# Factores de Emisión (FE)

Para la estimación de un Nivel de Referencia de Emisiones y Absorciones del sector Forestal (NREF/NRF) se utilizan diferentes factores de emisión (deforestación y degradación) y absorción (incrementos) dependiendo de la actividad REDD+ que se está considerando. Para estimar las emisiones por deforestación, el factor de emisión corresponde al contenido de carbono de los bosques previo a la deforestación, asignando un valor del contenido de carbono posterior a la deforestación, correspondiente al uso posterior de las áreas a las que son transformados los bosques.

Respecto a la degradación, se toma como referencia el contenido de carbono de los bosques según su estrato de carbono correspondiente y se asume la pérdida de un porcentaje de carbono igual, al de la pérdida por cobertura del dosel.

Para asignar los factores de remoción o absorción para la actividad de incremento en acervos de carbono, en áreas que se convierten en plantaciones forestales (tierras forestales), se utiliza la información disponible para el país del crecimiento de plantaciones forestales, diferenciado si son plantaciones de coníferas o latifoliadas.

# Factores de emisión para deforestación en Guatemala.

Para estimar las emisiones por deforestación, se utilizan los contenidos de carbono de cuatro estratos forestales a nivel nacional, los cuales son asignados de acuerdo con la ubicación espacial de los datos de actividad; los valores de carbono y la distribución de estos cuatro estratos por área tipo de área deforestada se obtienen a partir del mapa potencial de estratos de Carbono (Gómez, 2017).

## Mapa de estratos de Carbono.

El mapa de estratos de carbono fue elaborado a partir de la recopilación y análisis de más de 3,000 parcelas de inventario forestal (contienen más de 203,000 registros de árboles con su diámetro a la altura del pecho) y tamaños de unidades de muestra que van de los 0.02 ha hasta 1 ha. La información fue levantada en bosques naturales, distribuidos a nivel nacional de 15 fuentes de datos diferentes, incluyendo parcelas permanentes, inventarios forestales, sitios de investigación y datos de concesiones forestales.

Los datos obtenidos, se sometieron a un proceso de depuración dejando solo las parcelas que están dentro del territorio nacional y ubicadas en bosques naturales, el resultado de depuración fue de 2,307 parcelas útiles. Con los datos biomasa para cada individuo, se hace la conversión de toneladas de biomasa a carbono, multiplicando por la fracción de 0.47 y se extrapola a el valor para una hectárea, de acuerdo con el tamaño de cada parcela. Los valores se suman para cada una de las parcelas y resulta en un valor estandarizado de toneladas de Carbono por ha en cada una de ellas.

Cada parcela cuenta con los datos de ubicación geográfica, y estas se estratificaron bioclimáticamente, como medida indirecta de productividad primaria, en función de los índices ombrotérmicos generados para Guatemala, que se construyeron con datos obtenidos de la página digital de World Clim, utilizando las medias mensuales de precipitación y temperatura. Esta clasificación climática ha sido muy utilizada en Guatemala como base para la planeación regional y para la integración de otras variables de interés de los servicios forestales de los bosques o la conservación biológica (CONAP, 2015).

Con estos datos se asignaron los valores a aquellas áreas cuyo horizonte ómbrico no tuvo parcelas suficientes para ser representado (ej. Tipo seco), quedando la estratificación final como se detalla a continuación.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Estrato | Tipo ómbrico | Horizonte ómbrico |
| I | 4. Semiárido | 4b. Semiárido superior |
| 5. Seco | 5a. Seco inferior |
| 5. Seco | 5b. Seco superior |
| 6. Subhúmedo | 6a. Subhúmedo inferior |
| 6. Subhúmedo | 6b. Subhúmedo superior |
| II | 7. Húmedo | 7a. Húmedo inferior |
| III | 7. Húmedo | 7b. Húmedo superior |
| IV | 8. Hiperhúmedo | 8a. Hiperhúmedo inferior |
| I | 8. Hiperhúmedo | 8b. Hiperhúmedo superior |
| 9. Ultra hiperhúmedo | 9. Ultra hiperhúmedo |

Tabla 1. Estratos asignados a los horizontes con valores insuficientes.

*Fuente: Gómez, 2017*

Para tener datos más consistentes en la estimación de toneladas de carbono por hectárea y por estrato, se hicieron estadísticas descriptivas por cada grupo y se compararon los rangos de contenido de carbono resultantes. Debido a la gran variabilidad de los datos de acuerdo con el tamaño de las parcelas y diseños de muestreo, sé hicieron cálculos de densidad de carbono con la mediana y también se calculó la media ponderada para los cuatro estratos de acuerdo con la propuesta de Thomas y Rennie, 1987, quienes definen que la varianza, es un buen estimador de la media. Debido a la variabilidad de diseños de muestreo para diferentes propósitos, distribución de datos (no normales) y tamaños de parcela, para estimar el carbono en el modelo cartográfico (mapa de carbono) se decidió usar el método de Monte Carlo, debido que pondera de manera directa el tamaño de la parcela e identifica la función de densidad de probabilidad (FDP) de cada los datos por tamaño de parcelas y por estrato mediante pruebas de bondad de ajuste (Gómez, 2017).

Para calcular la incertidumbre final, se realizó un re-muestreo de acuerdo con el método de bootstrap al 95% de confiabilidad a los datos obtenidos de las simulaciones, esto con el objetivo de obtener los intervalos de confianza, ya que los datos no presentan una distribución gaussiana o normal. Y de esta manera se obtuvieron la cantidad de carbono y su incertidumbre por estrato a nivel nacional (Tabla 7).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Estratos | Mediana | Desviación típica | Incertidumbre (%)[[1]](#footnote-1) |
| I | 122.06 | 0.187 | 0.30% |
| II | 101.73 | 0.553 | 1.07% |
| III | 97.11 | 0.459 | 0.93% |
| IV | 125.19 | 0.602 | 0.94% |

Tabla 7. Valores de Carbono obtenidos para cada estrato.

*Fuente: Gómez, 2017*

Las estimaciones de carbono con Monte Carlo como se señala anteriormente son asignados en el mapa de estratos de horizontes ombrotérmicos, con lo que se obtiene el mapa de estratos de carbono a nivel nacional.

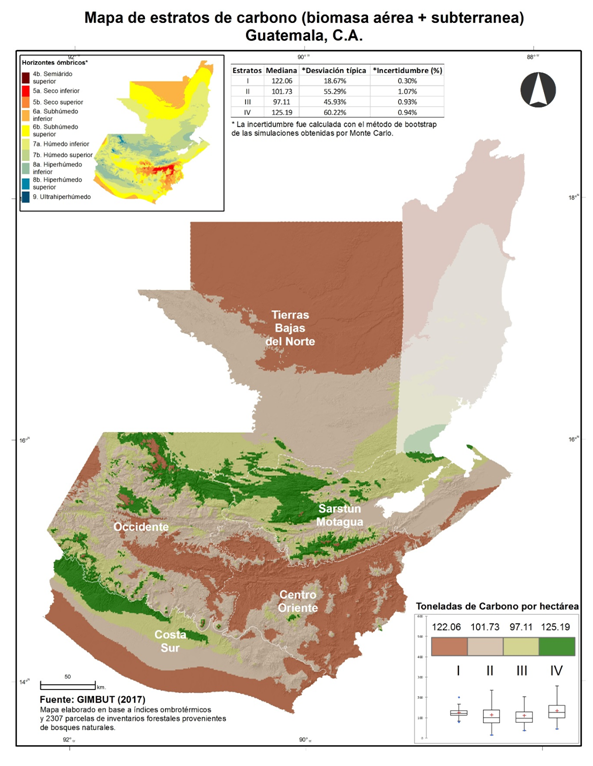


Figura 2. Mapa de estratos de carbono (T/ha) (GIMBUT 2017).

*Fuente: Gómez, 2017*

A partir de este mapa se obtiene el valor asignado a cada de los polígonos asociados al dato de actividad para identificar el contenido de carbono.

# Contenido de carbono posterior a la deforestación.

En Guatemala se cuenta con limitada información y estudios realizados sobre el cambio del contenido de carbono, en un proceso de deforestación, que caracteriza su estado después de transformarse hacia las categorías de tierras de cultivo, pastizales, asentamientos, humedales y otras tierras. Y se considera importante conocer estos procesos y sus efectos en la transformación, ya que muchos cultivos se encuentran en proceso de expansión, como la Palma Africana, el hule, el café, y los sistemas agroforestales (ej. Café bajo sombra) (Alonso-Fradejas et al. 2016). En el país, se han hecho esfuerzos de recopilaciones y estudios al respecto donde se ha evaluado la viabilidad del uso de los datos de datos sobre las existencias de estos cultivos, y se encontrado una factibilidad de uso datos para cuantificar las existencias de carbono en sistemas agroforestales de café bajo sombra, que se analizaron a nivel nacional con su incertidumbre asociada (Castillo 2016, ANACAFE 1998).

Para obtener una estimación de las emisiones más cercana a la realidad y asignar un valor de existencia de biomasa posterior a la deforestación, dependiendo del tipo de actividad que se desarrolla, además de dato obtenido para el país para sistemas agroforestales, se utilizaron los valores generales por defecto, para las tierras convertidas en tierras de cultivo durante el siguiente año de la conversión, de las directrices IPCC 2006 para cultivos anuales y cultivos perennes tropicales muy húmedos y su rango de error asociado que se encuentran en cuadro 5.9 del IPCC (2006). Se utilizaron los valores para estas categorías de otros usos no forestales como se describe a continuación:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Otros usos de la tierra | Ton Carbono/ha | Rango de error y/o incertidumbre | Fuente |
| Tierras de cultivo (todas las clases no especificadas) y pastizales | 5.00 | ±75% | IPCC 2006 (Cuadro 5.9 del capítulo 5 Tierras de cultivo, tierras de cultivo anual) |
| Tierras de cultivo-café (intensivo) | 10.00 | ±75% | IPCC 2006 (Cuadro 5.9 del capítulo 5 Tierras de cultivo, tierras de cultivo perenne tropical muy húmedo) |
| Tierras de cultivo-Palma Africana | 10.00 | ±75% | IPCC 2006 (Cuadro 5.9 del capítulo 5 Tierras de cultivo, tierras de cultivo perenne tropical muy húmedo) |
| Tierras de cultivo-Hule | 10.00 | ±75% | IPCC 2006 (Cuadro 5.9 del capítulo 5 Tierras de cultivo, tierras de cultivo perenne tropical muy húmedo) |
| Sistemas agroforestales (café en sombra) | 28.40 | 1.34% | ANACAFÉ 1998, Castillo 2016. |
| Asentamientos | 0.00 | N/A | IPCC 2006 |
| Humedales | 0.00 | N/A | IPCC 2006 |
| Otras tierras | 0.00 | N/A | IPCC 2006 |

Tabla 8. Carbono en la biomasa posterior a la conversión por deforestación.

# Factores de emisión para degradación y restauración de áreas degradadas

Los factores de emisión por degradación están basados en una aproximación de las densidades de carbono de los estratos del mapa de carbono a nivel nacional. A partir de estás densidades, en las parcelas identificadas en la malla de puntos que tenían originalmente >70% de cobertura forestal y perdieron entre al 30-70% de cobertura en el periodo NREF, o que tuvieron una dinámica inversa donde llegaron a ganar cobertura por encima del 70%, se les asignó un porcentaje de pérdida o ganancia de carbono del 50% como se muestra en la siguiente tabla:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Tipo de bosque** | **Porcentaje de cobertura del dosel** | **(tC/ha)** |
| Bosque no degradado | > 70% | I - 122.06  II - 101.73  III - 97.11  IV - 125.19 |
| Bosque degradado | <70% >30% | I – 61.03  II – 50.87  III – 48.56  IV – 62.60 |

Tabla 9. Criterios utilizados para clasificar las parcelas con degradación.

Con base en los criterios anteriormente descritos, se obtienen los factores de emisión para la Tierra Forestal (TF) que se mantienen como Tierra Forestal (TF) y que pierden o ganan entre 30% y 70% de la cobertura forestal como proxi de la degradación.

# Factores de absorción para incrementos en acervos de carbono

Los factores de absorción que se usaron para estimar la captura de CO2 en las áreas que se convirtieron en plantaciones forestales, que corresponde al carbono que se captura durante el crecimiento en biomasa de los árboles que están en estas áreas que aumentan el área forestal.

Para estimar este dato, se usaron los datos de curvas de crecimiento extraídas de 28 especies de árboles en plantaciones forestales de Guatemala (INAB 2014). Estos resultados son provenientes de la evaluación de unidades de muestreo denominadas “Parcelas Permanentes de Medición Forestal –PPMF”, las cuales se encuentran distribuidas en 90 municipios dentro de los 22 Departamentos de Guatemala, y su ubicación obedece al comportamiento de la distribución geográfica de las plantaciones forestales establecidas principalmente con el beneficio del Programa de Incentivos Forestales PINFOR del Instituto Nacional de Bosques (INAB) desde el año 1998. Los factores de absorción que aquí se describen se desarrollaron en el “Protocolo Metodológico para Línea Base de Aumentos de Stock de Carbono” del INAB.

Se obtuvieron los Incrementos Medios Anuales de Crecimiento (IMAs) haciendo una división de las especies forestales por tipo de bosque (Latifoliado y Conífera), identificando a qué tipo de bosque pertenece cada especie forestal. Se generaron estimaciones robustas de los IMAs de bosques de latifoliadas y bosques de coníferas de la base de datos de parcela permanentes de medición forestal (PPMF).

|  |  |
| --- | --- |
| Factor de captura | Mediana  (m3 ha-1 año-1) |
| IMA en bosque latifoliado | 3.43 |
| IMA en bosque de coníferas | 7.88 |

Tabla 5. IMA para cada tipo de plantaciones forestales.

Para la selección las densidades de la madera, se utilizó el documento llamado “Wood Densities of Tropical Tree Species” el cual contiene un estudio científico de las densidades por árboles de los bosques tropicales en América, también como apoyo y a manera de comparación, se utilizó el documento de “Coníferas de Guatemala” que contiene densidades de las especies arbóreas perteneciente al grupo de bosque de Coníferas (DATAFORG 2000, Reyes et al. 1992)

|  |  |
| --- | --- |
| Tipo de bosque | Densidad gr/cm3 |
| Bosque Latifoliado | 0.62 |
| Bosque de Coníferas | 0.61 |

Tabla 6. Densidad de la madera de acuerdo con los diferentes tipos de plantaciones.

A estos valores se agregan los Factores de Expansión de Biomasa (FEB), que es la relación entre la biomasa aérea con la biomasa subterránea (BA:BS) y la fracción de carbono (FC), con valores por defecto del IPCC como se muestran a continuación.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Estrato | FEB | BA:BS | FC |
| Bosque Latifoliado | 1.50 | 0.2 | 0.47 |
| Bosque de conífera | 1.20 | 0.2 | 0.47 |

Tabla 7. Factores de expansión, relación biomasa aérea subterránea y fracción de carbono para plantaciones forestales.

Finalmente, los datos de carbono por hectárea por año se convierten a un factor de remoción o absorción de CO2 al multiplicarlos por el factor por defecto del IPCC de 44/12. Una vez hechos todos los cálculos, se obtienen los valores para plantaciones en bosques latifoliados y plantaciones en bosques de coníferas.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Estrato | FR (tC/ha) | FR (tCO2 /ha) |
| Bosque Latifoliado | 1.80 | 6.60 |
| Bosque de conífera | 3.25 | 11.93 |

Tabla 8. Factores de remoción para plantaciones forestales.

# Reporte

La herramienta de cálculo, análisis y reporte de los factores de emisión y absorción asociados al mapa de dinámica Forestal 2006 – 2016 de Guatemala están disponibles aquí: Enlace al dashboard de estratos de carbono con mapa de dinámica nuestro

La herramienta de cálculo, análisis y reporte de los estratos de carbono asociados al Mapa de Cobertura Forestal 2016 de Guatemala están disponibles aquí: Enlace al dashboard de estratos de carbono con mapa de dinámica nuestro

La herramienta de cálculo, análisis y reporte del Inventario Forestal Nacional 2002 – 2003 de la República de Guatemala están disponibles aquí: Enlace al dashboard del INF

# Anexo: Herramientas de cálculo y protocolos

El documento técnico en el cual se detalla el enfoque y los resultados del mapa de estratos de carbono se encuentra disponible aquí: <https://www.dropbox.com/s/71rw36lkcccnlli/Metodolog%C3%ADa_Estratos_Carbono.pdf?dl=0>

La herramienta de cálculo, análisis y reporte de los datos de actividad asociados al mapa de dinámica forestal 2006 - 2016 están disponibles aquí. **<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZDRhYWM5ZWMtNTVmYi00N2I3LWFjMDEtMTk3ZmNhMDc3Nzk1IiwidCI6IjhmYmFhNWJmLTJlY2MtNGRjOC1iNTZiLThmOTJlMzA3ZjA3NiIsImMiOjR9>**

El Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (NREF/NRF) a nivel subnacional de Guatemala está disponible aquí: <https://www.dropbox.com/s/dfc5eapxt1u61t0/NREF_Subnacional_web.docx?dl=0>

La metodología, el enfoque, el análisis estadístico de los factores de emisión estimados para Guatemala en el Marco del Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (NREF/NRF) a nivel subnacional está disponible aquí: <https://www.dropbox.com/s/4naqhz2bopg616r/Factores_de_Emisi%C3%B3n_web.docx?dl=0>

La herramienta de cálculo, análisis y reporte de los factores de emisión y absorción asociados al mapa de dinámica Forestal 2006 – 2016 de Guatemala están disponibles aquí: Enlace al dashboard de estratos de carbono con mapa de dinámica nuestro

La herramienta de cálculo, análisis y reporte de los estratos de carbono asociados al Mapa de Cobertura Forestal 2016 de Guatemala están disponibles aquí: Enlace al dashboard de estratos de carbono con mapa de dinámica nuestro

Documento técnico del Inventario Forestal Nacional de Guatemala 2002 – 2003: http://www.fao.org/forestry/23224-015b0b120eb03aa8b646ce6e3095c7a6a.pdf

# Referencia bibliográfica

Gómez Xutuc, 2017. Informe metodológico para la elaboración del mapa de estratos de Carbono de Guatemala.

Instituto Nacional de Bosques.2014. Dinámica de crecimiento y productividad de 28 especies forestales en plantaciones en Guatemala, Serie Técnica No. DT-002(2015). Guatemala 212 p.

IPCC (2006) Directrices para Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Vol. 4, Cap .3. Disponible en: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4\_Volume4/V4\_03\_Ch3\_Representation.pdf

Komiyama, Akira et al. 2008. Alometría, biomasa y productividad de los manglares: una revisión.

MARN, 2020. Programa de Redacción de Emisiones REDD+ de Guatemala ante el Fondo Cooperativo de Carbono de los Bosques (FCPF).

Mokany, Raison & Prokushkin, 2006. Estimación de la biomasa arbórea en los bosques de África Central utilizando modelos alométricos.

Morales Vargas, A., & Herrera, A. (1994). Estudio tecnológico de la madera en tres especies de mangle. Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales, Managua (Nicaragua) Proyecto Conservación para el Desarrollo Sostenible en América Central, Turrialba (Costa Rica).

ONU-REDD, 2015. Consideraciones técnicas para la elaboración de Niveles de referencia de emisiones forestales/Niveles de referencia forestales en el marco de la CMNUCC. FAO, PNUD, PNUMA.

WorldClim. (s.f.). WorldClim - Global Climate Data. Obtenido de <http://worldclim.org>

1. Estos valores de incertidumbre provienen del informe metodológico para la elaboración del mapa de estratos de carbono, sin embargo, no fueron utilizados para la propagación del error en la estimación de incertidumbre. [↑](#footnote-ref-1)