



Estimación de Emisiones del Aprovechamiento Forestal por Tala Selectiva: Propuesta de un método operacional para Colombia

Felipe Casarim, Juan Pablo Ramírez-Delgado, Gabriel Sidman, Blanca Bernal, Anna McMurray y Timothy Pearson.

Diciembre 2017

Tabla de contenido

Introducción	3
Importancia general de la degradación forestal	3
Generalidades sobre la degradación forestal en Colombia	4
Metodología	5
Estimación de emisiones	5
Área de estudio	6
Aprovechamiento forestal en Colombia	7
Recolección de datos de campo	8
Tratamiento de los datos	8
Resultados	9
Factores de emisión	9
Estimación de emisiones en Tarapacá y Arenal	11
Estimación de emisiones históricas en Colombia	11
Discusión	15
Comparación con otros estudios	15
Implicaciones para el aprovechamiento forestal en Colombia	18
Consideraciones para la estimación de emisiones asociadas al aprovechamiento forestal informal en Colombia	18
Estrategias recomendadas para reducir las emisiones en el futuro	19
Conclusiones	20
Referencias Bibliográficas	20

Documento desarrollado por Winrock International. Cita sugerida: F. M. Casarim, J. P. Ramírez-Delgado, G. Sidman, B. Bernal, A. McMurray y T. Pearson. 2017. Estimación de Emisiones del Aprovechamiento Forestal por Tala Selectiva: un método operacional para Colombia. Winrock International. 23 pp.

En caso de dudas o comentarios, por favor contactar al autor principal: Felipe Casarim (fcasarim@winrock.org).

Winrock agradece encarecidamente el apoyo y financiación del Gobierno Federal de la Republica de Alemania para realizar este producto, bajo la International Climate Initiative.

Supported by:



Federal Ministry
for the Environment, Nature Conservation,
Building and Nuclear Safety

based on a decision of the German Bundestag

This project is part of the International Climate Initiative (IKI). The German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety (BMUB) supports this initiative on the basis of a decision adopted by the German Bundestag.

Introducción

En años recientes, numerosos países han enfocado su atención a los bosques tropicales. Esta atención se debe a la importancia que tienen estos ecosistemas en el cambio climático (Gullison et al. 2007, van der Werf et al. 2009), la conservación de la biodiversidad (Laurence et al. 2012, DeFries et al. 2005, Mori et al. 2017) y de los servicios ecosistémicos (Mori et al. 2017). Reconociendo el impacto de las actividades humanas en los ecosistemas forestales, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) ha difundido un mecanismo diseñado para proporcionar incentivos a los países en desarrollo llamada Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de Bosques, Aumento de las Reservas de Carbono, Conservación y Manejo Sostenible de los bosques (REDD+) (Angelsen 2009, Herold & Skutsch 2011).

Colombia, al igual que otros países, es miembro de este mecanismo y está preparándose para la implementación de una Estrategia Nacional REDD+ llamada *“Estrategia Integral de Control a la Deforestación y Gestión de los Bosques”*. A pesar de que los bosques en Colombia se extienden sobre el 52% de su territorio, la deforestación y la degradación forestal que presenta este país ha venido extendiéndose gradualmente, amenazando la integridad de los bosques y contribuyendo en gran medida con las emisiones nacionales (MADS 2012, IDEAM 2017). La estrategia Nacional REDD+ en Colombia, la cual hace parte de las acciones nacionales para la mitigación del cambio climático, está siendo liderada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) (MADS 2012). Dentro de las propuestas de esta estrategia, se encuentra el diseño de un Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques (SNMB) (MADS 2012), que en coordinación con el MADS, ya ha sido diseñado y consolidado por El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), institución pública en Colombia de apoyo técnico y científico que genera conocimiento y produce información confiable, consistente y oportuna sobre el estado y dinámicas de los recursos naturales y del medio ambiente para facilitar la definición y los ajustes de las políticas ambientales y la toma de decisiones por parte de los sectores público y privado a nivel nacional. El SNMB del IDEAM, llamado Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMByC), implementa operativamente la integración de datos de imágenes de sensores remotos con datos de campo para generar información sobre las emisiones asociadas con deforestación y degradación de los bosques naturales en Colombia. En articulación con el MADS, el SMByC reporta ante la CMNUCC los niveles de referencia nacionales (NREF/NRF) como parte del establecimiento de la Estrategia Nacional REDD+.

Aunque el monitoreo de la deforestación ya es operativo en Colombia, uno de los desafíos que el SMByC aún enfrenta es la estimación y/o monitoreo de la degradación forestal. Esto se debe a la naturaleza de las causas de este proceso a nivel nacional y a las dificultades técnicas que involucran estimarla.

Importancia general de la degradación forestal

La degradación forestal ha sido tomada en cuenta como importante contribuyente de las emisiones globales de gases efecto invernadero. Su impacto ha sido poco estudiado debido a las dificultades y desafíos que implican realizar estimaciones al respecto. Esto se debe a que es mucho más complicada y costosa que medir la deforestación, ya que implica cambios en la estructura del bosque y no en el uso del suelo (Herold et al. 2011a, Bustamante et al. 2015).

Desde el punto de vista de la CMNUCC, la degradación forestal, en el contexto de REDD+, hace referencia a la reducción en las reservas de carbono de los bosques que continúan siendo bosques luego de una perturbación (UNFCCC 2008). En ese sentido, se puede asumir que la degradación forestal implica un impacto negativo sobre las reservas de carbono, y que la estimación de este impacto debe realizarse a través de variables forestales que pueden ser medibles en áreas donde la extensión, cobertura de copa y altura mínima de los árboles, permanecen por encima de umbrales establecidos de acuerdo a la definición de bosque que se utilice (i.e., de 0,05 a 1 ha, 10 a 30% de cobertura de copa y 2 a 10 m de altura mínima de los árboles) (FAO 2002, UNFCCC 2002, GOFC-GOLD 2014).

Las perturbaciones que causan degradación forestal, como la recolección de leña, la producción de carbón vegetal, el pastoreo en bosques, los incendios forestales y el aprovechamiento forestal (o tala selectiva) (Herold et al. 2011b, Hosonuma et al. 2012, Kissinger et al. 2012, Pearson et al. 2017), han afectado cerca de 100 millones de hectáreas de bosques al año (FAO 2006, Nabuurs et al. 2007) y más de 850 millones de hectáreas de bosques tropicales (ITTO 2002). En Brasil, por ejemplo, la tala selectiva ha sido responsable del 20% de las emisiones totales de la amazonia brasileña (Asner et al. 2005). En Indonesia, las reservas de carbono de los bosques han estado disminuyendo a una tasa anual del 6%, de los cuales solo un tercio se debe a la deforestación (Marklund & Schoene 2006). De acuerdo con Pearson y colaboradores (2017), las emisiones anuales de degradación forestal de 74 países en desarrollo, los cuales cubren cerca de 2,2 billones de hectáreas de bosques, representaron 2,1 billones de toneladas de CO₂ entre 2005 y 2010, de las cuales 53% se derivaron del aprovechamiento forestal, 30% de la recolección de leña, y 17% de incendios forestales.

Generalidades sobre la degradación forestal en Colombia

Colombia es uno de los países que actualmente está trabajando en identificar alternativas para monitorear la degradación de sus bosques. Esto lo ha venido realizando a través de su SNMB, el SMByC, el cual se rige bajo el Programa Nacional de Monitoreo de Bosques y Áreas de Aptitud Forestal (PMSB) (IDEAM 2008). Dicho sistema cumple con los mandatos de las decisiones de la CMNUCC en el marco de REDD+ (UNFCCC 2011), y genera información necesaria para la toma de decisiones sobre medidas y acciones con respecto a las metas nacionales e internacionales adoptadas por el país en el sector forestal.

Para monitorear la degradación de bosques en Colombia, el SMByC ha propuesto definir este proceso como *“una reducción persistente de los stocks de carbono almacenados en bosques que pueden estar asociados con un decrecimiento sostenido y medible del dosel del bosque y/o del número de árboles por hectárea, siendo siempre el porcentaje de cobertura de bosque mayor a 30%”* (Galindo et al. 2011). Aunque esta definición aún se encuentra en construcción por dicho sistema, ha sido establecida inicialmente como un marco de referencia para estimar la degradación forestal en Colombia de una manera operativa. En contexto, el mismo sistema ha adoptado la definición de bosque de acuerdo a los umbrales establecidos por la CMNUCC (UNFCCC 2002) como toda *“tierra ocupada principalmente por árboles, que puede contener arbustos, palmas, guaduas, hierbas y lianas, en la que predomina la cobertura arbórea con una densidad mínima del dosel de 30%, una altura mínima del dosel (in situ) de 5 m al momento de su identificación y un área mínima de 1,0 ha. Se excluyen las coberturas arbóreas de plantaciones forestales comerciales, cultivos de palma y árboles sembrados para la producción agropecuaria”* (Cabrera et al. 2011, Galindo et al. 2014).

De acuerdo con estas definiciones, el SMByC realizó una aproximación a través de un análisis de fragmentación para estimar las emisiones de degradación forestal en Colombia, las cuales fueron en promedio de 50,67 millones de MgCO₂e al año entre 2000 y 2015 (Ramírez-Delgado et al., en prensa). A pesar de los resultados obtenidos en este estudio, el SMByC ha considerado necesario continuar evaluando metodologías para definir la implementación del monitoreo de la degradación forestal en Colombia de una manera consistente, robusta y costo-efectiva, dando relevancia a aquellas que integren sensores remotos con datos de campo.

Dado a que más de 85% de la degradación forestal en Colombia se debe principalmente al aprovechamiento forestal o tala selectiva (Pearson et al. 2017), el SMByC decidió priorizar metodologías de estimación de las emisiones asociadas a esta actividad. Una de estas metodologías, la cual se ha puesto en práctica alrededor del mundo por su gran eficacia, se basa en información de concesiones madereras y estimaciones sobre las cosechas (Pearson et al. 2014). Debido a que en Colombia no hay presencia de concesiones forestales pero sí de permisos de aprovechamiento forestal, el SMByC, con el apoyo de Winrock Internacional (WI), una institución no gubernamental sin ánimo de lucro que provee asesoría y capacitación innovadora y relevante en temas de mitigación y adaptación al cambio climático dentro del contexto de REDD+, decidieron implementar áreas piloto para la estimación de emisiones asociadas al aprovechamiento forestal en Colombia.

El presente documento tiene como objetivo presentar los resultados de estimación de emisiones de carbono causadas por el aprovechamiento forestal (tala selectiva) en Colombia, siguiendo la metodología de Pearson y colaboradores (2014), la cual se basa en contabilizar por separado las emisiones causadas por el procesamiento, uso y desecho de la troza de los árboles aprovechados; el daño incidental causado por la caída de los árboles aprovechados; y la infraestructura asociada a la tala.

Metodología

Estimación de emisiones

Para la estimación de emisiones causadas por el aprovechamiento forestal en Colombia, se aplicó la metodología de Pearson et al. (2014). Esta metodología se basa en calcular las emisiones provenientes de la pérdida de carbono de la troza extraída (emisiones del tronco extraído-Extracted Log Emissions (ELE)), de la parte superior y del tocón del árbol cortado más la de los árboles dañados o muertos incidentalmente por la caída del árbol talado (factor de daño por la tala-Logging Damage Factor (LDF)), y de los árboles muertos por la construcción de la infraestructura asociada a la tala (factor de infraestructura por la tala-Logging Infrastructure Factor (LIF)). Estas tres fuentes de emisiones se combinan para derivar un único factor de emisiones total (total emission factor TEF), el cual se multiplica por el volumen de madera extraído para estimar las emisiones totales.

A continuación, se presenta una descripción más detallada de las tres fuentes de emisiones de las cuales se deriva la estimación de emisiones por aprovechamiento forestal:

ELE

El factor de emisiones de la troza extraída (ELE) es derivado de la biomasa de la madera extraída de árboles aprovechados, descontando la cantidad de carbono secuestrado permanentemente en productos madereros de larga duración para el cual la madera cosechada es destinada (ejemplo: muebles, material de construcción, etc.). Este factor considera la conversión de la troza en los productos madereros y permite determinar la importancia de reducir el desperdicio relacionado con el procesamiento de las trozas en productos para su comercialización.

LDF

El factor de daño resultante de la tala (LDF) corresponde a las emisiones del árbol talado que permanecen en el bosque (copa, tocón y raíces), así como el daño incidental a árboles vecinos causado por la caída del árbol talado.

LIF

El factor de infraestructura (LIF) corresponde a las emisiones provenientes del establecimiento de pista de arrastre para el transporte de la madera dentro del bosque, creación de plataformas para apilar la madera extraída en un sitio accesible por calle o cuerpos de agua, y construcción de caminos para el transporte de la madera por camiones.

TEF

El factor de emisión final del aprovechamiento forestal o de la tala selectiva (TEF) representa la suma de los tres factores mencionados anteriormente según la siguiente ecuación:

$$TEF = ELE + LDF + LIF$$

Donde:

TEF es el factor de emisión total en tCO₂e/m³,

ELE es el factor de emisión de la troza extraída en tCO₂e/m³,

LDF es el factor de emisión de daño resultante de la tala en tCO₂e/m³, y

LIF es el factor de emisión de infraestructura relacionada a la tala; tCO₂e/m³.

Área de estudio

Para estimar las emisiones causadas por el aprovechamiento forestal en Colombia, se realizaron mediciones en campo de acuerdo a las exigencias de la metodología de Pearson et al. (2014) en dos áreas de aprovechamiento forestal persistente. La primera se localizó en la región Amazonia, en el departamento de Amazonas, en el corregimiento departamental de Tarapacá, y la segunda en la región Pacífico, en el departamento de Antioquía, en la vereda de Arenal del municipio de Vigía del Fuerte (Figura 1). El primer aprovechamiento forestal persistente fue otorgado por la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonía (CORPOAMAZONIA), mediante Resolución 0560 de 2016, en el caso del área ubicada en Tarapacá, y el segundo por la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá (CORPOURABA), mediante Resolución 200-03-20-010682-2011, para el caso del área ubicada en Arenal. Cabe resaltar que las áreas de estudio piloto fueron seleccionadas en articulación y coordinación con estas dos CARs.

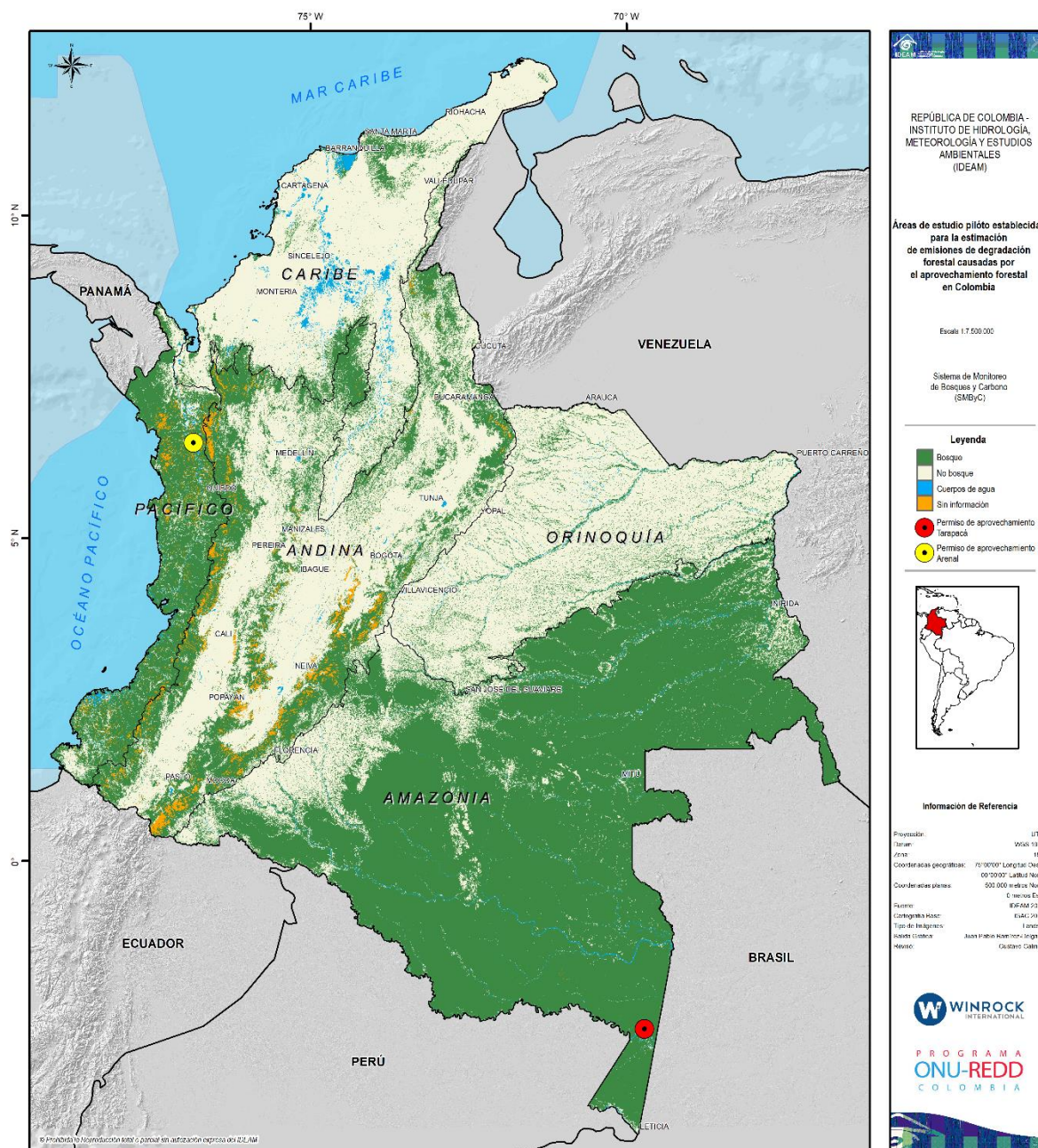


Figura 1: Áreas de estudio piloto establecidas para la estimación de emisiones de degradación forestal causadas por el aprovechamiento forestal (tala selectiva) en Colombia.

Aprovechamiento forestal en Colombia

El aprovechamiento forestal en Colombia se encuentra regulado a través del Régimen de Aprovechamiento (Decreto 1791 de 1996), el cual lo difiere en tres clases: aprovechamiento forestal único (el cual se realiza por una sola vez, en áreas que demuestran mejor aptitud de uso diferente al forestal), persistente (el cual se realiza con criterios de sostenibilidad y con la obligación de conservar el rendimiento natural del bosque con técnicas silvícolas que permitan su regeneración) y doméstico (el cual se ejecuta exclusivamente para

satisfacer necesidades vitales domesticas sin fines comerciales). La actividad de aprovechamiento forestal en Colombia, o el acto de cortar árboles, es una actividad vigilada y controlada por las autoridades ambientales nacionales, llamadas Corporaciones Autónomas Regionales (CARs), las cuales otorgan el permiso o la autorización previa solicitud del interesado. Esta solicitud debe contener como mínimo un plan de aprovechamiento forestal, en el cual se deben describir los métodos y equipos a utilizar para la extracción de los productos del bosque. Después de ser presentada la documentación, la cual es evaluada por la CAR competente, se define si se otorga o no el permiso o la autorización. Este permiso debe contener como mínimo lo siguiente: a) Nombre e identificación del usuario, b) ubicación geográfica del predio (incluyendo linderos mediante límites naturales), c) extensión de la superficie a aprovechar, d) especies a aprovechar (número de individuos, volúmenes, peso o cantidad y diámetros de cortas establecidos), e) sistemas de aprovechamiento y manejo (derivados de los estudios presentados y aprobados), f) obligaciones a las cuales queda sujeto el titular del aprovechamiento forestal, g) medidas de mitigación, compensación y restauración de los impactos y efectos ambientales, h) derechos y tasas, i) vigencia del aprovechamiento y j) reportes semestrales.

Recolección de datos de campo

En el área de estudio piloto en el departamento de Amazonas, en Tarapacá, se recolectaron los datos con la participación de 12 personas, las cuales fueron divididas en dos grupos de seis. Estas personas incluyeron a integrantes de la comunidad local, funcionarios de CORPOAMAZONIA, del SMByC y de WI. Se lograron establecer 28 parcelas para las mediciones asociadas a árboles cosechados y su daño incidental, y tres para la recolección de datos asociados a la infraestructura.

En cuanto al área de estudio piloto en el departamento de Antioquia, en Arenal, la recolección de datos de campo se realizó con la participación de 23 personas, las cuales se dividieron en dos grupos de ocho y uno de siete. Estas personas incluyeron a integrantes de la comunidad local, del Consejo Comunitario Mayor de la Asociación Campesina Integral del Atrato (COCOMACIA), funcionarios de CORPOURABA, del SMByC y de WI. Se lograron establecer 33 parcelas para las mediciones asociadas a árboles cosechados y su daño incidental, y tres para la recolección de datos asociados a la infraestructura.

La recolección de los datos de campo en cada una de las áreas de estudio piloto establecidas (Figura 1) incluyeron: a) mediciones del tocón y la copa del árbol cosechado; b) mediciones de las piezas del tronco que quedaron en el suelo del bosque; c) mediciones de la troza cosechada (en los casos en los que se encontraba presente); d) mediciones de los árboles dañados como resultado de la cosecha que tuvieran mínimo 10 cm de Diámetro a la Altura del Pecho (DAP); e) mediciones del área de la abertura del dosel causada por el árbol talado; f) longitud y ancho de los caminos y/o trochas de arrastre, incluyendo mediciones de los tocones aún presentes con un mínimo de 10 cm de DAP, como resultado de su construcción; y g) área de los patios de apilamiento de las trozas aprovechadas, incluyendo mediciones de los tocones aún presentes con un mínimo de 10 cm de DAP, como resultado de su construcción.

Tratamiento de los datos

Todos los datos recolectados en campo fueron verificados por el líder de cada equipo antes de proseguir a la próxima parcela de aprovechamiento. Al final de la jornada, los diferentes grupos de recolección de datos

discutieron situaciones anómalas encontradas y acordaron procedimientos estándares de la recolección de datos en caso de que dicha anomalía fuera encontrada nuevamente.

Al final del entrenamiento en campo, todos los datos recolectados se insertaron en la herramienta de cálculo de Microsoft Excel desarrollada por WI. Esta herramienta permitió estandarizar el tratamiento y análisis de los datos, y por ende, minimizar las posibilidades de errores o discrepancias en el tratamiento de los datos. El manual de usuario de dicha herramienta, el cual describe la aplicación de las ecuaciones, fue preparado para aumentar la transparencia y permitir refinamientos en los métodos y asunciones tomadas.

Resultados

Factores de emisión

Un total de 61 claros fueron establecidos: 28 en Tarapacá y 33 en Arenal. El análisis estadístico t-student de los datos indicó que no hay evidencias de diferencias estadísticas entre los factores de emisión estimados en Tarapacá y Arenal.

El 70% de los claros medidos representó un árbol talado, el 15% dos árboles, el 10% tres árboles y el 5% cuatro árboles (Figura 2). El área promedio de abertura del dosel resultante de la tala de los arboles (área del claro) fue de 315 m²/claro aproximadamente.

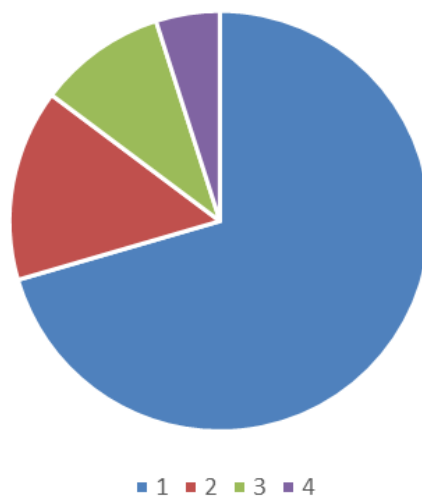


Figura 2: Número de árboles derribados por claro, de acuerdo a las mediciones tomadas en Tarapacá y Arenal. [1] equivalente al 70%, [2] equivalente al 15%, [3] equivalente al 10%, [4] equivalente al 5%.

De acuerdo a los datos tomados en campo, el volumen promedio del árbol talado y extraído del bosque fue de 4.5 m³/claro. El promedio del contenido de carbono estimado en el árbol talado (incluyendo copa, ramas, troza y raíces) fue de 4.4 tC/claro (el cual suma los 1.6 tC/claro, que es el promedio del daño incidental de la caída del árbol talado a los arboles vecinos), teniendo como resultado una pérdida total de biomasa del bosque (emisión) de aproximadamente 5.9 tC/claro. De este total, solamente un promedio de 1.3 tC/claro fue extraído del bosque como producto maderero, teniendo como resultado un aprovechamiento de aproximadamente 22% de la biomasa forestal emitida de la tala selectiva en Colombia.

Esto implica que aproximadamente el 78% de la biomasa forestal emitida, como resultado del aprovechamiento forestal o de la tala selectiva en Colombia, es abandonada en el bosque.

En la Tabla 1 se presentan los promedios de las métricas derivadas por claro a partir de los datos recolectados en campo de los dos sitios de aprovechamiento forestal persistente en Colombia: Tarapacá y Arenal.

Tabla 1: Métricas principales derivadas de los datos de campo recolectados en Tarapacá y Arenal.

DAP (cm)	Longitud de la troza (m)	Área de abertura del dosel (m ²)	Volumen extraído (m ³ /claro)	Biomasa extraída (tC/claro)	Biomasa dañada (copa, ramas, tocón, raíces) (tC/claro)	Daño incidental (tC/claro)	Biomasa total dañada por claro (tC/claro)
61.4	10.8	314.5	4.5	1.3	3.1	1.6	4.7

A continuación, se presentan los resultados parciales de acuerdo al seguimiento de los componentes de la metodología desarrollada por Pearson et al. (2014):

ELE

Los productos madereros para los cuales la madera cosechada es destinada, de acuerdo a lo compartido por COPOAMAZONIA y CORPOURABA, son los siguientes:

- Vivienda unifamiliar
- Muebles
- Construcción no residencial

Basado en estos productos, y según las mediciones en campo de la troza extraída por claro, el ELE promedio estimado fue de 0.95 tCO₂e/m³, con una incertidumbre de la media a un nivel de confianza de 95% igual a 0.9%.

LDF

El principal contribuyente de LDF corresponde a la biomasa de la copa, tocón y raíces del propio árbol talado. Con un promedio de 3.1 tC/claro, contribuye con 72% al daño total en el claro promedio medido en Colombia. El otro 28% del LDF viene de árboles dañados incidentalmente, con un estimado de cuatro árboles por claro de un DAP promedio de 23.6 cm, dando como resultado un daño incidental promedio de 1.6 tC/claro.

El LDF promedio estimado fue de 5.7 tCO₂e/m³, con una incertidumbre de la media a un nivel de confianza de 95% igual a 25.3%.

LIF

En los dos sitios de aprovechamiento forestal visitados (Tarapacá y Arenal), la madera es transportada por río, por lo que se excluyó el componente de caminos de las estimaciones de LIF. Considerando que las trozas son cortadas en bloques de tamaños específicos con la motosierra dentro del bosque, las pistas de arrastre constituyen básicamente senderos que no causan mucho daño en la estructura del bosque, los cuales son utilizados por los propios madereros que transportan los bloques de madera en sus hombros hasta el río

para su posterior transporte fluvial por bote o barco, dando como resultado una emisión promedio de 117 tCO₂e/km de pistas de arrastre. Debido a que solo se lograron hacer mediciones en campo respecto a la estimación del factor LIF en una sola plataforma de apilamiento de madera, la cual se encontró en Tarapacá, se obtuvo una emisión estimada de 10.5 tCO₂e/plataforma.

Sumando las emisiones de pista de arrastre y de la plataforma, se estimó un LIF de 0.88 tCO₂e/m³, con una incertidumbre de la media a un nivel de confianza de 95% igual a 50.9%.

TEF

El TEF estimado para Colombia, basado en el levantamiento de datos realizado en Tarapacá y Arenal, fue de 7.4 tCO₂e/m³, con una incertidumbre de la media a un nivel de confianza de 95% igual a 56.8%. La incertidumbre del TEF fue estimada a través del método de propagación de errores de las incertidumbres del ELE, LDF y LIF respectivamente (Pearson et al. 2014).

Tabla 2: Estimativos de los factores de emisiones por aprovechamiento forestal o tala selectiva para Colombia (ELE, LDF, LIF y TEF), incluyendo incertidumbres asociadas a un nivel de confianza de 95%.

País	ELE	LDF	LIF	TEF
	- tCO ₂ e/m ³ -			
Colombia	0.9 (0.9%)	5.7 (25.3%)	0.9 (50.9%)	7.5 (56.8%)

Estimación de emisiones en Tarapacá y Arenal

Utilizando los datos compartidos por CORPOAMAZONIA del sitio de aprovechamiento forestal persistente visitado en Tarapacá, y por CORPOURABA del sitio de aprovechamiento forestal persistente visitado en Arenal, se estimaron las emisiones totales resultantes del aprovechamiento forestal o tala selectiva en cada una de las áreas de estudio piloto.

Los datos del aprovechamiento realizado en una Unidad de Corta Anual (UCA) en Tarapacá indican que el volumen total aprovechado fue de 2,804 m³ en 2015. Aplicándose el factor de emisiones total (TEF), se estima un total de emisiones para esta UCA de 20,752 tCO₂e para ese año.

Para la región de Arenal, el salvoconducto de COCOMACIA para 2013 indica un volumen movilizado de 780 m³ aproximadamente. Convirtiendo este volumen al talado estimado, utilizando el factor de conversión de la troza al bloque con la motosierra en el bosque, se estimaron 1,248 m³ talados, resultando así en una emisión total de 9,238 tCO₂e.

Estimación de emisiones históricas en Colombia

Se asume que los datos recolectados en campo son válidos para una primera aproximación de las emisiones por aprovechamiento forestal o tala selectiva en Colombia, ya que no se identificaron diferencias estadísticas entre los datos de Tarapacá y Arenal. Aunque los sitios están ubicados geográficamente en los extremos Oriente y Occidente del país (Figura 1), y representan dos formaciones forestales de composición y estructura diferente, los tratamientos o prácticas silviculturales, y por ende, los factores de emisión, son considerados similares. Sin embargo, es de resaltar que se debe realizar un muestreo mucho mayor, con mínimo 100 claros (similar a la cantidad de claros medidos en los países publicados en el artículo de

Pearson et al. (2014)), para así tener una representatividad de lo que ocurre en la realidad en cuanto a las emisiones dadas por el aprovechamiento forestal o tala selectiva en Colombia.

Para la estimación de emisiones históricas se adoptó el periodo de referencia entre los años 2010 y 2017. Este periodo de referencia se puede cambiar según las preferencias del país. Sin embargo, en este estudio fue elegido para permitir la representación de las emisiones relacionadas a la tala selectiva de los bosques naturales de Colombia dentro de la última década.

Para la estimación de las emisiones históricas de Colombia se utilizaron los datos de volumen movilizados reportados por todas las CARs, los cuales son considerados oficiales y pueden encontrarse publicados en línea en la página del Sistema Nacional de Información Forestal (SNIF)¹ (Tabla 3).

Tabla 3: Volumen movilizado por CAR entre 2010-2017 (extraídos del SNIF)

ENTIDAD	Volumen movilizado (m3)								
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TOTAL
CAM	-	-	298	1,096	648	-	1,280	281	3,603
CAR	-	-	-	-	1,112	-	2	330	1,444
CARDER	-	-	1,093	1,502	496	1,507	1,844	1,245	7,687
CARDIQUE	-	-	43	46	14	2	-	-	105
CARSUCRE	-	-	-	261	579	364	129	50	1,383
CAS	-	6	202	124	56	-	1,125	255	1,768
CDA	-	-	1,329	405	809	-	46	17	2,606
CODECHOCO	-	619	3,123	67	2,949	120	553	931	8,362
CORANTIOQUIA	-	-	3,819	5,902	2,762	-	-	-	12,483
CORMACARENA	-	-	2,461	2,412	1,234	78	421	621	7,227
CORNARE	-	-	2	1	-	7	9	-	19
CORPOAMAZONIA	-	213	1,373	21	1,653	1,529	4,232	2,512	11,533
CORPOBOYACA	3	184	692	134	1,222	974	1,255	698	5,162
CORPOCALDAS	-	-	-	-	51	21	98	34	204
CORPOCESAR	-	-	139	281	284	-	-	-	704
CORPOCHIVOR	-	-	33	24	2	-	-	-	59
CORPOGUAJIRA	-	-	126	261	277	-	-	-	664
CORPOGUAVIO	-	-	7	9	64	145	3	2	230
CORPOMOJANA	-	-	122	165	113	-	-	-	400
CORPONARIÑO	-	-	-	-	-	19	4,491	-	4,510
CORPORINOQUIA	-	-	-	2	5	5	-	1	13
CORPOURABA	-	-	144	676	359	-	-	-	1,179
CORTOLIMA	-	-	14	8	10	-	-	-	32
CRA	-	-	1	-	1	-	-	-	2
CSB	-	-	1	469	372	-	-	-	842
CVC	-	-	2,607	3,001	9,445	-	-	-	15,053
CVS	-	-	-	-	-	-	28	1	29
EPA	-	-	80	127	36	-	-	-	243

¹ Para más detalles favor remitirse a: <http://www.siac.gov.co/en/snif>

ENTIDAD	Volumen movilizado (m3)								
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TOTAL
MATISSE GROUP C,I, S,A	1	-	756	3,957	2,725	-	-	-	7,439
SDA	-	-	5	51	7	-	3	5	71
TOTAL	4	1,022	18,470	21,002	27,285	4,771	15,519	6,983	95,056

Se utilizaron volúmenes movilizados en vez de volúmenes otorgados, ya que el volumen movilizado puede ser convertido al volumen talado mediante un factor de desperdicio que tiene en cuenta la conversión de la troza en bloques, los cuales representan el volumen movilizado. Este factor de desperdicio, según comunicaciones personales con madereros y expertos de CORPOAMAZONIA, es de 60% aproximadamente. Esto implica que más o menos el 60% de la troza extraída es desperdiciada en la conversión de la troza en bloques de madera aprovechable.

Aplicándose el factor de emisión total de la tala selectiva (TEF) derivado de los datos recolectados en campo en Tarapacá y Arenal, equivalente a 7.4 tCO₂e/m³, se estimó el total de las emisiones de la tala selectiva en cada CAR de Colombia entre 2010 y 2017. El resultado total es aproximadamente 1.1 millones de tCO₂e entre 2010 y 2017 (Tabla 4), equivalente a un promedio anual de 140,652.8 tCO₂e/año.

Tabla 4: Emisiones resultantes en tCO₂e asociadas al aprovechamiento forestal o tala selectiva de los bosques naturales de cada CAR de Colombia.

ENTIDAD	Emisiones (tCO ₂ e)								
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TOTAL
CAM	-	-	3,590.6	13,205.6	7,807.7	-	15,422.6	3,385.7	43,412.2
CAR	-	-	-	-	13,398.4	-	24.1	3,976.1	17,398.6
CARDER	-	-	13,169.5	18,097.5	5,976.3	18,157.7	22,218.2	15,000.9	92,620.0
CARDIQUE	-	-	518.1	554.2	168.7	24.1	-	-	1,265.1
CARSUCRE	-	-	-	3,144.8	6,976.3	4,385.8	1,554.3	602.4	16,663.6
CAS	-	72.3	2,433.9	1,494.1	674.7	-	13,555.0	3,072.5	21,302.5
CDA	-	-	16,013.0	4,879.8	9,747.6	-	554.2	204.8	31,399.5
CODECHOCO	-	7,458.3	37,628.8	807.3	35,532.2	1,445.9	6,663.0	11,217.5	100,753.0
CORANTIOQUIA	-	-	46,014.8	71,112.7	33,279.1	-	-	-	150,406.6
CORMACARENA	-	-	29,652.4	29,062.0	14,868.4	939.8	5,072.6	7,482.4	87,077.5
CORNARE	-	-	24.1	12.0	-	84.3	108.4	-	228.9
CORPOAMAZONIA	-	2,566.4	16,543.2	253.0	19,916.9	18,422.8	50,991.0	30,266.9	138,960.1
CORPOBOYACA	36.1	2,217.0	8,337.8	1,614.6	14,723.8	11,735.6	15,121.4	8,410.1	62,196.5
CORPOCALDAS	-	-	-	-	614.5	253.0	1,180.8	409.7	2,458.0
CORPOCESAR	-	-	1,674.8	3,385.7	3,421.9	-	-	-	8,482.4
CORPOCHIVOR	-	-	397.6	289.2	24.1	-	-	-	710.9
CORPOGUAJIRA	-	-	1,518.2	3,144.8	3,337.5	-	-	-	8,000.5
CORPOGUAVIO	-	-	84.3	108.4	771.1	1,747.1	36.1	24.1	2,771.2

ENTIDAD	Emisiones (tCO2e)								
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TOTAL
CORPOMOJANA	-	-	1,470.0	1,988.1	1,361.5	-	-	-	4,819.6
CORPONARIÑO	-	-	-	-	-	228.9	54,111.7	-	54,340.6
CORPORINOQUIA	-	-	-	24.1	60.2	60.2	-	12.0	156.6
CORPOURABA	-	-	1,735.0	8,145.1	4,325.6	-	-	-	14,205.7
CORTOLIMA	-	-	168.7	96.4	120.5	-	-	-	385.6
CRA	-	-	12.0	-	12.0	-	-	-	24.1
CSB	-	-	12.0	5,650.9	4,482.2	-	-	-	10,145.2
CVC	-	-	31,411.5	36,158.8	113,802.0	-	-	-	181,372.3
CVS	-	-	-	-	-	-	337.4	12.0	349.4
EPA	-	-	963.9	1,530.2	433.8	-	-	-	2,927.9
MATISSE GROUP C,I, S,A	12.0	-	9,109.0	47,677.5	32,833.3	-	-	-	89,631.9
SDA	-	-	60.2	614.5	84.3	-	36.1	60.2	855.5
TOTAL	48.2	12,314.0	222,543.4	253,051.3	328,754.6	57,485.4	186,987.1	84,137.6	1,145,321.4

Siguiendo la tendencia de volumen movilizado o talado reportado por el SNIF, se nota un aumento de 2010 hasta 2014, seguido de una drástica reducción en 2015, un nuevo aumento en 2016 y nueva reducción en 2017 (Figura 3).

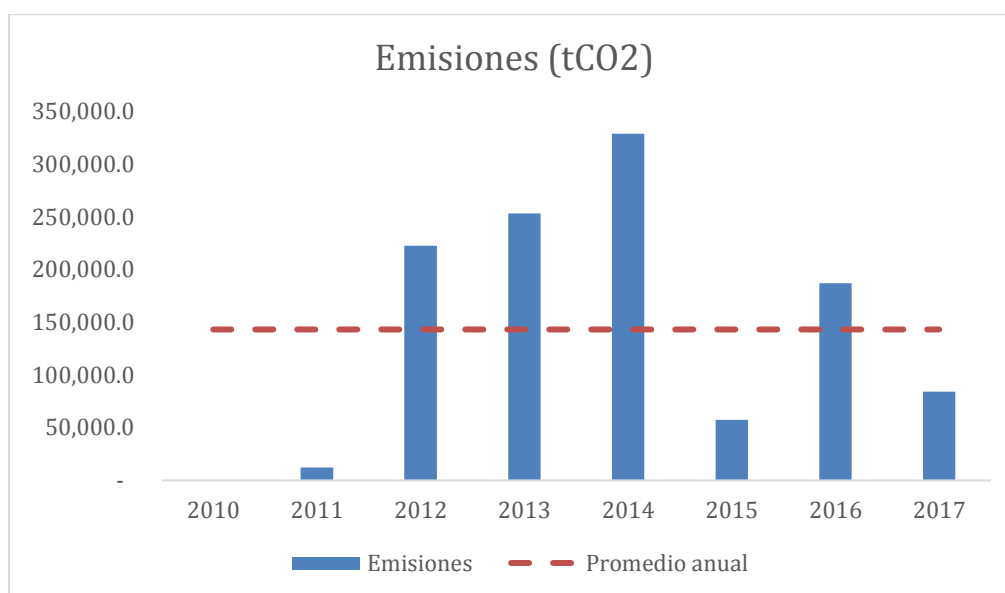


Figura 3: Emisiones asociadas al aprovechamiento forestal o tala selectiva de los bosques naturales de Colombia entre 2010 y 2017.

Discusión

Comparación con otros estudios

Factores de emisión

El factor de emisión total (TEF) para Colombia se encuentra dentro del rango de los factores de emisión publicados en el artículo de Pearson et al. (2014), ya que en Colombia se estimó un TEF de 7.5 tCO₂e/m³ (Tabla 5). Es de notar que para permitir la comparación entre estas estimaciones fue necesario convertir todos los valores a una unidad común, ya que los valores publicados en Pearson et al. (2014) están en Mg C/m³. Para esta conversión se utilizó el factor 44/12, lo cual representa la masa molecular del CO₂, de 44, dividida por la masa molecular del C de 12.

Tabla 5: Comparación de los factores de emisión por aprovechamiento forestal o tala selectiva estimados para Colombia, con los factores de emisión de siete países donde se empleó la misma metodología.

País	ELE	LDF	LIF	TEF
	- tCO ₂ e/m ³ -			
Colombia	0.9	5.7	0.9	7.5
Belice	1.0	4.6	-	-
Bolivia	1.1	4.5	-	-
Brasil	1.4	2.6	-	-
Guyana	1.3	3.6	3.6	8.5
Ghana	0.8	2.5	0.5	3.8
República del Congo	0.9	1.8	0.9	3.6
Indonesia	0.9	2.1	2.5	5.5

Al comparar los elementos específicos del TEF en Colombia con los de otros países, se observa que el ELE y el LIF se encuentran dentro del rango estimado en los otros países. En Colombia, el ELE estimado fue de

0.95 tCO₂e/m³, lo que representa el ELE más bajo de los países de Latinoamérica (Tabla 5). Esto muestra que Brasil lidera con un ELE de 1.4 tCO₂e/m³, seguido de Guyana (1.3 tCO₂e/m³), Bolivia (1.1 tCO₂e/m³) y Belice (1.0 tCO₂e/m³). Es de notar que los ELE publicados en Pearson et al. (2014) no tienen en cuenta la biomasa permanentemente secuestrada en los productos madereros de larga vida, mientras el ELE reportado para Colombia si lo hace. La sustracción de los productos madereros de larga vida del ELE reduciría el valor del mismo en un 5% aproximadamente.

Las diferencias más notables de los datos recolectados en Colombia en comparación con los de otros países son con relación al LDF (Tabla 5). Estas diferencias se deben a la presencia de algunos datos atípicos encontrados en los datos recolectados en Colombia, donde los LDF de al mínimo 3 claros sobrepasan las 15 tCO₂e/m³ (Figura 4), aumentando así la media.

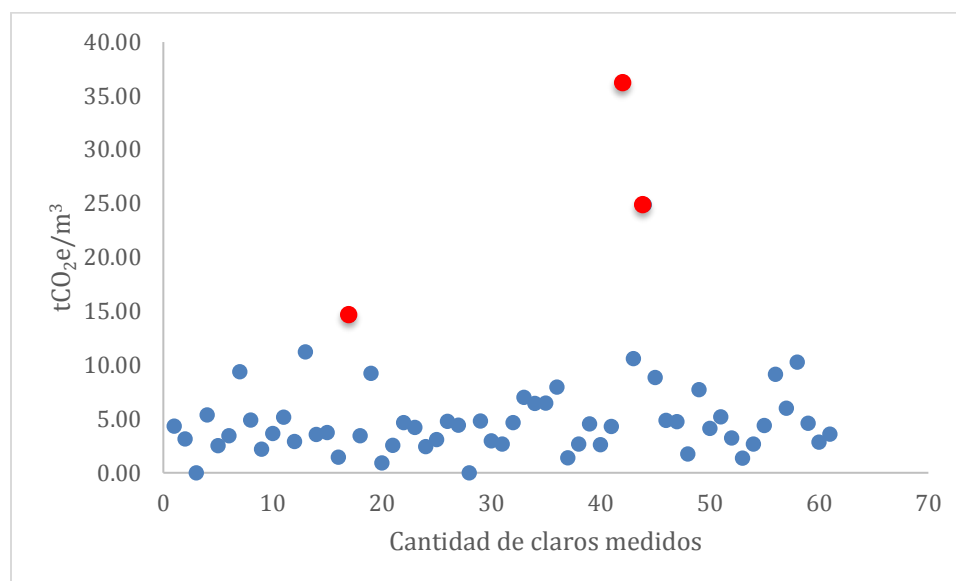


Figura 4: Gráfico de dispersión de los LDF estimados para cada claro medido en Colombia.

Analizando estos tres datos atípicos más cercanamente, se nota que el LDF, el cual está intrínsecamente ligado al volumen de madera extraído y a la cantidad de daño causado en el claro, es resultado de un bajo volumen extraído (por ejemplo, el claro con el LDF más grande de todos, igual a 36.2 tCO₂e/m³, tiene un volumen extraído de 0.3m³). Es importante resaltar que este punto indica una práctica silvicultural de aprovechamiento forestal de baja eficacia, ya que, en otras palabras, se aprovecha muy poca madera del bosque y se deja mucho desperdicio (copas, ramas, tocón y raíces) generando por el daño causado.

Una causa de esta baja eficiencia puede estar vinculada a la falta de una buena infraestructura para transportar la madera aprovechada. Dado que los madereros tienen que transportar la madera por sus propios medios, tienen que aserrarla en bloques más pequeños antes de transportarla en sus hombros. Es por esto que buscan pedidos con cantidades de bloques o tablas específicas y asierran solamente lo que es necesario para cumplir los pedidos, dejando el resto del árbol en el bosque. Con un mejor sistema de transporte se podrían sacar troncos enteros y buscar la forma de usar lo más que se pueda de la madera en los troncos. Esto se podría lograr por fuera del bosque y a través del uso de un molino en lugar de una

motosierra, la cual podría cortar la madera con mayor eficiencia y precisión. En este sentido, se caracterizaría la práctica silvicultural para el aprovechamiento forestal en Colombia como de muy baja eficacia en comparación con la de otros países (Tabla 5).

Con el objetivo de refinar la estimación del LDF en Colombia, y tomando en consideración los datos atípicos tomados, se recomienda la recolección de más datos de campo (hasta 100 claros en total, lo cual es similar a la cantidad de claros medidos en los países publicados en el artículo de Pearson et al., (2014)). Otra alternativa sería realizar un análisis estadístico más a fondo para determinar el valor del umbral que define la existencia de datos atípicos para así excluirllos del promedio final.

En relación al LIF, Colombia presenta un $0.9 \text{ tCO}_2\text{e}/\text{m}^3$. Comparando este valor con el presentado en Guyana, que es de $3.6 \text{ tCO}_2/\text{m}^3$, se podría decir que el de Colombia es mucho más bajo. Esto se puede deber a que la extracción de madera del bosque en Guyana se da con tractores de arrastre en pistas limpiadas con tractores bulldozer, mientras que en Colombia los madereros transportan la madera en sus propios hombros a través de senderos no muy pronunciados (Figura 5).



Figura 5: Ejemplo de arrastre de la madera talada en a) Guyana y b) Colombia.

Emisiones históricas

En relación a las emisiones históricas, Colombia apunta a tener un total de emisiones de degradación forestal asociadas al aprovechamiento forestal substancialmente más bajo que las emisiones reportadas por la misma actividad en el Nivel de Referencia de Guyana² y Ghana³.

² http://redd.unfccc.int/files/guyanas_proposal_for_reference_level_for_redd_-_final_sept_2015.pdf

³ http://redd.unfccc.int/files/ghana_national_reference_level_01.01_2017_for_unfccc-yaw_kwakye.pdf

Estas naciones estiman emisiones históricas resultantes del aprovechamiento forestal utilizando el mismo método aplicado y discutido en este estudio (derivado de la publicación de Pearson et al. (2014)). Estos países reportan también que las emisiones anuales del aprovechamiento forestal a través de la tala selectiva es cerca de 3.6 millones de tCO₂e/año, mientras que el total de las emisiones del aprovechamiento forestal en Colombia es de cerca 1.15 millones de tCO₂e durante todo el periodo de referencia (de 2010 hasta 2017, o sea, un total de 8 años). Esto es equivalente a un promedio anual de 140,653 tCO₂e aproximadamente, o a cerca de un 4% de las emisiones anuales por la misma actividad en Guyana o Ghana.

Implicaciones para el aprovechamiento forestal en Colombia

Una consideración importante en relación a las emisiones estimadas en este estudio, y que merece ser resaltada, es la necesidad de reportar el volumen talado de una manera más precisa y transparente en Colombia. Considerando que las emisiones totales son directamente dependientes del volumen talado a nivel nacional (el cual es el dato de actividad en la aplicación de esta metodología, ya que las unidades del factor de emisión son dadas en tCO₂e/m³), la necesidad de recibir reportes exactos, precisos y transparentes del volumen talado desde las CARs distribuidas en el territorio se hace fundamental. Aunque Colombia tiene un Sistema Nacional de Información Forestal robusto (el SNIF), existen muchas dudas sobre la exactitud y consistencia de los datos reportados por las CARs en la plataforma virtual que dicho sistema tiene (<http://snif.ideam.gov.co:8380/ideam-snif-web/>).

En este estudio se utiliza el volumen movilizado, el cual se multiplica por un factor de conversión resultante del procesamiento de la troza en bloques con la motosierra en el bosque, ya que en Colombia no se reporta el volumen del árbol caído. Se recomienda considerar seriamente que las CARs afinen el reporte sobre el volumen del árbol caído para así mejorar la precisión de los resultados presentados aquí, y por ende, el estado de las emisiones por el aprovechamiento forestal en el país.

Consideraciones para la estimación de emisiones asociadas al aprovechamiento forestal informal en Colombia

Según discusiones dadas entre el SMByC, las CARs y WI, y las experiencias que se obtuvieron en campo, existe la percepción de que mucho del aprovechamiento forestal en Colombia se hace de manera informal. El aprovechamiento informal hace referencia al aprovechamiento que no se reporta ante ninguna autoridad ambiental (CAR), y por ende, no se contempla en los salvoconductos ni en el SNIF. Este tipo de aprovechamiento es difícil de incluir en las estimaciones de emisiones por dos razones: (1) Se hace difícil realizar mediciones en campo para estimar factores de emisión precisos para este tipo de aprovechamiento, ya que muchas veces no se sabe dónde se realiza este tipo de aprovechamiento, o los madereros no permiten que se hagan las mediciones en estos lugares. Con la aproximación realizada en este estudio, se podría asumir que esto no es un problema muy grande para Colombia, ya que se pueden utilizar los mismos factores de emisión que se calcularon para el aprovechamiento forestal formal. Es por esto que no sería necesario realizar mediciones adicionales para el aprovechamiento informal. Las características de las prácticas de aprovechamiento formal observado son muy similares a las características de aprovechamiento informal que se puede observar en otros países. Estas características incluyen poca infraestructura construida para el aprovechamiento y un aserrado dentro del bosque que deja mucho desperdicio. (2) No es fácil incluir el aprovechamiento informal en la estimación de emisiones, ya que no se reportan los volúmenes aprovechados de este tipo de aprovechamiento a las CARs. Este es un problema que limita la habilidad del gobierno de Colombia para entender el impacto del aprovechamiento

en sus bosques. La única manera de solucionar esto es tratando de fortalecer la trazabilidad de la madera, implementando más puntos de chequeo dentro de la línea del mercado de la madera, desde el punto en que la madera sale del bosque hasta que llega al mercado. Muchas veces la madera aprovechada de manera informal entra al mercado formal para la venta, por lo que si se podrían contabilizar los volúmenes más cercanos a la venta, lo cual aumenta las posibilidades de incluir la madera informal en las estimaciones de emisiones dadas por esta actividad.

Estrategias recomendadas para reducir las emisiones en el futuro

Los resultados presentados y discutidos anteriormente sugieren una gran oportunidad para Colombia en aumentar su eficiencia en el aprovechamiento forestal de bosques nativos a través del aprovechamiento forestal o la tala selectiva, con la posibilidad de mantener una estrategia de reducción de emisiones por esta actividad. Aunque las emisiones relacionadas a dicha actividad son bajas en comparación con la reportadas por otros países, como Guyana y Ghana, existe una ineficiencia importante en las prácticas silviculturales en el país, lo cual abre puertas para fomentar una optimización en relación al aumento del volumen extraído por árbol talado y al daño causado incidental durante la caída del árbol comercial.

En otras palabras, este estudio evidencia una oportunidad de aumentar el volumen de madera extraído por árbol, manteniendo el daño al bosque circundante como una estrategia viable para reducir emisiones de esta actividad. Unos ejemplos de prácticas específicas que podrían ayudar a realizar esta meta son:

- Fomentar el arrastre de trozas enteras a través de cables para su conversión en los aserraderos maquinizados, permitiéndose así una reducción en los componentes ELE y LDF.
 - Usar aserraderos portátiles para el uso más cerca de los sitios de aprovechamiento. Esto podría reducir el desperdicio que queda en el bosque.
 - Ejecutar un plan de financiamiento para los madereros. Esto podría ayudar a instalar un sistema de cables o a comprar aserraderos portátiles, los cuales serían muy difíciles de comprar no solo para los madereros como tal, sino también para las cooperativas madereras o comunidades que comúnmente aprovechan los bosques en Colombia.
 - Buscar mercados o pedidos para partes de los troncos más pequeños para así aprovechar más madera del árbol.
 - Considerar el aprovechamiento de partes del árbol más arriba de la bifurcación de la copa, las cuales podrían cumplir con el diámetro y longitud necesarios para la obtención de bloques. En las mediciones en campo realizadas en este estudio se midió la madera arriba del corte superior de las trozas aprovechadas, las cuales tenían un volumen promedio de 31% con respecto al volumen de las trozas aprovechadas. El aprovechamiento de esta madera “extra” bajaría la cantidad de emisiones de manera significativa.
 - Talar los árboles hacia espacios donde se encuentren otros árboles grandes que posiblemente podrían ser comerciales.
 - Cortar lianas antes de talar para así evitar o reducir el daño incidental.
-

Conclusiones

Actualmente Colombia no cuenta con un método operacional adoptado para estimar y reportar emisiones del aprovechamiento forestal de sus bosques nativos. Sin embargo, el presente estudio evidencia la validez y operatividad de un método propuesto como una forma viable de estimar y reportar emisiones resultantes de dicha actividad.

El país necesita encarecidamente un sistema operacional y transparente que reporte con exactitud el volumen de madera talado en sus bosques nativos. En este estudio se utilizó el volumen movilizado como insumo, ya que se asume que es la métrica actualmente disponible que mejor permite un acercamiento del volumen de madera talado en los bosques para así estimar la biomasa forestal a la que equivalen las emisiones emitidas como resultando del aprovechamiento forestal o tala selectiva. El volumen otorgado no sería la métrica apropiada para este propósito, ya que solamente representaría la biomasa permitida a ser aprovechada y no la emitida en la realidad; por ende, si se hubiera utilizado esta métrica, se hubieran obtenido estimaciones de emisiones indebidas o inexactas.

El aprovechamiento forestal en Colombia, comparado con el de otros países donde se ha empleado la misma metodología para estimar sus emisiones por tala selectiva, parece sufrir de una seria ineficiencia en relación al volumen extraído o comercializado, a la proporción del daño causado en el bosque y consecuentes emisiones de biomasa forestal. A pesar de sonar como una crítica severa, podría representar una importante oportunidad de fomento al sector forestal nacional, permitiendo avanzar no solo en una estrategia de reducción de emisiones por degradación forestal y participar en mecanismos de pagos por resultados, como REDD+, sino también avanzar en el desarrollo socio-económico de sus actores que practican esta actividad en el país.

Es importante resaltar la necesidad que tiene Colombia en plantear proyectos que involucren la continuidad e implementación de la metodología empleada en este estudio, con el fin de fortalecer el monitoreo de la degradación forestal asociada al aprovechamiento forestal a nivel nacional y sub-nacional.

Referencias Bibliográficas

- Angelsen A. 2009. Realising REDD+: National strategy and policy options. With Brockhaus M, Kanninen M, Sills E, Sunderlin WD, Wertz-Kanounnikoff S, (eds.). CIFOR. Bogor Indonesia.
- Asner GP, Knapp DE, Broadbent EN, Oliveira OJC, Keller M, Silva JN. 2005. Selective logging in the Brazilian Amazon. *Science* 310: 480-482
- Cabrera ED, Vargas D, Galindo G, García MC, Ordoñez MF. 2011. Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes para la Cuantificación de la Deforestación en Colombia, Nivel Nacional Escala Gruesa y Fina. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Bogotá D.C., Colombia.
- DeFries R, Hansen A, Newton AC, Hansen MC. 2005. Increasing Isolation of Protected Areas in Tropical Forests Over the Past Twenty Years. *Ecological Applications* 15(1):19-26. Disponible en: <http://www.esajournals.org/doi/abs/10.1890/03-5258>. doi: 10.1890/03-5258 5.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2002. Proceedings: second expert meeting on harmonizing forest-related definitions for use by various stakeholders: comparative framework and options for harmonization of definitions. Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/005/y4171e/y4171e00.htm#TopOfPage>.
-

- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2006. Global forest resources assessment 2005. Progress towards sustainable forest. Rome, Italy. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/008/a0400e/a0400e00.HTM>.
- Galindo G, Cabrera E, Vargas DM, Yepes AP, Phillips JF, Navarrete DA, Duque AJ, García MC, Ordoñez MF. 2011. Recomendaciones para el uso de metodologías de procesamiento digital de imágenes en la Cuantificación de la Degradación de bosques. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales (IDEAM). Bogotá D.C., Colombia.
- Galindo G, Espejo OJ, Rubiano JC, Vergara LK, Cabrera E. 2014. Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia V.2. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Bogotá D.C., Colombia.
- GOFC-GOLD (Global Observation of Forest and Land Dynamics). 2014. A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals associated with deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and forestation. GOFC-GOLD Report version COP19-2. Land Cover Project Office, Wageningen University, The Netherlands. Disponible en: <http://www.gofcgold.wur.nl/redd/>.
- Gullison RE, Frumhoff PC, Canadell JG, Field CB, Nepstad DC, Hayhoe K, et al. 2007. Tropical forests and climate policy. *Science* 316(5827):985–986. Disponible en: <http://www.globalcarbonproject.org/global/pdf/pep/Post2006/Gullison.2007.DeforestationAll.Science.pdf>. doi: 10.1126/science.1136163 PMID: 17495140 2.
- Herold M, Skutsch M. 2011. Monitoring, reporting and verification for national REDD + programmes: two proposals. *Environmental Research Letters* 6(1):014002. Disponible en: <http://stacks.iop.org/1748-9326/6/i=1/a=014002?key=crossref.b8a06ec5da341082aacb4442178ff46f>. doi: 10.1088/1748-9326/6/1/014002.
- Herold M, Román-Cuesta RM, Heymell V, Hirata Y, Van Laake P, Asner GP, Souza CM, Avitabile V, MacDicken K. 2011a. A review of methods to measure and monitor historical carbon emissions from forest degradation. *Unasylva* 238(62):16-24. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/015/i2560e/i2560e04.pdf>.
- Herold M, Román-Cuesta RM, Mollicone D, Hirata Y, Van Laake P, Asner G, Souza CM, Skutsch M, Valerio A, MacDicken K. 2011b. Options for monitoring and estimating historical carbon emissions from forest degradation in the context of REDD+. *Carbon Balance and Management* 6:13. Disponible en: <http://www.cbmjournal.com/content/6/1/13>. doi:10.1186/1750-0680-6-13.
- Hosonuma N, Herold M, De Sy V, De Fries RS, Brockhaus M, Verchot L, Angelsen A, Romijn E. 2012. An assessment of deforestation and forest degradation drivers in developing countries. *Environmental Research Letters* 7(4):1-12. Disponible en: <http://iopscience.iop.org/1748-9326/7/4/044009/>.
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). 2008. Programa nacional para el Monitoreo y Seguimiento a los Bosques y áreas de aptitud forestal (PMSB), formulación y plan de implementación. Banco Interamericano de Desarrollo. Programa de Apoyo al Sistema Nacional Ambiental SINA II. Credito BID 1556/ OC-CO. Bogotá D.C., Colombia.
- ITTO (International Tropical Timber Organization). 2002. ITTO guidelines for the restoration, management and rehabilitation of degraded and secondary tropical forest. ITTO Policy Development Series No 13. ITTO, Yokohama, Japan. Disponible en: http://www.itto.int/policypapers_guidelines/.
- Kissinger G, Herold M, De Sy V. 2012. Drivers of deforestation and forest degradation: a synthesis report for REDD+ policymakers. Lexeme Consulting, Vancouver, Canada. Disponible en: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/66151/Drivers_of_deforestation_and_forest_degradation.pdf.
-

- Laurance WF, Useche DC, Rendeiro J, Kalka M, Bradshaw CJa, Sloan SP, et al. 2012. Averting biodiversity collapse in tropical forest protected areas. *Nature* 489(7415):290–4. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22832582>. doi: 10.1038/nature11318 PMID: 22832582 4.
- Marklund LG, Schoene D. 2006. Global assessment of growing stock, biomass and carbon stock. Forest Resources Assessment Programme Working paper 106/E, Rome. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/ah849e/ah849e00.pdf>.
- Mori AS, Lertzman KP, Gustafsson L. 2017. Biodiversity and ecosystem services in forest ecosystems: a research agenda for applied forest ecology. *Journal of Applied Ecology* 54, 12-27. Disponible en: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1365-2664.12669/pdf>. doi: 10.1111/1365-2664.12669.
- Nabuurs GJ, Masera O, Andrasko K, Benitez-Ponce P, Boer R, Dutschke M, Elsiddig, Ford-Robertson J, Frumhoff P, Karjalainen T, Krankina O, Kurz WA, Matsumoto M, Oyhantcabal W, Ravindranath NH, Sanz Sanchez MJ, Zhang X. 2007. Forestry. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Metz B, Davidson OR, Bosch PR, Dave R, Meyer LA (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Disponible en: https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/ch9.html.
- Pearson TRH, Brown S, Casarim FM. 2014. Carbon emissions from tropical forest degradation caused by logging. *Environmental Research Letters* 9:034017. Disponible en: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/9/3/034017/meta>. doi:10.1088/1748-9326/9/3/034017.
- Pearson TRH, Brown S, Murray L, Sidman G. 2017. Greenhouse gas emissions from tropical forest degradation: an underestimated source. *Carbon Balance and Management* 12:3. Disponible en: <https://cbmjournal.springeropen.com/articles/10.1186/s13021-017-0072-2>. doi 10.1186/s13021-017-0072-2.
- Ramírez-Delgado JP. En prensa. Estimación de la degradación de bosques de Colombia a través de un análisis de fragmentación. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS, Programa ONU-REDD Colombia. Bogotá, D.C., Colombia.
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 2002. Report of the Conference of Parties on its seventh session, held at Marrakesh from 29 October to 10 November 2001. FCCC/CP/2001/13/Add.1. Decision 11/CP.7, ANNEX. United Nations Framework Convention on Climate Change, Marrakesh, Morocco. Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/cop7/13a01.pdf>.
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 2008. Informal Meeting of Experts on Methodological Issues Relating to Reducing Emissions from Forest Degradation in Developing Countries. 20 -21 October 2008, Boon, Germany. Chair's Summary of Key Messages from the Meeting. Disponible en: http://unfccc.int/files/land_use_and_climate_change/redd/application/pdf/chair_summary_of_meeting.pdf.
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 2011. Report of the Conference of the Parties on its sixteenth session, held in Cancun from 29 November to 10 December 2010. FCCC/CP/2010/7/Add.1. Decision 1/CP.16, par. 71 (c). United Nations Framework Convention on Climate Change, Cancun, Mexico. Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/2009/cop15/eng/11a01.pdf#page=11>.
- van der Werf GR, Morton DC, DeFries RS, Olivier JGJ, Kasibhatla PS, Jackson RB, et al. 2009. CO₂ emissions from forest loss. *Nature Geoscience* 2(11):737–738. doi: 10.1038/ngeo671 3.
-

