



Corpoica. Ciencia y Tecnología
Agropecuaria

ISSN: 0122-8706

revista_corpoica@corpoica.org.co

Corporación Colombiana de Investigación
Agropecuaria
Colombia

Andrade-Castañeda, Hernán Jair; Arteaga-Céspedes, Cristhian Camilo; Segura-Madrigal,
Milena Andrea

Emisión de gases de efecto invernadero por uso de combustibles fósiles en Ibagué,
Tolima (Colombia)

Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria, vol. 18, núm. 1, enero-abril, 2017, pp. 103-
112

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
Cundinamarca, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=449949161006>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

Emisión de gases de efecto invernadero por uso de combustibles fósiles en Ibagué, Tolima (Colombia)

Emission of greenhouse gases from the use of fossil fuels in Ibagué, Tolima (Colombia)

Emissão de gases de efeito estufa por uso de combustíveis fósseis em Ibagué, Tolima (Colômbia)

Hernán Jair Andrade-Castañeda,¹ Cristhian Camilo Arteaga-Céspedes,²
Milena Andrea Segura-Madrigal³

¹ PhD, University of Wales. Profesor asociado, investigador, líder del Grupo Producción Ecoamigable de Cultivos Tropicales (Proecut), Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad del Tolima. Ibagué, Colombia. hjandrade@ut.edu.co.

² Ingeniero agroindustrial, Universidad del Tolima. Independiente. Ibagué, Colombia. enixfinal9999@hotmail.com.

³ MSc, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Profesora asociada e investigadora, Grupo Producción Ecoamigable de Cultivos Tropicales (Proecut), Facultad de Ingeniería Forestal, Universidad del Tolima. Ibagué, Colombia. masegura@ut.edu.co.

Fecha de recepción: 25/04/2016

Fecha de aceptación: 28/06/2016

Para citar este artículo: Andrade-Castañeda HJ, Arteaga-Céspedes CC, Segura-Madrigal MA. 2017. Emisión de gases de efecto invernadero por uso de combustibles fósiles en Ibagué, Tolima (Colombia). Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria. 18(1):103-112

DOI: http://dx.doi.org/10.21930/rcta.vol18_num1_art:561

Resumen

El cambio climático es causado por el aumento de las concentraciones de los gases de efecto invernadero (GEI), especialmente, por el CO₂. Estas concentraciones son provocadas por la proliferación del uso de combustibles fósiles. Los sistemas forestales pueden absorber carbono en la biomasa y mitigar el problema del cambio climático. El objetivo del estudio fue estimar la emisión de GEI de acuerdo con la venta de combustibles fósiles en Ibagué y plantear opciones de mitigación con sistemas de producción en el Tolima. Mediante revisión de literatura, se determinó el número de estaciones de servicio en el casco urbano de Ibagué. A través de encuestas a empleados que atienden al público, se estimó la venta de

cada combustible estudiado (gasolina, diésel y gas natural vehicular-GNV) y, con base en la totalidad de estaciones y en los factores de emisión, se calculó la emisión total de GEI para cada uno de estos combustibles en la ciudad. Se plantearon opciones de mitigación como cafetales, cacaotales o plantaciones de teca. Se estimó una emisión de 368 Gg CO₂e/año (1 Gg = 10⁹ g) por ventas de combustibles fósiles equivalente a 718 kg CO₂e/persona/año. Estas emisiones deberían ser mitigadas con reducciones en el uso de combustibles fósiles o mediante el establecimiento de sistemas de producción que fijen el CO₂.

Palabras clave: *Tectona grandis*, combustibles, sistemas agroforestales, mitigación del cambio climático

Abstract

Climate change is caused by the increase of concentrations of greenhouse gases (GHG), especially CO₂, caused by the proliferation of fossil fuels use. Forest systems can capture carbon in biomass and mitigate the climate change problem. The aim of this research was to estimate the emission of GHG from the sale of fossil fuels in the city of Ibagué and propose options of mitigation with productive systems in Tolima. Throughout a review, the total number of service stations in the city urban area was determined. Carrying on interviews to employers that attend public, the sales of fossil fuels (gasoline, diesel and

natural gas vehicle-NGV), were determined and based on the total number of stations and emission factors, it was estimated the total emission from each fuel in the city. Some mitigation options, such as coffee, cocoa and teak plantations have been proposed. It was estimated an emission of 368 Gg CO₂/year (1 Gg = 10⁹ g) from sales of fuels, equivalent to 718 kg CO₂/person/year. These GHG emissions should be mitigated with reduction in the use of fossil fuels or throughout establishment of agricultural and forestry production systems which allows fixating CO₂.

Keywords: *Tectona grandis*, Fuels, Agroforestry systems, Climate change mitigation

Resumo

A mudança climática é causada pelo aumento das concentrações dos gases de efeito estufa (GEI), especialmente, pelo CO₂ produzido pela proliferação do uso de combustíveis fósseis. Os sistemas forestais podem absorver carbono na biomassa e mitigar o problema da mudança climática. O objetivo do estudo foi estimar a emissão de GEI de acordo com a venda de combustíveis fósseis em Ibagué e plantear opções de mitigação com sistemas de produção no Tolima. Mediante revisão de literatura, determinou-se o número de postos de gasolina no perímetro urbano de Ibagué. Através de enquetes a empregados que atendem ao público,

estimou-se a venda de cada combustível estudado (gasolina, diésel e gás natural vehicular-GNV) e, com base na totalidade de estações e nos fatores de emissão, calculou-se a emissão total de GEI para cada um destes combustíveis na cidade. Identificaram-se opções de mitigação como cafezais, culturas de cacau ou plantações de teca. Estimou-se uma emissão de 368 Gg CO₂e/ano (1 Gg = 10⁹ g) por vendas de combustíveis fósseis equivalente a 718 kg CO₂e/pessoa/ano. Estas emissões deveriam ser mitigadas com reduções no uso de combustíveis fósseis ou mediante o estabelecimento de sistemas de produção que fixem o CO₂.

Palavras chave: *Tectona grandis*, combustíveis, sistemas agroforestais, mitigação da mudança climática

Introducción

Son sabidas las consecuencias del cambio climático global en todos los ámbitos de la vida del planeta, cambio que es causado principalmente por la concentración creciente de gases de efecto invernadero (GEI), en especial, el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O). Se predice que el cambio climático afectará más a los países en desarrollo por su baja capacidad de adaptación. Recientemente se ha confirmado la importancia del uso de energía en la emisión de GEI, tal como se observa en Estados Unidos, donde el uso de energía tiene una participación del 86 % del total de producción de GEI (Usepa 2013).

El uso de combustibles fósiles y la producción de cemento son en el mundo, de lejos, la más importante fuente de GEI, con un aporte cercano al 68 %. Entre 1750 y 2011, estas dos actividades han liberado 375 Pg (1 Pg = 10^{15} g) de carbono a la atmósfera, en comparación con lo emitido por deforestación y otros cambios de uso del suelo (180 Pg de carbono) (Stocker et al. 2013). En el transporte en carretera, los vehículos de pasajeros son la principal fuente emisora de CO_2 y N_2O , de acuerdo con Ong et al. (2011).

Colombia parece ser uno de los países más perjudicados, aunque solo contribuya con un 0,37 % de las emisiones mundiales (Buitrago-Benavides, 2009). Tal como lo reportan Acevedo et al. (2013), el uso de energía en el país implica grandes emisiones de GEI, ocasionadas por el transporte de gas natural —1,3 Tg CO₂e/año (1 Tg = 10^{12} g)—, la quema de combustible, las despresurizaciones y las fugas en equipos. Los cascos urbanos son fuentes netas de GEI y contribuyen en gran medida a los inventarios nacionales de emisiones (Kennedy et al. 2009). Por ejemplo, para el 2011 Bogotá emitió entre 4,7 y 4,8 Tg CO₂e/año (Hernández-González y Jiménez 2011), lo que significa el 20 % de lo emitido por toda la nación en este aspecto (Ideam 2009).

La Convención de Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC) ha propuesto la mitigación como estrategia para luchar contra el cambio climático.

En términos de mitigación, la principal acción es la reducción de emisiones, pero también es posible enfrentar el problema mediante la remoción de estas. Los sistemas de uso del suelo con especies perennes, como las plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.), de café (*Coffea arabica* L.) y de teca (*Tectona grandis* L. f.), han sido considerados como tecnologías para mitigar el cambio climático por captura de carbono atmosférico en biomasa y suelos (Brown 1996; Andrade et al. 2014). Estos sistemas pueden ser incluidos como proyectos Utcuts (Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura) en el marco del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) del Protocolo de Kioto (Pearson et al. 2005; Cano 2015) y en mercados voluntarios (Soto-Pinto et al. 2010).

Otras opciones para mitigar el impacto de estas emisiones en el cambio climático incluyen un mejoramiento de la cultura del transporte: promover los medios masivos, compartir los vehículos particulares, usar vehículos livianos y eléctricos, emplear combustibles alternativos y maximizar el acceso a los bienes necesarios para las personas (Barros y Sodré 2009; Hidalgo y Huizenga 2013).

En este trabajo se estima la emisión de GEI generada por la venta de combustibles fósiles en el casco urbano de Ibagué (Colombia). Aunque las mejores opciones de mitigación del cambio climático son una transformación en la tecnología y en la cultura del transporte para reducir el uso de estos combustibles, se proponen tres estrategias de sistemas de producción para ayudar a contrarrestar estas emisiones.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en la ciudad de Ibagué, la cual está localizada en el departamento del Tolima, a una altitud de 1.285 msnm, con una temperatura media de 21 °C. Su área municipal cubre casi 1.500 km² (Alcaldía de Ibagué 2014), entre las coordenadas 4° 15' a 4° 40' N y 75° 00' a 75° 30' O. Para 2016, Ibagué contaba con 558.805 habitantes, y se espera que esta cantidad llegue a 579.807 para el 2020 (DANE 2014).

La investigación se dividió en cuatro fases:

1. *Revisión de información secundaria sobre estaciones de servicio en la ciudad y factores de emisión.* Se consultaron las bases de datos de precios de los combustibles en la ciudad de Ibagué para el 2013 del Ministerio de Minas y Energía (Sicom 2013). En esta base de datos, se encuentra la totalidad de las estaciones de servicio que distribuyen combustibles fósiles en la ciudad. Este registro incluye el nombre, la dirección, el tipo de combustible que distribuyen y el precio de cada uno de estos.
2. *Levantamiento de información mediante encuestas dirigidas a estaciones de servicio.* De las 49 estaciones encontradas en Ibagué, se seleccionaron aleatoriamente 25, las cuales cubren todas las áreas de la zona urbana del municipio. En cada estación de servicio fueron encuestados tres trabajadores de atención directa al público. Se preguntó sobre la cantidad de vehículos atendidos, el volumen de combustible vendido y el número de ocupantes de cada vehículo. Los vehículos fueron clasificados de la siguiente forma: motocicletas, autos compactos, sedán pequeño y grande, camionetas tipo SUV, doble tracción pequeños y grandes, camiones, tractocamiones y busetas. También se preguntó acerca de la cantidad y el monto diario vendido de cada tipo de combustible.
3. *Estimación de emisiones de GEI causadas por el uso de esos combustibles fósiles.* Se calculó el volumen promedio vendido por estación de servicio diariamente. Este monto fue extrapolado al total de estaciones de servicio encontradas en la ciudad, de acuerdo al tipo de combustible suministrado. Posteriormente, el volumen de cada combustible fue multiplicado por los factores de emisión arriba detallados.
4. *Definición de alternativas de mitigación de las emisiones.* Se estimó el área necesaria de cuatro sistemas de producción encontrados en el departamento del Tolima para mitigar las correspondientes emisiones de GEI. Estos sistemas tienen especies vegetales leñosas perennes y presentan datos sobre las tasas de fijación de carbono en biomasa (tabla 1). Tales alternativas, con excepción del café en monocultivo, podrían ser consideradas como estrategias en proyectos de mitigación del cambio climático, tal como los MDL o los mercados voluntarios.

Tabla 1. Tasas de fijación de carbono en biomasa aérea en sistemas de producción del Tolima (Colombia)

Sistema de producción	Municipio	Tasa de fijación (Mg C/ha/año)	Fuente
Café en monocultivo	Líbano	0,4	(Andrade et al. 2014)
Sistema agroforestal café + <i>Cordia alliodora</i>		1,0	
Cacaotales	Armero-Guayabal	1,1	(Andrade et al. 2013)
Plantaciones de teca		7,0	(Andrade et al. 2016)

Fuente: Elaboración propia

Se emplearon los siguientes factores de emisión: 2,33 y 2,83 kg CO₂e/l de gasolina y diésel, respectivamente (IPCC 2006). En el caso del GNV, se empleó un factor de emisión de 2,09 kg CO₂/m³, el cual resulta de una liberación de 56.100 kg CO₂/TJ (IPCC 2006) y un poder calórico neto de 37,2593 MJ/m³ (Saucedo 2014).

3. *Estimación de emisiones de GEI causadas por el uso de esos combustibles fósiles.* Se calculó el volumen promedio vendido por estación de servicio diariamente. Este monto fue extrapolado al total de estaciones de servicio encontradas en la ciudad, de acuerdo al tipo de combustible suministrado. Posteriormente, el volumen de cada combustible fue multiplicado por los factores de emisión arriba detallados.

4. *Definición de alternativas de mitigación de las emisiones.* Se estimó el área necesaria de cuatro sistemas de producción encontrados en el departamento del Tolima para mitigar las correspondientes emisiones de GEI. Estos sistemas tienen especies vegetales leñosas perennes y presentan datos sobre las tasas de fijación de carbono en biomasa (tabla 1). Tales alternativas, con excepción del café en monocultivo, podrían ser consideradas como estrategias en proyectos de mitigación del cambio climático, tal como los MDL o los mercados voluntarios.

Las tasas de fijación de carbono fueron multiplicadas por 3,67 para ser convertidas en CO₂e. La emisión total fue dividida entre la tasa de fijación de carbono en biomasa con el fin de calcular el área necesaria de cada sistema de producción para mitigar la totalidad de las emisiones.

Resultados y discusión

Venta de combustibles fósiles

En promedio, cada estación de servicio en Ibagué atiende 1.114 vehículos, de los cuales la mayor parte corresponde a autos compactos y motocicletas (16,8% y 15,7% del total, respectivamente) (figura 1a). Como era de esperarse, la mayoría de los vehículos

que atienden las estaciones de servicio en la ciudad son pequeños. Esto es un punto a favor para la reducción de emisiones de GEI, tal como lo afirman González et al. (2012), ya que se hace más eficiente el uso de combustibles fósiles, principalmente, la gasolina y, por ende, se reducen las emisiones de CO₂.

En promedio, cada vehículo que adquiere gasolina o diésel en Ibagué compra 35,5 l/carga. Como es obvio, los vehículos más pequeños compran menos combustible por carga. Por ejemplo, las motocicletas adquieren $4,5 \pm 0,7$ l/carga de gasolina; mientras que los autos compactos compran $17,1 \pm 1,4$ l/carga (figura 1b). Los vehículos 4x4 son abastecidos en promedio con 36 l/carga y los vehículos grandes, con un promedio de 59,7 l/carga, principalmente, de diésel (figura 1b).

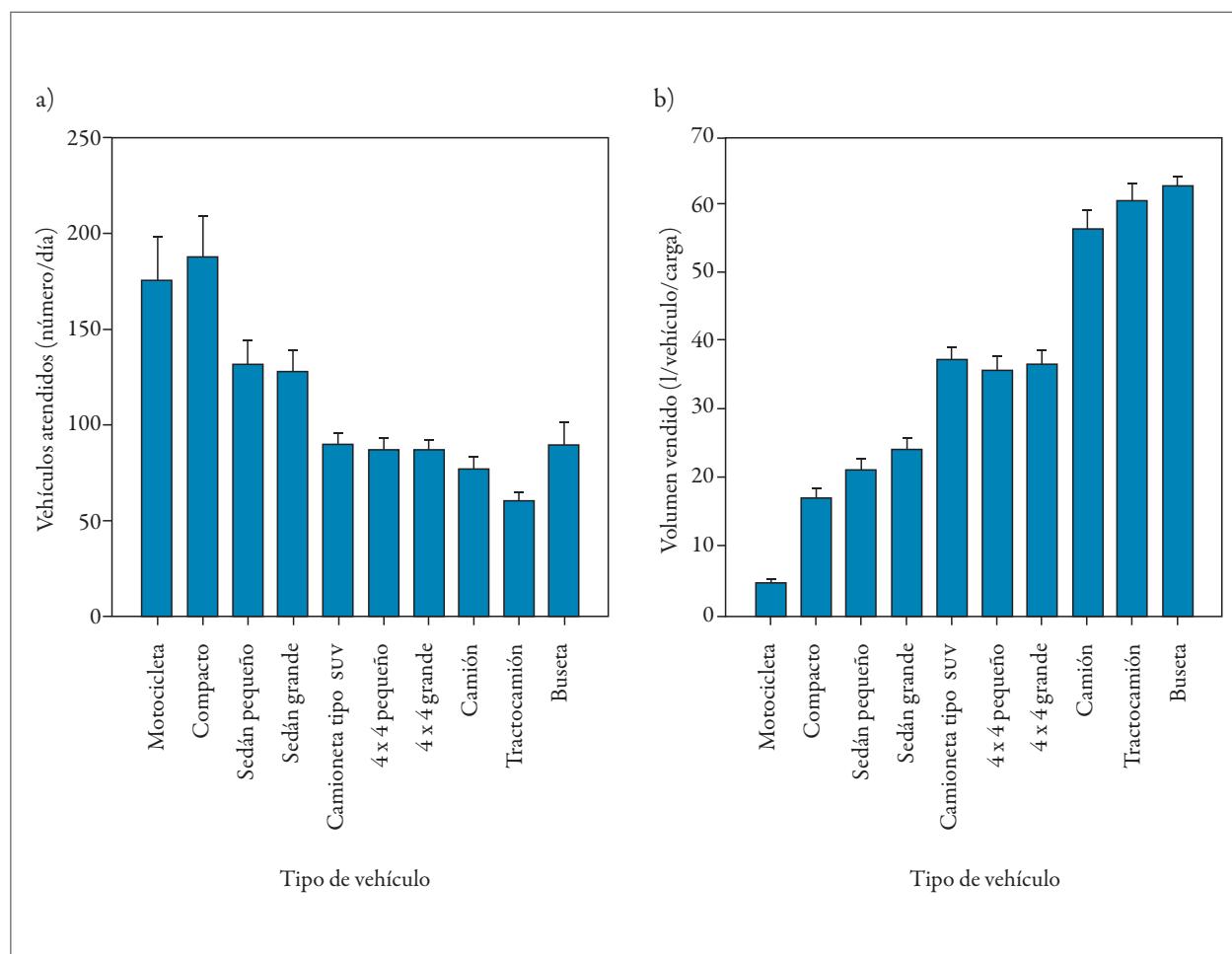


Figura 1. a) Número de vehículos atendidos; b) volumen dispensado a cada vehículo por estación de servicio en Ibagué (Colombia). Las barras de error corresponden al error estándar de la media.

Fuente: Elaboración propia

Se encontró que, en promedio, cada estación de servicio vende \$37.330/vehículo/carga (USD\$11,2 /vehículo/carga) (Banco de la República c2013). Se observan dos grupos de vehículos: los pequeños que gastan \$24.480 y los grandes, como camiones y busetas que invierten \$67.310 en promedio (figura 2a). En el caso de los vehículos pequeños, no se encontró una diferencia en el tamaño y el número de ocupantes, que varía entre 1,4 y 2,9 ocupantes/vehículo (figura 2b). Esto indicaría que los vehículos más pequeños estarían emitiendo mucho menos GEI per cápita que aquellos de mayor tamaño.

Estos resultados son clave para el diseño de políticas orientadas a la reducción de emisión de GEI producidos por el transporte colombiano. Los incentivos al uso de vehículos menos contaminantes deberían estar en la agenda de los ministerios e instituciones encargadas

del medioambiente, debido al crecimiento acelerado del número de vehículos. De acuerdo con González et al. (2012), el parque automotor de Colombia se incrementará unas 6,6 veces entre 2010 y 2050.

Se encontró un total de 42 estaciones de servicio que venden gasolina y diésel. Solo siete estaciones venden exclusivamente GNV. Las estaciones de servicio de la ciudad presentan una venta media de 3.744 y 5.064 l/día de gasolina y diésel, respectivamente, mientras que la venta de GNV asciende a 1.059 m³/día (figura 3). El mayor volumen vendido de gasolina es causado por los mayores consumos por parte de vehículos grandes, tales como camiones y busetas. La variabilidad en el volumen diario de ventas es baja, a excepción de lo encontrado en la venta de GNV, en donde hay mayor variabilidad, debido posiblemente a que en la ciudad existen siete

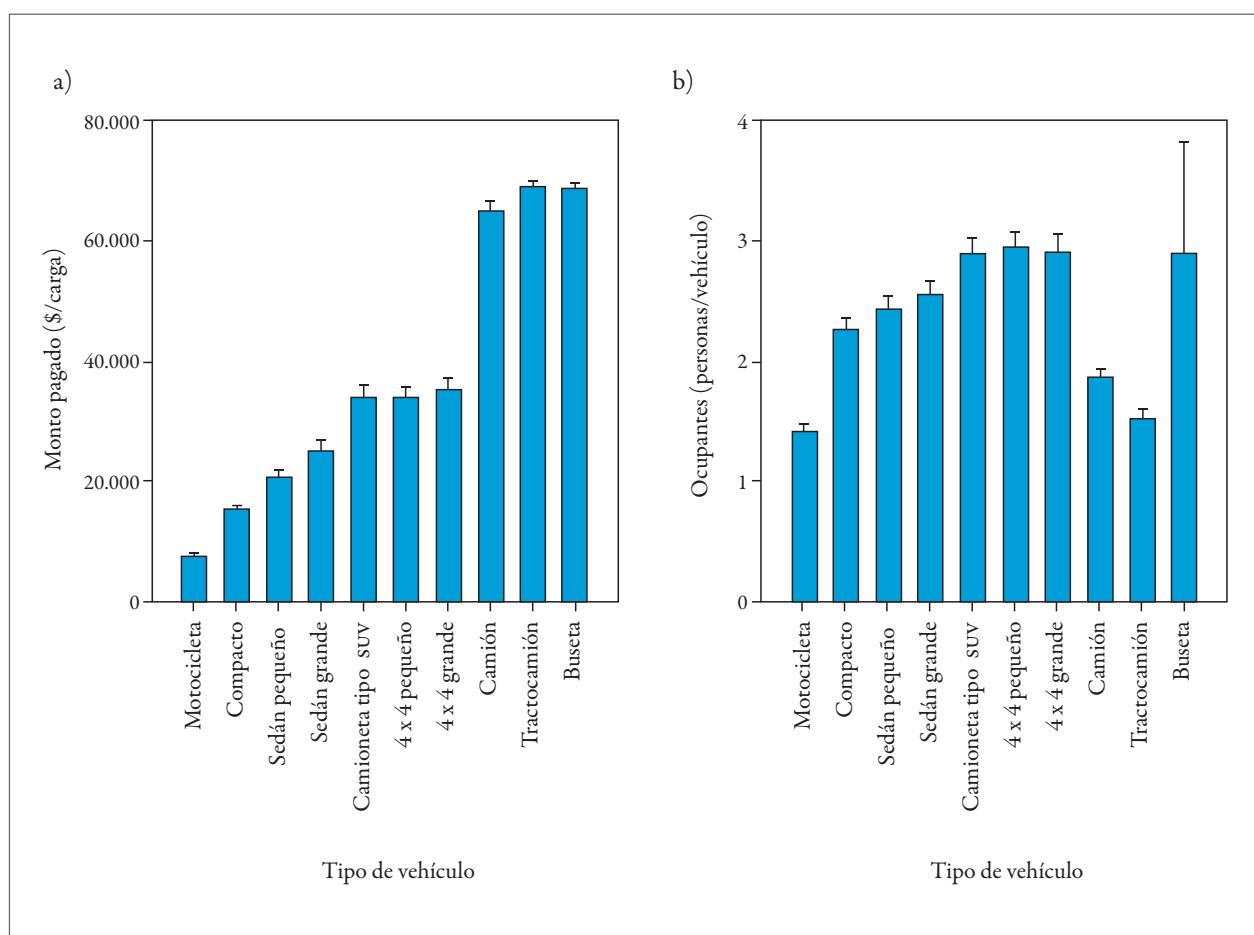


Figura 2. a) Monto pagado por servicio; b) número de ocupantes por vehículo en estaciones de servicio de la ciudad de Ibagué (Colombia). Las barras de error corresponden al error estándar de la media.
Fuente: Elaboración propia

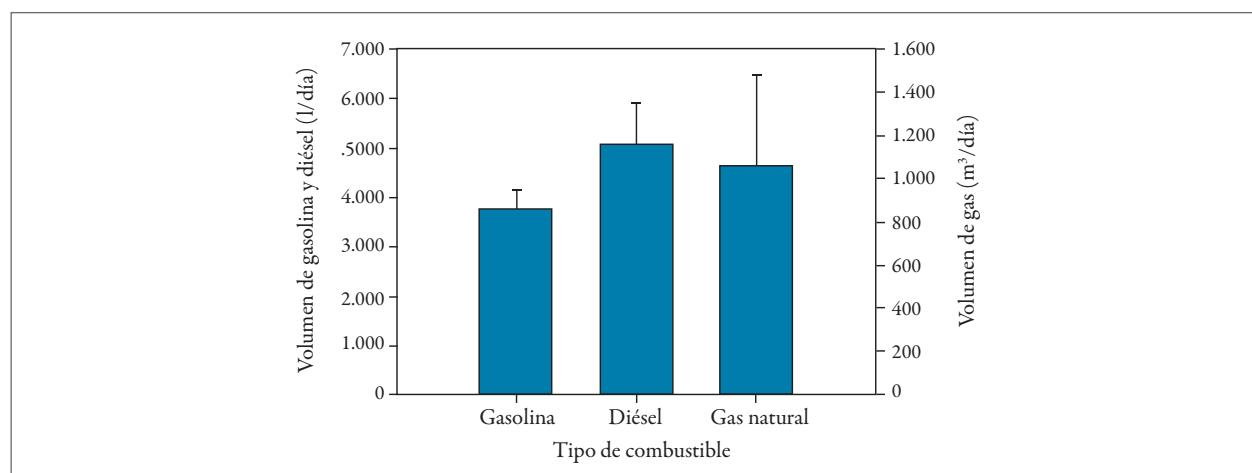


Figura 3. Ventas diarias de gasolina, diésel y gas natural vehicular en estaciones de servicio de Ibagué (Colombia). Las barras de error corresponden al error estándar de la media.

Fuente: Elaboración propia

estaciones de servicio que venden exclusivamente este combustible. El uso de GNV en vehículos automotores es una medida de mitigación, tal como afirman Barros y Sodré (2009), quienes demostraron que este cambio reduce en un 33% las emisiones de CO₂ en un vehículo de cuatro cilindros, ocho válvulas y cilindraje de 1,4 l.

Emisión de gases de efecto invernadero

Por concepto de las ventas de combustibles fósiles para vehículos, la ciudad de Ibagué emite 368 Gg CO₂e/año (1 Gg = 10⁹ g), de los cuales el 60% proviene del diésel, el 36% de la gasolina y solo el 4 % de GNV (tabla 2). Esto equivale a una emisión

per cápita, para este rubro, de 718 kg CO₂e/año. En Malasia, durante el 2007, el transporte en carretera causó una emisión de 59,4 Tg CO₂e (Ong et al. 2011), lo que equivale a una emisión de 6,7 Mg CO₂e/habitante (IEA 2006). Las comparaciones deben ser ajustadas a la naturaleza de cada estudio. En efecto, el presente estudio se limita a las emisiones resultantes de las ventas de combustible en estaciones de servicio. Los incrementos en la población y el ingreso podrían aumentar las emisiones de GEI, tal como lo afirma Sharma (2011), quien dice que la apertura comercial, el producto interno bruto per cápita y el consumo de energía tienen impactos positivos en las emisiones de CO₂.

Tabla 2. Emisión total de GEI por ventas de combustibles fósiles en Ibagué (Colombia) y opciones de mitigación con sistemas de producción

Combustible	Ventas (millones/año)	Emisiones (Gg CO ₂ e/año)	Opciones de mitigación (kha)			
			CM	SAF café	C	PT
Gasolina	57,4 l	133,7				
Diésel	77,6 l	220,0				
GNV	7,0 m ³	14,5				
Total	368,2	250,7	100,3	91,1	14,3	

CM: café (*Coffea arabica*) monocultivo; SAF café: sistema agroforestal de café con nogal cafetero (*Cordia alliodora*); C: cacaotales (*Theobroma cacao*); PT: plantaciones de teca (*Tectona grandis*). 1 kha = 1.000 ha.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados que se muestran en la tabla 2 deben ser considerados, ya que Colombia tiene un 78 % de su población viviendo en las ciudades (Eclac 1999), y se podrían extrapolar los resultados de este estudio. El incremento anual del parque automotor del país ronda el 8,5 % (Hidalgo y Huizenga 2013), y de acuerdo con González et al. (2012), entre 2010 y 2050, este se incrementaría 6,6 veces, lo que traería un aumento proporcional de las emisiones de GEI por esta fuente.

Opciones de mitigación de la emisión de GEI

Los sistemas agroforestales con cacao son considerados como mitigadores del cambio climático por capturar carbono en biomasa, necromasa y suelos (Andrade et al. 2013). El secuestro de carbono por plantaciones forestales ha sido propuesto como una medida positiva en el balance de los niveles atmosféricos de CO₂ (Camps y Pinto 2004). Los cacaotales, además de ofrecer ventajas comparativas en relación con otros usos del suelo, constituyen uno de los más importantes sistemas productivos, ya que se cultivan juntamente con otras especies vegetales, especialmente, café, plátano, frutales y maderables, los cuales al mismo tiempo que producen sombra, permiten al agricultor tener otras alternativas de ingresos (Martínez et al. 2005). Además de su contribución a la conservación de la biodiversidad, estos sistemas también funcionan como sumideros de carbono (Beer et al. 2003).

El área necesaria para mitigar la emisión de GEI en la ciudad varía grandemente de un sistema de producción a otro. Así, se requiere de un área mucho menor con plantaciones de teca que con cafetales en monocultivo (14.333 ha y 250.650 ha, respectivamente). Estas estrategias de mitigación han sido consideradas en otros municipios del departamento; sin embargo, es posible mitigar parcialmente con vegetación más densa en las áreas urbanas, que también pueden ser sumideros locales de CO₂ (Grimmond et al. 2002).

Como se ha comentado, la acción más importante para la mitigación de estas emisiones debería estar enfocada en su reducción más que en su remoción. Existe un sinnúmero de estrategias para esto. Una

medida de reducción, por ejemplo, es la promoción del transporte público y las limitaciones al uso de vehículos particulares, tal como es el caso de China, donde se estima una reducción del 21 % en el uso total de energía en transporte para el 2030 (He et al. 2013). De acuerdo con González et al. (2012), los vehículos livianos y eléctricos ofrecen las mejores opciones de mitigación, con una reducción de las emisiones, para el 2050, de un 48 % y un 61 %, respectivamente.

Otra estrategia es modificar las tendencias de América Latina en motorización, mediante la redistribución de los recursos dedicados al transporte, a fin de proveer a la gente de un mayor acceso a los bienes en lugar de maximizar la actividad del transporte (Hidalgo y Huizenga 2013). El desarrollo sostenible se promueve con el mejoramiento de infraestructuras para caminar, la construcción de ciclovías, el incremento del acceso a bicicletas y la inversión en servicios de transporte para necesidades esenciales (CUTA 2007; Woodcock et al. 2007).

Conclusiones

El parque automotor de la ciudad de Ibagué está dominado por vehículos pequeños (un tercio del total son autos compactos y motocicletas), los cuales consumen menos combustibles fósiles y, por ende, emiten menos GEI. Estos vehículos transportan un número de ocupantes muy similar a los otros vehículos particulares.

La ciudad de Ibagué emite cerca de 368 Gg CO₂e/año a raíz de la venta de combustibles fósiles, principalmente, gasolina y diésel, lo cual corresponde a una emisión per cápita de 718 kg CO₂e/año. Las principales acciones para mitigar estas emisiones deben estar encaminadas a reducir el uso de estos combustibles; sin embargo, es posible la mitigación con sistemas de producción agrícola y forestal en grandes extensiones de terreno, como un poco más de 14.000 hectáreas de plantaciones de teca.

Estos resultados deben servir de base para la generación de políticas de incentivos para quienes menos contaminen.

Las instituciones oficiales deben aunar esfuerzos para lograr estas políticas y reducir sustancialmente el impacto ambiental de las emanaciones de GEI.

Agradecimientos

Los autores expresan sus sinceros agradecimientos a todos los empleados de estaciones de servicio que apoyaron con la encuesta y al curso internacional “Herramientas para el monitoreo del secuestro de carbono en sistemas de uso de la tierra”, desarrollado entre la Universidad del Tolima y el CATIE.

Descargos de responsabilidad

El presente artículo se desarrolló como parte del trabajo de diplomado para optar al título de Ingeniero Agroindustrial de la Universidad del Tolima, trabajo que tuvo en calidad de orientador al Dr. Hernán J. Andrade y de coorientadora a la Dra. Milena A. Segura, miembros del grupo de investigación Producción Ecoamigable de Cultivos Tropicales (PROECUT) de la Universidad del Tolima. Los autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

Referencias

- Acevedo OL, Jaramillo JE, Abril H. 2013. Estimación de emisiones de GEI (CO_2 y CH_4) generadas durante el transporte de gas natural en Colombia aplicando metodología IPCC. Rev Fuentes Reventón Energ. 11(2):43-51.
- Alcaldía de Ibagué. 2014. Localización de Ibagué; [consultado 2016 abr 4]. <http://www.alcaldiadeibague.gov.co/portal/seccion/contenido/index.php?type=3&cnt=53>.
- Andrade HJ, Figueroa JMP, Silva D. 2013. Almacenamiento de carbono en cacaotales (*Theobroma cacao*) en Armero-Guayabal (Tolima, Colombia). Scientia Agroaliment. 1:6-10.
- Andrade HJ, Segura MA, Canal DS, Feria M, Alvarado JJ, Marín LM, Pachón D, Gómez, MJ. 2014. The carbon footprint of coffee productive chains in Tolima, Colombia. En: Oelbermann M, editor. Sustainable agroecosystems in climate change mitigation. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers.
- Andrade HJ. 2016 sin publicar. Fijación de carbono en biomasa en plantaciones de teca en Armero-Guayabal, Tolima, Colombia.
- Barros PH, Sodré JR. 2009. Evaluating carbon emissions reduction by use of natural gas as engine fuel. J Nat Gas Sci Eng. 1(6):216-220.
- Banco de la República. c2013. Tasa de cambio del peso colombiano (TRM). [consultado 2016 feb 24]. <http://www.banrep.gov.co/es/trm>.
- Beer J, Harvey C, Ibrahim M, Harmand JM, Somarriba E, Jiménez F. 2003. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. Agrofor Am. 10(37-28):80-87.
- Brown S. 1996. Present and potential roles of forests in the global climate change debate. Unasylva. 185:3-10.
- Buitrago DM, Cabrera M, Cardona MC, Castillo S, Duarte M, Gutiérrez MM, Lamprea PS, Lozano RJ, Nieves HE, Olarte CP, et al. 2009. Capítulo 2. Inventario nacional de gases de efecto invernadero. En: Barba D, Bedoya M, Benavides HO, Buitrago DM, Cabrera M, Cardona MC, Carrillo H, Castillo S, Ceballos JL, Contreras D, Cuervo P. Segunda comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Bogotá, Colombia: [Ideam] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.
- Camps M, Pinto M. 2004. Los sumideros de carbono en el marco del Protocolo de Kioto. Edafología. 11(1):27-36.
- Cano CG. 2005. La agroenergía, nuevo paradigma de desarrollo rural; [consultado 2016 mar 14]. <http://www.banrep.gov.co/es/node/1301>.
- [CUTA] Canadian Urban Transit Association. 2007. Towards sustainable development: building a better future with public transit; [consultado 2016 abr 4]. http://www.cutactua.ca/en/publictransit/publicationsandresearch/resources/IssuePaperNo.24_TowardsSustainableDevelopment_BuildingABetterFutureWithPublicTransit.pdf.
- [DANE] Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2014. Estadísticas poblacionales; [consultado 2016 abr 11]. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&ved=0ahUKEwj8tbmG85HPAhUEVh4KHZuVCdoQFghAMA Y&url=http%3A%2F%2Fwww.dane.gov.co%2Ffil es%2Finvestigaciones%2Fpoblacion%2Fproyeypo bla06_20%2FMunicipal_area_1985-2020.xls&us g=AFQjCNGMhipTlf5iZtVo4I2ODJ1qRgGm1A&si g2=vnE6r_P1K3rSguqzmZTHaQ.

- [ECLAC] Economic Commission for Latin America and the Caribbean. 1999. América Latina: población total, urbana y rural y porcentaje urbano, por países. Boletín Demográfico 63. [consultado 2016 abr] <http://www.eclac.org/celade/publica/bol63/BD6311.html>.
- González JC, Furubayashi T, Nakata T. 2012. Energy use and CO₂ emissions reduction potential in passenger car fleet using zero emission vehicles and lightweight materials. *Energy*. 48(1):548-565.
- Grimmond CS, King TS, Cropley FD, Nowak DJ, Souch C. 2002. Local-scale fluxes of carbon dioxide in urban environments methodological challenges and results from Chicago. *Environ Pollut*. 116(1 Supl):243-254.
- He D, Liu H, He K, Meng F, Jiang Y, Wang M, Zhou J, Calthorpe P, Guo J, Yao Z, et al. 2013. Energy use of, and CO₂ emissions from China's urban passenger transportation sector - Carbon mitigation scenarios upon the transportation mode choices. *Transport Res A-Pol*. 53:53-67.
- Hernández-González A, Jiménez R. 2011. Desarrollo de un inventario georreferenciado de emisiones de dióxido de carbono por fuentes móviles en el área urbana de Bogotá; [consultado 2016 abr 11]. http://pricc-co.wdfiles.com/local-files/grupo-inventarios-gei/ccm9_hernandez_jimenez_CO2_bogota.pdf.
- Hidalgo D, Huizenga C. 2013. Implementation of sustainable urban transport in Latin America. *Res Transport Econ*. 40(1):66-77.
- [IEA] International Energy Agency. 2006. Key world energy statistics for 2006; [consultado 2016 abr 11]. <http://www.enevd.u.gr/Documents/Key%20World%20Energy%20Statistics%202006.pdf>.
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. Guidelines for national greenhouse gas inventories intergovernmental panel on climate change National Greenhouse Gas Inventories Programme; [consultado 2016 abr 11]. <http://www.ipcc-nccc.iges.or.jp/public/2006gl/>.
- Kennedy CA, Steinberger J, Gasson B, Hansen Y, Hillman T, Havránek M, Pataki D, Phdungsilp A, Ramaswami A, Villalba G. 2009. Greenhouse Gas Emissions from Global Cities. *Environ Sci Technol*. 43(19):7297-7302.
- Martínez HJ, Espinal CF, Ortiz Hermida L. 2005. La cadena del cacao en Colombia: una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005; [consultado 2016 abr 11]. http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/jspui/bitstream/11348/5890/1/2005112145659_caracterizacion_cacao.pdf.
- Ong HC, Mahlia TMI, Masjuki HH. 2011. A review on emissions and mitigation strategies for road transport in Malaysia. *Renew Sust Energ Rev*. 15(8):3516-3522.
- Pearson T, Walker S, Brown S. 2005. Sourcebook for land use, land-use change and forestry projects. 1a ed. Arlington, EE. UU.: BioCarbon Fund (World Bank) and Winrock International.
- Saucedo J. 2014. Canasta energética colombiana de abril del 2013; [consultado 2016 abr 11]. http://www.corpoema.com/web/IMG/xls/abril_01_de_2013_colombiacanas-taypreciosdeenergeticos-2.xls.
- Sharma SS. 2011. Determinants of carbon dioxide emissions: empirical evidence from 69 countries. *Appl Energ*. 88(1):376-382.
- [Sicom] Sistema de Información de Combustibles Líquidos. 2013. Precios de combustibles fósiles líquidos en Ibagué; [consultado 2016 abr 11]. <https://www.sicom.gov.co>.
- Soto-Pinto L, Anzueto M, Mendoza J, Jiménez G, Jong B. 2010. Carbon sequestration through agroforestry in indigenous communities of Chiapas, Mexico. *Agrofor Syst*. 78:39-51.
- Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM. 2013. Climate change 2013: the physical science basis. Working group I contribution of to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Reino Unido y Nueva York, EE. UU.: Cambridge University Press.
- [Usepa] U. S. Environmental Protection Agency. 2013. Inventory of U. S. Greenhouse gas emissions and sinks: 1990-2011. Washington, DC, EE. UU.: [NSCCEP] National Service Center for Environmental Publications.
- Woodcock J, Banister D, Edwards P, Prentice A, Roberts I. 2007. Energy and transport. *Lancet*. 370(9592):1078-1088.