de la cobertura de bosque. Del mismo modo se consideraron las plantaciones forestales hasta el año 2009 presentes en las bases de datos nacionales (provista por la Dirección de Desarrollo Foresto Industrial de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca del Ministerio de Economía) y provinciales (provista por la Subsecretaría de Desarrollo Forestal del Ministerio del Agro y la Producción). Además de evaluar las discrepancias por omisión y comisión de la cobertura de Bosque, se integraron las bases de datos con la cartografía generada. Se tomó esta decisión ya que una evaluación cualitativa de las bases de datos de deforestación y plantaciones forestales mostró que, si bien existen errores de omisión para las dos coberturas, en general presentan muy bajo error de comisión. Es decir, siempre que indican deforestación o forestación, éstas existen realmente, pero también existen forestaciones y deforestación que no está indicada en las bases de datos.

Contenidos de biomasa y carbono

Los valores de biomasa para el Bosque Nativo fueron estimados en base a datos de campo recopilados entre 1998 y 2006 en el PINBN (Programa de Inventario Nacional de Bosques). Estos valores también se alinean con los datos reportados en el FRA (Evaluación de Recursos Forestales) e INGEI (Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Argentina).

Para pastizales, se utilizaron los valores predeterminados de biomasa y fracción de carbono de las Directrices del IPCC 2006. Para bosques nativos, se emplearon los valores predeterminados de fracción de carbono del IPCC. Para bosques cultivados, cultivos perennes y revegetación después de la deforestación, se obtuvieron valores de carbono sobre el suelo y bajo el suelo por hectárea utilizando tasas de crecimiento de especies y ciclos de cosecha y tasas de regeneración del BUR 4 (basados en datos de la Secretaría de Agricultura para plantaciones forestales y la Tercera Comunicación Nacional para revegetación) y el Refinamiento de las Directrices del IPCC 2019 para cultivos perennes. Para cultivos anuales y perennes, se utilizaron los valores predeterminados de contenido total de carbono del Refinamiento de las Directrices del IPCC 2019.

Los factores correspondientes se muestran en la tabla siguiente:

Clase	Biomasa aérea (tMS/ha)	Biomasa subterránea (tMS/ha)	Fracción carbono (tC/tMS)	Carono aéreo (tC/ha)	Carbono subterráneo (tC/ha)	Factor de emisión (tCO ₂ /ha)
TF	259,34	62,24	0,47	-	-	554,19
OTF	47,58	15,23	0,47	-	-	108,24
Bosque cultivado	-	-	-	68,53	13,71	301,53
Pastizal	16,10		0,47	-	-	27,75
Cultivo anual	-	-	-	4,70		17,23
Cultivo perenne	-	-	-	10,85	2,17	47,74
Revegetación	45,05	-	0,47	21,17	-	77,63

La madera muerta y hojarasca no se incluyen como reservas de carbono porque su aporte es muy pequeño.

Emisiones de la línea de base

Las emisiones de la línea de base (NREF) se calculan según la siguiente ecuación:

$$JBE_y \left(\frac{tCO_2}{yr} \right) = AD_B[S_i \rightarrow S_f] \left(\frac{ha}{yr} \right) \times EF[S_i \rightarrow S_f] \left(\frac{tCO_2}{ha} \right)$$

donde

JBE_y = Emisiones jurisdiccionales de la línea de base en el año y (tCO_2/yr)

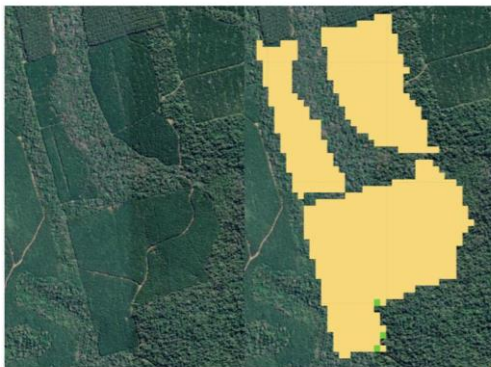
AD_B = Datos de actividad de la línea de base: área correspondiente a la transición del estrato inicial i al final f (ha/yr)

EF = Factor de emisión correspondiente a la transición del estrato inicial i al final f (tCO_2/ha)

S_i = Estrato inicial (TF o OTF)

S_f = Estrato final (promedio ponderado entre bosque cultivado, pastizal, cultivo anual, cultivo perenne, área despejada)

Las figuras siguientes muestran algunos ejemplos de las transiciones ocurridas entre 2009 y 2014 (de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo se muestran las transiciones a bosques cultivados, cultivos anuales, cultivos perennes y pastizales).



El NREF resultante se muestra en la siguiente tabla:

Transición	AD (ha/yr)	EF (tCO ₂ /ha)	Emisiones (tCO ₂ /yr)
TF-bosque cultivado	23.930,60	252,66	6.046.419,91
TF-pastizal	3.707,05	526,45	1.951.563,90
TF-cultivo anual	1.972,41	536,96	1.059.104,08
TF-cultivo perenne	31.152,92	506,45	15.777.468,32
TF-área despejada	422,01	554,19	233.876,10
OTF-bosque cultivado	11.363,53	- 193,28	- 2.196.395,93
OTF-pastizal	3.007,09	80,50	242.062,69
OTF-cultivo anual	1.250,43	91,01	113.801,51
OTF-cultivo perenne	23.710,58	60,50	1.434.560,41
OTF-área despejada	571,76	108,24	61.889,10
NREF (2009-2014)			24.724.350,10

El promedio resultante para los 6 años del período es de **4.120.725 tCO₂/yr⁴**.

⁴ El NREF fue determinado por Coralía Environmental.