

# Mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero de hogares por arbolado urbano en Ibagué-Colômbia

Luis Miguel Acuña-Simbaqueva <sup>I</sup>  
Hernán J. Andrade <sup>II</sup>  
Milena A. Segura <sup>III</sup>  
Erika Sierra-Ramírez <sup>IV</sup>  
Diana Skarly Canal-Daza <sup>V</sup>  
Oscar Enrique Greñas-Corrales <sup>VI</sup>

 <sup>I</sup> Universidad del Tolima, Ibagué, Tolima, Colombia, país.

 <sup>II</sup> Universidad del Tolima, Ibagué, Tolima, Colombia, país.

 <sup>III</sup> Universidad del Tolima, Ibagué, Tolima, Colombia, país.

 <sup>IV</sup> Universidad del Tolima, Ibagué, Tolima, Colombia, país.

 <sup>V</sup> Universidad del Tolima, Ibagué, Tolima, Colombia, país.

 <sup>VI</sup> Universidad del Tolima, Ibagué, Tolima, Colombia, país.

**Resumen:** Los árboles son indispensables en las urbes para capturar CO<sub>2</sub>, y a su vez, contribuir a mitigar el cambio climático. Se estimó el almacenamiento y fijación de carbono en biomasa arriba del suelo en el arbolado urbano de Ibagué con un censo del 2013-2016 y una remediación del 15% de los individuos en el período 2019-2020. Se estimó el número de árboles requeridos de las principales especies para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero de los hogares. El arbolado urbano fija cerca de 3,81 Gg CO<sub>2</sub>/año, lo que representa solo el 2,3% de las emisiones de la ciudad. La mitigación de 169,2 Gg CO<sub>2</sub>/año de los hogares de la ciudad se lograría teniendo entre 412 mil y 1,2 millones de árboles de las especies más dominantes. Los esfuerzos basados en infraestructura verde para compensar la emisión urbana a nivel municipal deben coordinarse con políticas territoriales a escalas amplias.

**Palavras clave:** Almacenamiento, fijación, política ambiental, servicios ecosistémicos, silvicultura urbana.

São Paulo. Vol. 24, 2021

Artículo Original

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200191vu2021L3AO>

## Introducción

Los activos ambientales cumplen funciones estratégicas dentro de las ciudades que desean ser sostenibles. El equilibrio ecosistémico entre la intervención humana y el cuidado de sus recursos debe ser debidamente planificado, ya que las ciudades y su expansión demográfica acelerada son las principales generadoras de contaminantes atmosféricos, contribuyendo al cambio climático global (GRIMM et al., 2008). La población urbana mundial se incrementó de 751 millones en 1950 a 4,2 mil millones en 2018, donde las regiones más urbanizadas son América del Norte (82%), América Latina y el Caribe (81%) seguido de Europa: 74% y Oceanía: 68% (UNITED NATIONS, 2018). Estas naciones han generado distintas propuestas para planificar de manera idónea su desarrollo y cumplir con objetivos en la acción por el clima. Por ejemplo, en Colombia se ha incluido la meta de contribuir con la reducción del 20% del total de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para el año 2030 (IDEAM, 2012).

Ibagué, ciudad de la zona andina colombiana, pasó de ser una ciudad pequeña teniendo 349.241 habitantes en 1985 a una intermedia con 492.524 en el 2018 (DANE, 2018). Este municipio ocupa el octavo lugar a nivel nacional en población, después de Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, Cartagena, Cúcuta y Soledad, y por extensión, comparte el sexto puesto entre las ciudades más grandes del país con Cúcuta (VILLANUEVA et al., 2016). En este contexto, se han establecido estrategias para fortalecer la gestión ambiental, tal como el censo del arbolado urbano y el Plan Maestro de Silvicultura del Arbolado Urbano con el fin de estimar el rol del arbolado urbano en la mitigación de algunos impactos negativos generados por el crecimiento demográfico y el mal manejo de sus recursos naturales (FINDETER, 2018). Además, en el programa de Iniciativa de Ciudades Emergentes Sostenibles (CES), desarrollado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), un habitante de la ciudad de Ibagué cuenta con 6,7 m<sup>2</sup> de área verde, lo que permite catalogarla como ciudad verde (FINDETER, 2018); no obstante, este valor no alcanza el área mínima recomendada por la OMS (0,5-1,0 ha/habitante con una distancia menor o igual a 300 m de su residencia) según el United Nations Human Settlements (UN-HABITAT, 2018).

Baró et al. (2014), Charoekit y Yiemwattana (2016), Reynolds et al. (2017), Mohamed et al. (2018) y Lindén et al. (2020) han enfatizado en la estimación de los reservorios de carbono en los bosques urbanos y su mitigación de emisión de los GEI. Esto debido a que la estructura leñosa perenne absorbe el CO<sub>2</sub> y lo deposita en biomasa y suelos como carbono (MCHALE; MCPHERSON; BURKE, 2007; TIMILSINA et al., 2014). El CO<sub>2</sub> ha incrementado considerablemente su concentración en la atmósfera desde las 280 partes por millón (ppm) de la era pre-industrial hasta las 411 ppm en el 2019, lo cual corresponde a un 48%, del que más de la mitad se ha producido en tan sólo los últimos 50 años (NOAA, 2019). Los árboles urbanos proveen diversos servicios ecosistémicos (SE), tal como la captura de carbono. Un árbol maduro puede fijar 150 kg CO<sub>2</sub>/año y, dependiendo de la especie y su ubicación en la ciudad, puede enfriar el aire entre 2 y 8°C, aumentar la biodiversidad urbana, regular el flujo de agua y contribuir a la seguridad alimentaria y nutricional (FAO, 2016). En el mercado global voluntario de

carbono juega un papel importante la parte forestal como el uso del suelo. El volumen de compensaciones generadas a través de estas actividades aumentó un 264% entre 2016 y 2018, creciendo de 13,9 Mt CO<sub>2</sub>e a 50,7 Mt CO<sub>2</sub>e, mientras que el volumen en todos los otros tipos de compensación en comparación creció solo 21% (DONOFRIO; MAGUIRRE; MERRY, 2019). Estos mismos autores afirman que los bosques urbanos están en una categoría de proyecto dominante a medida que el mundo se ha dado cuenta que las soluciones climáticas basadas en la naturaleza son creíbles y están disponibles.

En Colombia, han sido pocos los estudios que se han realizado sobre el arbolado urbano y la oferta de SE (BORRERO, 2012; REYNOLDS et al., 2017; RODRIGUEZ, 2018; CORTES; MATIAS, 2019; RUANO, 2019). Además, las medidas ambientales para mitigar las emisiones se limitan al uso de la tecnología disponible, la eficiencia energética y las acciones de energía renovable (BARO et al., 2014). De la misma forma, los responsables de la formulación de políticas ignoran, en gran medida, el potencial de los espacios verdes urbanos para contribuir al cumplimiento de los objetivos ambientales, considerando que la oferta ambiental aumenta la calidad de los nuevos desarrollos urbanísticos (ALCALDÍA MUNICIPAL DE IBAGUÉ, 2020).

Existen diferencias notables en las existencias de carbono en biomasa de árboles entre ciudades, debido a la prevalencia del clima, historia, su patrón de urbanización y la composición de las especies (LÓPEZ et al., 2018; LINDÉN et al., 2020). Por ende, entender la estructura, la función y el valor del arbolado urbano contribuye a las decisiones que mejoren la salud humana y la calidad del ambiente, y constituyen soluciones conjuntas, basadas en la naturaleza que generan oportunidades de empleo y economía verde (REYNOLDS et al., 2017; LINDÉN et al., 2020). La presente investigación evalúa el papel del arbolado urbano en la captura de carbono en biomasa arriba del suelo y la mitigación de las emisiones en el sector residencial de la ciudad de Ibagué. A su vez, se proponen estrategias para mitigar estas emisiones, como el diseño de tácticas de gobernanza locales basadas en criterios sociales, éticos y científicos, orientados al desarrollo sostenible de las ciudades (IPCC, 2014).

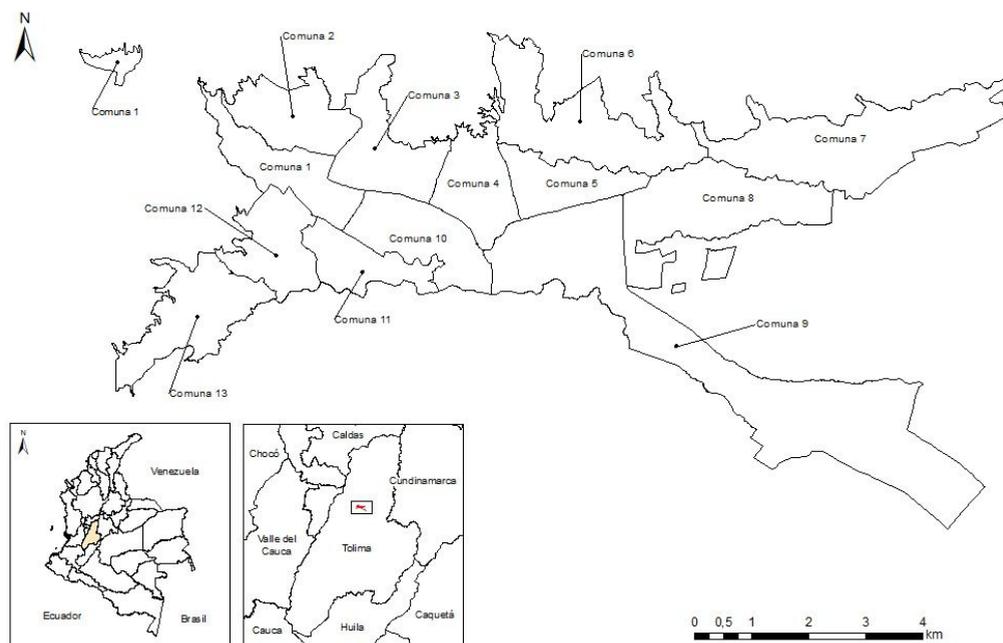
## **Materiales y métodos**

### **Área de estudio**

El estudio se realizó en el área urbana del municipio de Ibagué, en el departamento del Tolima (4°15' – 4°40' N y 74°00' - 75°30' O), en la parte central de la región andina colombiana. La zona urbana de esta ciudad se divide en una parte montañosa y la otra llana (CORTOLIMA, 2020). La primera se enmarca en el paisaje cafetero con una temperatura cercana a los 18°C, mientras que las zonas bajas están en un paisaje del valle del Magdalena, caracterizados por una temperatura promedio de 24°C (IDEAM, 2020). La zona urbana de Ibagué se cataloga como bosque húmedo pre-montano (bh-PM) (IDEAM, 2020), está a una altitud entre los 615 y 1285 m con precipitaciones entre 1000 y 2000 mm/año, y específicamente entre 1400 y 1800 mm/año en la zona media. La ciudad cuenta con un área de 1439 km<sup>2</sup>, de los cuales el 2,4% pertenece al área urbana que se divide en

13 comunas (Figura 1) y 445 barrios (ALCALDÍA MUNICIPAL DE IBAGUÉ, 2020).

Figura 1 – División político – administrativa de Ibagué, Colombia



Fuente: Autores.

El municipio proyecta para el 2020 una población de 541.101 habitantes (DANE, 2018), donde la población urbana pasaría de representar un 94,3-94,5% del total (ALCALDÍA MUNICIPAL DE IBAGUÉ, 2016). Ibagué se posiciona a nivel nacional como la segunda ciudad con mayor área verde per capita ( $6,7 \text{ m}^2$ ), siendo la primera ciudad Neiva con  $7,5 \text{ m}^2$ , seguido de Valledupar, Cartagena y Bucaramanga con  $5,8$ ,  $4,6$  y  $4,5 \text{ m}^2$ , respectivamente (FINDETER, 2018). Las especies del arbolado urbano hacen parte de la infraestructura verde y para su mantenimiento se realizan actividades permanentes de rocerías, podas y talas (SALBITANO et al., 2017).

## Diseño del muestreo

### Selección de especies a muestrear

El estudio tomó como base el censo de 101394 árboles urbanos, medidos durante tres fases bajo los contratos No. 572 de 2013, No. 672 de 2014 y el convenio No. 2095 de 2016 (Alcaldía) /056 de 2016 (CORTOLIMA), celebrados entre diferentes instituciones (CORTOLIMA et al., 2020). Se depuró la base de datos, considerando los árboles con diámetro del tronco a la altura del pecho (dap)  $\geq 10 \text{ cm}$ , arrojando un total de 55684 individuos. Posteriormente se estimó el área basal total y relativa por especie para iden-

tificar las más dominantes, seleccionando aquellas que en conjunto tengan un 80% del área basal.

Se remidió el dap, aproximadamente al 15% de los individuos (7779 árboles) de las especies más dominantes en todas las comunas de la ciudad entre finales del 2019 e inicios del 2020, considerando la comuna y la ubicación específica de cada árbol (parques, andenes o aceras y en vías principales y secundarias).

#### Estimación de biomasa y carbono arriba del suelo

La biomasa arriba del suelo de los árboles se estimó aplicando el modelo alométrico general por Chave et al. (2005), el cual considera como variables independientes el dap y la densidad básica de la madera (Ecuación 1), cuyo valor empleado fue de  $0,45 \text{ g/cm}^3$  (ÁLVAREZ et al., 2011). El carbono fue estimado multiplicado por 0,47, fracción de carbono default recomendada por el IPCC (2007) para zonas tropicales.

#### Ecuación 1

$$B = \rho * \exp(-1,499 + 2,148 * \ln(\text{dap}) + 0,207 * \ln(\text{dap})^2 - 0,0281 * \ln(\text{dap})^3)$$

Donde:

B: Biomasa (kg/árbol)

$\rho$ : Densidad básica ( $\text{g/cm}^3$ )

dap: Diámetro a la altura del pecho (cm)

La fijación de carbono se estimó con base en el incremento periódico anual (IPA), considerando el incremento en el almacenamiento de carbono entre mediciones dividido entre el tiempo transcurrido entre ellas (JUÁREZ, 2014). Los valores de fijación de carbono fueron transformados a  $\text{CO}_2\text{e}$  empleando el factor estequiométrico de 3,67 (IPCC, 2007). Con base en el almacenamiento de carbono en la medición del censo (2013-2016), en la remediación (2019-2020) y la tasa de fijación de carbono de los árboles remedidos, se estimó la tasa de fijación para todo el arbolado urbano. En este caso, se asumió que existe una relación estrecha entre el almacenamiento y fijación de carbono en los árboles urbanos (ZHAO, 2010).

#### Estimación de las emisiones GEI de hogares urbanos de Ibagué y su posible mitigación

La información de las emisiones se obtuvo de los estimados de Sierra (2020), la cual se basó en el uso de combustibles fósiles y energía eléctrica en el sector residencial de la ciudad de Ibagué. Se consideró el número de hogares totales de cada estrato socioeconómico (ENERTOLIMA, 2018) para estimar las emisiones en la ciudad.

La estimación del número de árboles necesarios para compensar las emisiones, como medida de mitigación, se realizó utilizando las tasas de fijación de carbono de las

15 principales especies del arbolado urbano de Ibagué que más capturan.

### Análisis estadístico

Se realizó un análisis descriptivo y se estimó el coeficiente de correlación de *Pearson* entre el almacenamiento y fijación de carbono para todas las especies y para las especies más dominantes del área urbana. Posteriormente, se realizó un análisis de varianza no paramétrica de *Kruskal-Wallis* para estimar las diferencias de emisiones de GEI en los hogares entre diferentes estratos socioeconómicos. Adicionalmente, se realizaron comparaciones en las emisiones entre pares de estratos con la prueba *Dwass-Steel-Critchlow-Fligner*. Se utilizó el software *Jamovi* para los análisis estadísticos.

### Resultados

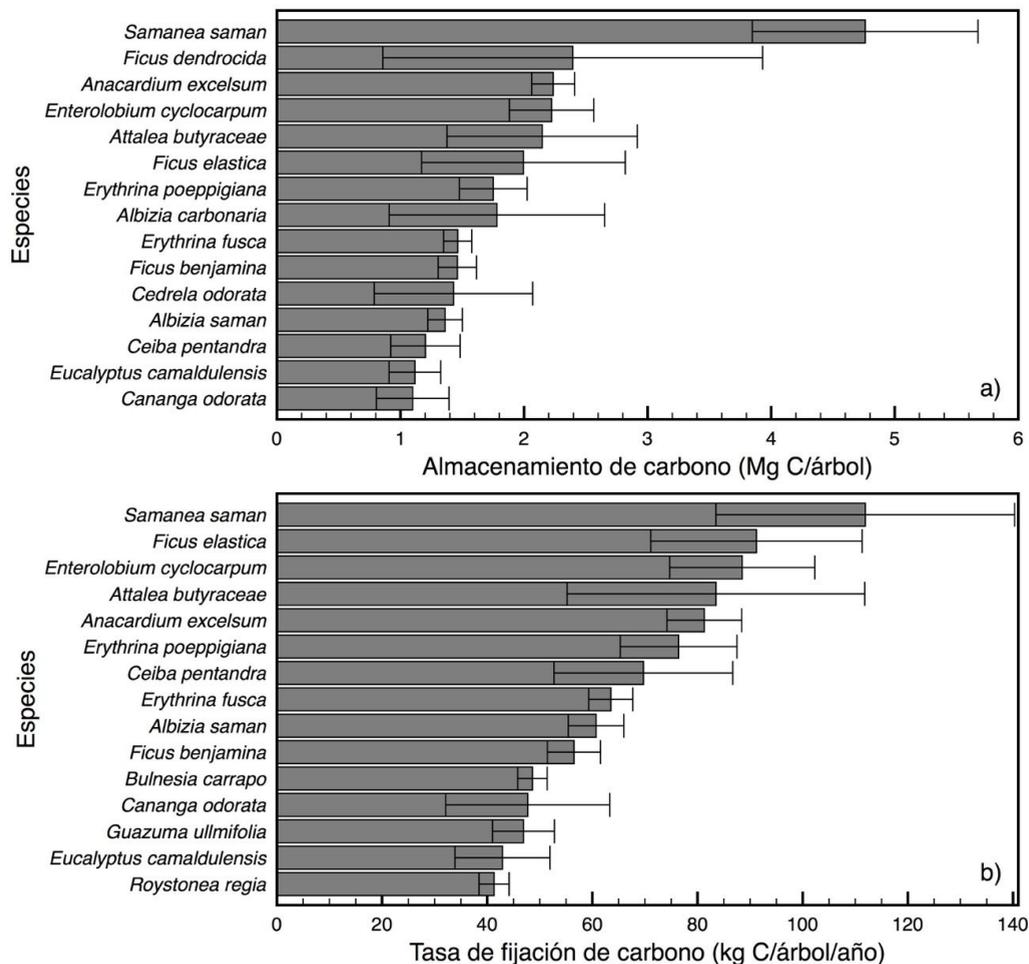
El almacenamiento de carbono en la biomasa arriba del suelo del arbolado urbano varió entre 10,6 kg y 10,2 Mg C/árbol, con un promedio  $402 \pm 9,5$  kg C/árbol. La especie que más se destaca en su almacenamiento de carbono es *Samanea saman* (Jacq.) Benth (samán) con  $4,8 \pm 0,9$  Mg C/árbol, doblando en almacenamiento a *Ficus dendrocyda* Kunth (caucho) que almacena  $2,4 \pm 1,5$  Mg C/árbol (Figura 2a). El resto de las 13 especies más importantes, respecto a carbono, tienen un almacenamiento entre  $1,1 \pm 0,3$  y  $2,3 \pm 0,2$  Mg C/árbol, valores superados entre dos y tres veces por *S. saman* (Figura 2a).

Las tasas de fijación de carbono en las especies más dominantes de arbolado urbano se encuentran entre los 0,15 y 394,2 kg C/árbol/año con un promedio de  $23,6 \pm 0,4$  C/árbol/año (Figura 2b). *S. saman* destaca con la mayor tasa de fijación ( $111,9 \pm 28,4$  kg C/árbol/año), seguido de *Ficus elastica* (ex. Hornem) (caucho de la india) y *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq) (orejero) con  $91,2 \pm 20,1$  y  $88,4 \pm 342,0$  kg C/árbol/año, respectivamente. Las tasas de fijación de carbono del resto de las especies van disminuyendo entre 5 y 8 kg C/árbol/año, desde  $83,5 \pm 28,3$  kg C/árbol/año en *Attalea butyracea* (Mutis L.F) W. Boer (corozo) a *Roystonea regia* (Kunth) o.f Cook (palma real) con  $41,3 \pm 2,8$  kg C/árbol/año (Figura 2b).

Dentro de las especies más representativas, según el estatuto del árbol de la ciudad de Ibagué (MOLINA, 2008), se destacan por su almacenamiento y tasas de fijación de carbono: *Erythrina fusca* Lour. (cachimbo) con  $1,5 \pm 0,1$  Mg C/árbol -  $63,5 \pm 4,2$  kg C/árbol/año, *Erythrina poeppigiana* (Walp) O.F. Cook (cámbulo) con  $1,8 \pm 0,3$  Mg C/árbol -  $76,3 \pm 11,1$  kg C/árbol/año, *Anacardium excelsum* (caracolí) con  $2,2 \pm 0,3$  Mg C/árbol -  $81,1 \pm 7,1$  kg C/árbol/año, *Ceiba pentandra* (L.) Gaertner (ceiba) con  $1,2 \pm 0,3$  Mg C/árbol -  $69,7 \pm 17,0$  kg/árbol/año y *S. saman* con  $111,9 \pm 28,4$  kg C/árbol/año (Figura 2ab). Otra especie nativa y abundante en Ibagué es *Tabebuia rosea* (Bertold) D.C. (ocobo), la cual presentó una tasa de fijación de  $25,5 \pm 2,3$  kg C/árbol/año (Figura 2). Dentro de las especies introducidas, se destacan *C. odorata* (cedro amargo) originaria de Asia con  $1,1 \pm 0,3$  Mg C/árbol -  $47,7 \pm 15,6$  kg C/árbol/año; *Eucalyptus camaldulensis* Dehn (eucalipto) de Australia con  $1,1 \pm 0,2$  Mg C/árbol -  $42,9 \pm 9$  kg C/árbol/año; *Ficus benjamina* L.

(caucho benjamín) con  $1,5 \pm 0,2$  Mg C/árbol –  $56,5 \pm 5,0$  kg C/árbol/año y *F. elastica* (caucho) de la India con  $2,0 \pm 0,8$  Mg C/árbol –  $91,2 \pm 20,1$  kg C/árbol/año (Figura 2).

Figura 2 – Almacenamiento y tasas de fijación de carbono de las especies lenhosas perennes más dominantes del arbolado urbano de Ibagué, Colombia, 2019- 2020

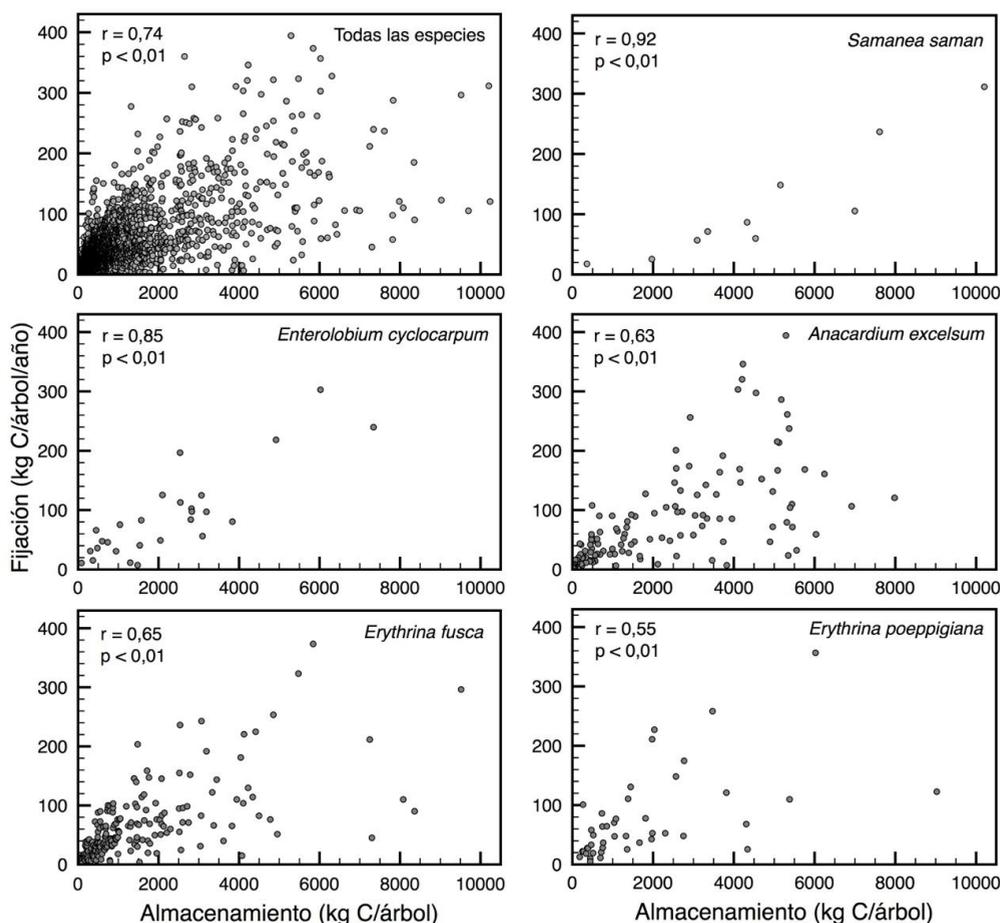


Los valores corresponden a media y las barras de error representan el error estándar de la media. Fuente: Autores.

Se encontró una correlación aceptable entre el almacenamiento y la fijación de carbono en biomasa arriba del suelo de todas las especies ( $r = 0,74$ ;  $p < 0,01$ ) (Figura 3). En el caso de *S. saman* y *E. cyclocarpum*, el coeficiente de correlación de Pearson entre el almacenamiento y la fijación de carbono fue aún mayor que en el resto de las principales especies analizadas ( $r = 0,92$  y  $r = 0,85$ , respectivamente). Estos estadígrafos confirman

que podrían desarrollarse modelos que estimen la fijación de carbono con base en su almacenamiento, que a su vez depende del dap. En contraste, en las otras especies, la correlación no fue tan aceptable ( $0,55 < r < 0,63$ ) (Figura 3).

Figura 3 – Coeficiente de correlación de Pearson ( $r$ ) entre el almacenamiento y tasas de fijación de carbono en biomasa arriba del suelo de las especies leñosas perennes más dominantes del arbolado urbano de Ibagué, Colombia, 2019- 2020



p: probabilidad. Fuente: Autores.

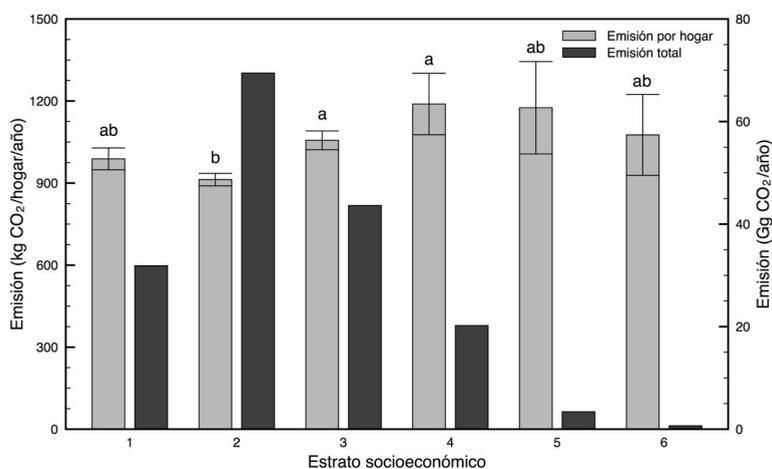
### Emisiones de GEI de los hogares de Ibagué

Se detectaron diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ) en las emisiones por hogar en la ciudad de Ibagué entre los estratos socioeconómicos, los cuales varían entre  $912 \pm 40$  y  $1.189 \pm 112$  kg CO<sub>2</sub>/hogar. El estrato 2 presentó las menores emisiones, las cuales fueron diferentes estadísticamente ( $p < 0,01$ ) solo con los estratos 3 y 4; el resto de comparaciones

de pares de estratos fueron estadísticamente similares ( $p > 0,05$ ) (Figura 4). Se estimó una emisión total de 169 Gg CO<sub>2</sub>/año en los hogares de la ciudad, encontrándose diferencias entre estratos, donde las mayores emisiones se registran en el estrato 2 con 69 Gg CO<sub>2</sub>/año, mientras que el estrato 6 contribuye con solo 0,6 Gg CO<sub>2</sub>/año. El estrato 1 contribuyó con el 18,8% de las emisiones totales, a diferencia del estrato 2 con un 41%, ya en descenso al estrato 3 le correspondió un 26%, seguido de los estratos 4, 5 y 6 con 11,9; 2,0 y 0,3%, respectivamente (Figura 4).

**Figura 4 – Emisiones de CO<sub>2</sub> de los hogares urbanos de Ibagué, Colombia, 2018**

Los valores corresponden a media y las barras de error representan el error estándar de la media. Letras diferentes indican diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ).

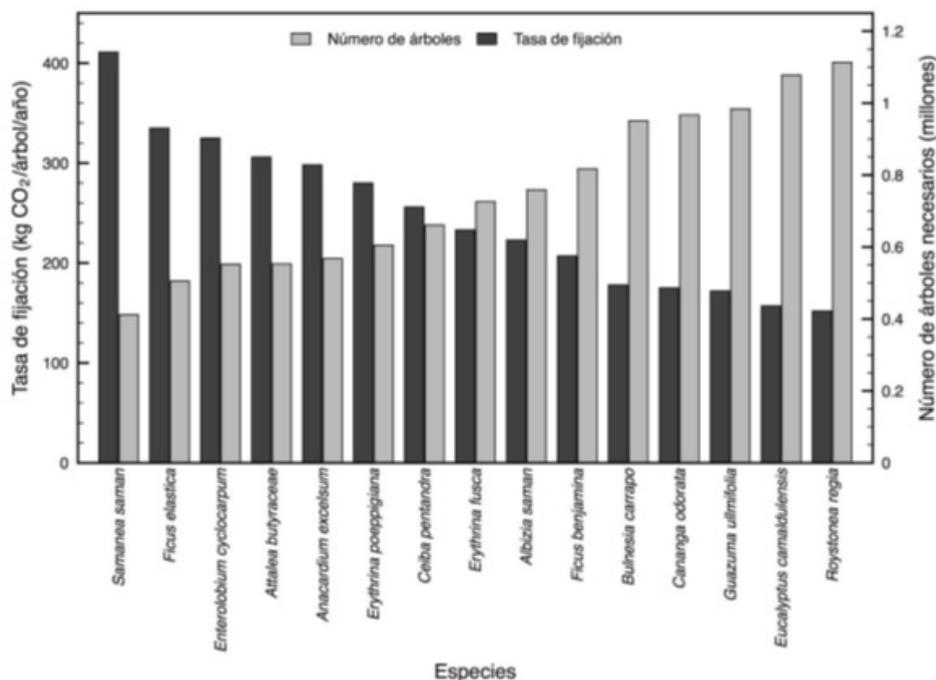


Fuente: Autores.

### Mitigación de emisiones de GEI por el arbolado urbano

Se estimó una tasa de fijación de carbono en biomasa aérea para todo el arbolado urbano de Ibagué de 1,04 Gg C/año, es decir, 3,81 Gg CO<sub>2</sub>/año, lo cual indica que estas áreas verdes pueden capturar y mitigar solo el 2,3% de las emisiones totales de los hogares de la ciudad. La compensación completa de las emisiones de los hogares de Ibagué requiere 412 mil árboles de *S. saman*, teniendo en cuenta que esta especie tiene una tasa de fijación promedio de 411 kg CO<sub>2</sub>/árbol/año, a diferencia de *Roystonea regia* que al tener una tasa de fijación de carbono de 152 kg CO<sub>2</sub>/árbol/año requiere de 1,1 millones de árboles para compensar estas emisiones (Figura 5). En el caso de *T. rosea*, árbol insignia de Ibagué, se requerirían cerca de 1,8 millones de árboles para mitigar estas emisiones.

Figura 5. Número de árboles necesarios de las especies más dominantes de arbolado urbano para mitigar las emisiones por hogar de la ciudad de Ibagué, Colombia, 2018-2020.



Fuente: Autores.

## Discusión

La heterogeneidad de especies y las características específicas de cada una de ellas evidencia su capacidad de absorción de CO<sub>2</sub>, en especial *S. saman*, especie determinante para la mitigación de los GEI por parte del arbolado urbano de Ibagué, al tener los mayores valores de almacenamiento y fijación de carbono. Se debe tener en cuenta que la captura de carbono es efectuada en gran parte durante el desarrollo de los árboles, luego con el pasar de los años, en el instante que los árboles han llegado a su madurez total, capturan únicamente pequeñas cantidades de CO<sub>2</sub> necesarias para su respiración y la de los suelos. De esta manera, no es de importancia cuánto carbono captura inmediatamente, sino cuanto carbono captura y fija durante toda su vida (AGUDELO, 2009).

En el presente estudio, *E. fusca* se destacó al almacenar 1,5 Mg C/árbol, lo cual contrasta con los hallazgos de Rodríguez (2018), quien estimó 8,0 Mg C/árbol en Medellín y Envigado, Colombia. Aunque los resultados son disímiles, debido posiblemente a diferencias en la edad de los árboles, se evidencia el potencial de mitigación del cambio climático de esta especie en bosques urbanos del país. Otra especie sobresaliente en almacenamiento y fijación de carbono fue *F. benjamina* con 1,5 Mg C/árbol y 56,5 kg C/árbol/año, respectivamente. Resultado similar se halló en el estudio realizado por Cortes y Matias (2018) en el parque los Fundadores en la ciudad de Villavicencio-Colombia, al

estimarse en 0,48 Mg C/árbol su almacenamiento.

A pesar que algunas especies, como *A. excelsum* y *F. elastica*, presentan grandes bondades en la mitigación del cambio climático, es importante considerar que generan altos riesgos en los espacios públicos, por daños a la infraestructura (MOLINA, 2008; CORTES; MATIAS, 2018). En contraste, Molina (2008) recomienda para el fortalecimiento de la estructura ecológica de Ibagué especies como *E. fusca*, *C. pentandra*, *S. saman* y *E. poeppigiana*, las cuales arrojaron grandes beneficios en su captura de carbono y mitigación del cambio climático. En Villavicencio (Colombia), Prieto y Garzón (2007) coinciden en recomendar especies como *E. poeppigiana* y *C. pentandra* para el fortalecimiento de la estructura ecológica principal, debido a que son óptimas para conservación de suelos, control de la erosión y recuperación de terrenos degradados, pues poseen una alta capacidad para fijar el nitrógeno al suelo. Estos beneficios hacen que las ciudades sean económica y ambientalmente sostenibles (FAO, 2016).

En la selección de las especies arbóreas más benéficas para el arbolado urbano, se debe considerar, además de la fijación de carbono, la oferta de otros SE como la provisión de sombra, embellecimiento a la ciudad y la atenuación de la contaminación del aire. Las especies nativas producen alimento para la fauna, especialmente a la avifauna y pequeños mamíferos como los murciélagos y las ardillas, y una amplia variedad de insectos, de esta manera las especies nativas no solo cumplen con los aspectos ornamentales y ambientales, sino también con los ecológicos (PRIETO; GARZÓN, 2007).

Los estimados de emisiones de GEI de los hogares de Ibagué arrojaron que no hubo un efecto del estrato socioeconómico. Esto puede deberse a dos factores en los estratos altos: primero al mayor uso de equipos pero que son probablemente de mayor eficiencia energética, tal como electrodomésticos eficientes, autos de alta gama y bombillos ahorradores (ESCOTO; SÁNCHEZ; PÉREZ, 2016); y en segundo lugar los miembros de estos hogares consumen más alimentos que no requieren cocción o que son preparados fuera del hogar (BELALCAZAR; TOBAR, 2013; ARBOLEDA; VILLA, 2016).

El balance entre las emisiones de los hogares y la tasa de fijación de CO<sub>2</sub> permite afirmar que el arbolado urbano puede mitigar solo una pequeña proporción de las emisiones de GEI. En este balance, se hace necesario buscar alternativas adicionales, tal como lo mencionado por la Organización Mundial de la Salud, quien indica que las ciudades deben cumplir con una superficie mínima de áreas verdes de 0,5-1,0 ha/habitante con una distancia menor o igual a 300 m de su residencia como se describe en UN-HABITAT, (2018), y el no cumplimiento de esta norma en la ciudad se hace evidente en esta investigación.

Asumiendo que Ibagué adquiera el área recomendada por habitante, podría incrementarse notablemente la captura de carbono por el arbolado urbano. La reducida extensión de las áreas verdes en las zonas urbanas de la ciudad se debe posiblemente a que estas se concentran en los estratos más altos; mientras que en muchas calles y avenidas del centro de la ciudad y en los estratos bajos existe un déficit de arbolado urbano, causado por la rápida expansión demográfica y la mala planificación de las zonas verdes (MOLINA, 2008).

Lindén et al. (2010) estimaron en 25 Mg C/ha el almacenamiento en parques construidos de Helsinki (Finlandia), información importante para la planificación urbana de las áreas verdes. Mohamed et al. (2018) realizaron exhaustivas investigaciones de los sistemas de vegetación vertical en clima tropical, más allá de los bosques urbanos, y mostrando los beneficios de adaptar el entorno natural al urbano construido de manera eco-amigable, considerando su potencial de secuestro de carbono y su mitigación del cambio climático. Reynolds et al. (2017) estimaron en 103820 Mg CO<sub>2</sub> el almacenamiento total del arbolado urbano público del área Metropolitana del Valle de Aburrá (Colombia), con un secuestro neto de 2,9-5,3 Gg CO<sub>2</sub>/año, valor que es comparable a los 3,81 Gg CO<sub>2</sub>/año estimados en el presente estudio. Las diferencias pueden ser causadas por el área de la zona de estudio, que implica diferencias en el número de árboles, además que Reynolds et al. (2017) también incluyó la biomasa abajo del suelo.

Los árboles en las zonas urbanas presentan otros beneficios en la lucha contra el cambio climático, tal como el evitar indirectamente las emisiones de CO<sub>2</sub> a través del ahorro de energía en edificios para calefacción y enfriamiento (NOWAK; CRANE, 2002). Por lo tanto, en esta investigación es probable que se subestime la contribución del arbolado urbano para mitigar el cambio climático, pero da solución a diversos cuestionamientos, entre ellos la notable diferencia de almacenamiento y tasas de fijación de carbono entre especies. La estimación del número de árboles necesarios para mitigar las emisiones de CO<sub>2</sub> de los hogares de la ciudad de Ibagué ayudaría en los planes de la estrategia de Ibagué, ciudad verde y es una herramienta para futuras decisiones de infraestructura, ya que son pocas las estrategias de planificación de uso de la tierra, afectando altamente las áreas verdes de las ciudades (FAO, 2016).

Una opción que se plantea para la mitigación de las emisiones de los hogares de la ciudad, es la extensión del arbolado urbano público como política pública. Dependiendo de la especie arbórea a emplear, se pueden requerir desde 412 mil árboles hasta 1,1 millones de árboles. Las estrategias para neutralizar las emisiones deben ser prioridad, ya que la ciudad en el 2019 contó con más de 199.357 vehículos y motocicletas, los cuales son en parte determinantes de la calidad del aire (ALCALDÍA MUNICIPAL DE IBAGUÉ, 2019). También se destaca el hecho que el crecimiento urbano no planificado en los últimos 16 años ha generado una pérdida total de 244,5 ha y la desaparición de 58 unidades de bosque en la zona urbana de Ibagué (DIAZ, 2019). Esta problemática también se evidenció en la cobertura arbórea urbana global, en donde se registró una reducción del 26,7 al 26,5% entre 2012 y 2017 (NOWAK; REENFIELD, 2020). La idea prevaleciente sostiene que los avances logrados por la ciencia climática son un fundamento sólido para la elaboración de políticas públicas, reforzar o implementar nuevas estrategias de gobernanza, cuyo objetivo sea encaminado a escenarios locales, partiendo de bases científicas. Además, se debe trabajar en conjunto con todos los sectores políticos, sin preservar ningún tipo de interés en algún sector (LEZAMA, 2014).

Se debe promover y adoptar el uso de tecnologías limpias, considerando el uso de paneles solares con fines de alumbrado público y calentadores de agua solares, estimulando el consumo de tecnología con eficiencia energética (GUTMAN, 2007; BARTON,

2009; ANDRADE et al., 2013; SÁNCHEZ; REYES, 2015). También, se debe incentivar el ahorro de energía, sustituyendo equipos de refrigeración con más de 10 años de antigüedad, desconectando artefactos sin uso inmediato, evitando el modo en espera de electrodomésticos, disminuyendo el uso del aire acondicionado y demás dispositivos de alto consumo energético (LACKNER, 2012; MINMINAS, 2016). Es importante la formulación de estrategias de movilidad inteligentes para reducir las emisiones de GEI en la ciudad y mejorar la calidad del aire (ZAMUDIO, 2016), compartir vehículos en áreas urbanas y rurales, usar modos de transporte más ecológicos y como proyección a futuro, cambiar el sistema de transporte público por uno más eficiente y sostenible, con menos emisiones, especialmente en ciudades intermedias como Ibagué (UDDIN, 2012).

Se suma también la implementación del mercado de carbono, en donde el sector forestal y cambio de uso del suelo son trascendentales en los proyectos de mercado voluntario de carbono, debido a la materialización de nuevas fuentes de demanda y al volumen de compensaciones generadas. Entre 2016 y 2018, la comercialización de estas actividades aumentó de 13,9 Mt CO<sub>2</sub>e a 50,7 Mt CO<sub>2</sub>e ya que el mundo requiere soluciones climáticas creíbles y disponibles para ser efectuadas en el presente (DONOFRIO; MAGUIRE; MERRY; ZWICK, 2019). El promedio del precio del carbono durante el 2018 en el mundo osciló entre U\$3 y U\$6/Mg CO<sub>2</sub>e, con un promedio de U\$2,6/Mg CO<sub>2</sub>e para América Latina y el Caribe (HAMRICK; GALLANT, 2018). Esta estrategia voluntaria o de estricto cumplimiento adoptada por países que compran o venden bonos de carbono há permitido en parte una mayor apropiación del cuidado ambiental individual, empresarial y gubernamental. Una pequeña muestra de ello es que Colombia para el 2019 ha designado la valoración de 16.422 COP/Mg CO<sub>2</sub>e (U\$5/Mg CO<sub>2</sub>e<sup>1</sup>) (SFC, 2020), como impuesto nacional a la gasolina y al diésel (DIAN, 2019).

## Conclusiones

La investigación permitió estimar que existe variación en el almacenamiento y fijación de carbono entre las especies leñosas perennes más dominantes del arbolado urbano de Ibagué. La correlación entre la fijación y el almacenamiento de carbono en estas especies podría permitir, en estudios más detallados, desarrollar modelos que estimen la fijación con base en el almacenamiento, lo cual es una herramienta importante para el monitoreo de este servicio ecosistémico en ciudades.

El arbolado urbano fija cerca de 3,81 Gg CO<sub>2</sub>/año, lo que representa solo el 2,3% de las emisiones de la ciudad. La mitigación de 169,2 Gg CO<sub>2</sub>/año de los hogares se lograría teniendo entre 412 mil y 1,2 millones de árboles de las especies más dominantes de la ciudad de Ibagué. Esto indica la necesidad de incrementar las plantaciones de arbolado urbano, además de aumentar la diversidad de especies nativas, bien establecidas y manejadas, para evitar problemas fitosanitarios o daño a la estructura de servicios públicos o a los asfaltos y andenes de la red vial. Igualmente, se debe trabajar en la sustitución del uso de energía eléctrica y fuentes fósiles por energías alternativas. Estas estrategias de mitigación apoyarían los planes de la estrategia de Ibagué, como ciudad verde.

## Recomendaciones

Las estimaciones del almacenamiento de carbono en árboles urbanos podrían tener errores por el uso de modelos de biomasa generales, los cuales no consideran las características del manejo de este tipo de árboles, como la poda continua. Se recomienda el desarrollo o validación de modelos generales para su aplicación específica en estas condiciones.

Estudios del impacto del arbolado urbano en las condiciones microclimáticas serían un componente ideal para un panorama más amplio de sus beneficios respecto al cambio climático y la variabilidad climática. Las políticas de ciudades verdes, como Ibagué, requieren de estudios más detallados como el presente, por lo cual la financiación a la investigación y al desarrollo de buenas prácticas debería ser un elemento clave. Se requiere de la misma forma, programas de educación ambiental dirigidos a la población y dar apoyo para la reducción del consumo de energía y la consecuente emisión de GEL.

---

<sup>1</sup> Valor estimado tomando la TRM promedio para Colombia durante el 2019 (3282,39 COP/US\$).

## Agradecimientos

Agradecemos a la Oficina Central de Investigaciones de la Universidad del Tolima por la financiación del proyecto 260130517 y a CORTOLIMA por suministrar la base de datos del Censo del arbolado Urbano de la ciudad de Ibagué, en el cual también participaron la Corporación San Jorge, Cemex, Concesión San Rafael, Alcaldía de Ibagué y Universidad del Tolima.

## Referencias

AGUDELO, M. **Biomasa aérea y contenido de carbono en bosques de *Quercus humboldtii* y *Colombobalanus excelsa*: corredor de conservación de robles Guantiva – La Rusia – Iguaque (Santander – Boyaca)**. (Tesis de pregrado) - Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali. 2009.

ALCALDÍA MUNICIPAL DE IBAGUÉ. 2016. **Plan de Desarrollo 2016-2019**. Disponible en <<https://www.ibague.gov.co/portal/seccion/contenido/index.php?type=2&cnt=5>>. Acceso en 9. Jun. 2020.

ALCALDÍA MUNICIPAL DE IBAGUÉ. 2019. **Parque automotor de Ibagué supera los 199.300 vehículos y motocicletas**. Disponible en <<https://www.ibague.gov.co/portal/seccion/noticias/index.php?idnt=6755>>.

Acceso en 9. Jun. 2020.

ALCALDÍA MUNICIPAL DE IBAGUÉ. 2020. **Plan de Desarrollo 2020-2023**. Disponible en

<<https://www.ibague.gov.co/portal/seccion/contenido/contenido.php?type=3&cnt=86&subtyp e=1&subcnt=418>>. Acceso en 9. Jun. 2020.

ÁLVAREZ, E.; SALDARRIAGA, J.; DUQUE, A.; CABRERA, K.; YEPES, A., NAVARRETE, D.; PHILLIPS, J. **Selección y validación de modelos para la estimación de la biomasa aérea en los bosques naturales de Colombia**. Bogotá D.C., Colombia. 2011.

ANDRADE, H.; SEGURA, M.; CANAL, D.; GÓMEZ, M.; MARÍN, M.; SIERRA, E.; GUE- PENDO, I.; ALVARADO, J.; FERIA, M. **Estrategias de adaptación al cambio climático en sistemas de producción agrícola y forestal en el departamento del Tolima**. Ibagué- Tolima, Colombia, Sello Editorial Universidad del Tolima, 2013.

ARBOLEDA, L.; VILLA, P. Preferencias alimentarias en los hogares de la ciudad de Medellín, Colombia. **Saúde Soc. São Paulo**, v. 25, n. 3, 750-759. 2016.

BARÓ, F.; CHAPARRO, L.; GÓMEZ-BAGGETHUN, E.; LANGEMEYER, J.; NOWAK, D.; TERRADAS, J.; Contribution of Ecosystem Services to Air Quality and Climate Change Mitigation Policies: The Case of Urban Forests in Barcelona, Spain. **AMBIO**, n. 43, 466– 479. 2014. doi: 10.1007/s13280-014-0507-x

BARTON, J. Adaptación al cambio climático en la planificación de ciudades regiones. **Revista de Geografía Norte Grande**, v 43: 5-30. 2009.

BELALCAZAR, D.; TOBAR, L. Determinantes sociales de la alimentación en familias de estratos 4, 5 y 6 de la localidad de Chapinero de Bogotá D.C. **Rev. Fac. Nac. Salud Pública**. v. 31, n. 1, 40-47. 2013.

BORRERO, J. **Biomasa aérea y contenido de carbono en el campus de la pontificia universidad javeriana de Bogotá**. (Tesis de pregrado)- Facultad de Estudios Ambientales y Rurales, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. 2012.

CHAROEKIT, S.; YIEMWATTANA, S. Living walls and their contribution to improved thermal comfort and carbon emission reduction: A review. **Building and Environment**, v.105, Pages 82-94. 2016. doi:

10.1016/j.buildenv.2016.05.031

CHAVE, J.; ANDALO, C.; BROWN, S.; CAIRNS, M.; CHAMBERS, J.; EAMUS, D.; FOL- TER, H.; FROMARD, F.; HIGUCHI, N.; KIRA, T.; LESCURE, J.; NELSON, B.; OGAWA, H.; PUIG, H.; RIERA, B.; YAMAKURA, T. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Oecología**, v. 145, 87-99. 2005. doi: 10.1007/s00442-005- 0100-x

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL TOLIMA (CORTOLIMA). 2020. **Ubi- cación geografía de Ibagué**. Disponible en <<https://www.cortolima.gov.co/search/node/Ubica- cion%20geografica%20de%20ibague>>. Acceso en 9. Jun. 2020.

CORTOLIMA., CORPORACIÓN SAN JORGE., CEMEX., CONCESIÓN SAN RAFAEL., ALCALDÍA DE IBAGUÉ., UNIVERSIDAD DEL TOLIMA. **Censo del arbolado urbano realizado 2013 a 2016**. Radicado: 0336 del 10 de junio de 2020. CORTOLIMA, Ibagué: 2020.

CORTES, J.; MATIAS, E. **Estimación de la capacidad potencial de fijación de CO<sub>2</sub> y pro- ducción de O<sub>2</sub>, como servicio ecosistémico suministrado por el arbolado del parque los**

fundadores y la alameda de la avenida 40 en el municipio de Villavicencio (Meta). (Tesis de pregrado)- Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás, Villavicencio. 2019.

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA - DANE.

**Proyección de la población.** Bogotá: 2018. DÍAZ, M. Sostenibilidad ambiental de los bosques urbanos en la ciudad de Ibagué, 2000-2018. (Trabajo de Posgrado)- Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja. 2019.

DIRECCIÓN DE IMPUESTOS Y ADUANAS NACIONALES DE COLOMBIA (DIAN).

**Resolución n. 000009 30/01 de 2019.** Por la cual se ajustan las tarifas del impuesto nacional a la gasolina y al ACPM, y del impuesto nacional al carbono. Disponible en: <<https://www.dian.gov.co/normatividad/Normatividad/Resoluci%C3%B3n%2000009%20de%2028-01-2019.pdf>>. Acceso en 9. Jun. 2020.

DONOFRIO, S.; PATRICK, M.; MERRY, W.; STEVE, Z. **Financing Emissions Reductions for the Future State of the Voluntary Carbon Markets 2019.** Available on: < [https://www.forest-trends.org/wpcontent/uploads/2018/09/VCM-Q1-Report\\_Full-Version-2.pdf](https://www.forest-trends.org/wpcontent/uploads/2018/09/VCM-Q1-Report_Full-Version-2.pdf) > Access in: 10. Jun. 2020.

ENERTOLIMA. Respuesta de derecho de petición con radicado: 201800026472. Compañía Energética del Tolima S.A. E.S.P. Ibagué: 2018.

ESCOTO, A.; SÁNCHEZ, L.; PÉREZ G. Hogares y energía eléctrica en México. **Revista Espinhalço**, v. 5, n. 2, 30-43. 2016.

FINANCIERA DEL DESARROLLO - FINDETER. **Ibagué sostenible 2037 Territorio conector, colectivo y competitivo.** Ibagué: 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNIDE NATIONS (FAO). 2016. **Building greener cities: nine benefits of urban trees.** Available on <<http://www.fao.org/zhc/detail-events/en/c/454543/>>. Access in: 8. Jun. 2020.

GRIMM, N.; FAETH, S.; GOLUBIEWSKI, N.; REDMAN, C.; WU, J.; BAI, X.; BRIGGS, J. GLOBAL. Change and the Ecology of Cities. **Science**, v. 319, n. 5864, 756–760, 2008. doi:10.1126/science.1150195

GUTMAN, V. **Cambio climático e incentivos a la innovación en tecnologías limpias: ¿puede más mercado corregir la mayor falla de mercado de la historia?.** (Tesis de posgrado)- Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires Argentina. 2007

HAMRICK, K.; GALLANT, M. **Voluntary carbon markets outlooks and First- Quarter Trends, 2018.** Available on: < [https://www.forest-trends.org/wpcontent/uploads/2018/09/VCM-Q1-Report\\_Full-Version-2.pdf](https://www.forest-trends.org/wpcontent/uploads/2018/09/VCM-Q1-Report_Full-Version-2.pdf) > Access in: 10. Jun. 2020.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). c2020. **Visor de Datos Instantaneos del IDEAM.** Disponible en <“<http://visormapas.ideam.gov.co/datainmotiongeox/productos/generales/estaciones/automaticas/crudos/instantaneos/>”>. Acceso en 9. Jun. 2020.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES -IDEAM. **Inventario nacional y departamental de gases de efecto invernadero - Colombia.** Bogotá: 2012.

JUÁREZ, Y. **Dasometría apuntes de clase y guía de actividades prácticas.** 1. ed. Cochabamba,

Bolivia. 2014.

LACKNER, M. Energy Efficiency: Comparison of Different Systems and Technologies. In IN WEI-YIN CHEN, SEINER, J. SUZUKI, T. and LACKNER M. (Eds.), **Handbook of Climate Change Mitigation**. 2012, pp. 841- 907. doi:10.1007/978-1-4419-7991-9

LEZAMA, J. La política Internacional del cambio climático. **Sociedad y ambiente**, v. 1, n. 3, 104-117. 2014.

LINDÉN, L.; RIIKONEN, A.; SETÄLÄ, H.; YLI-PELKONEN, V. Quantifying carbón stocks in urban parks under cold climate conditions. **Urban Forestry & Urban Greening**, v.49, 2020. doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126633

LOPEZ, S.F.; MARTÍNEZ, T.; BENAVIDES, H.M.; GARCÍA, M.; ÁNGELES, G. Reservorios de biomasa y carbono en el arbolado de la primera sección del Bosque de Chapultepec, Ciudad de México. **Madera y Bosques**, v. 24, n. 3, e2431620, 2018. doi.org/10.21829/myb.2018.2431620.

MCHALE, M.; MCPHERSON, E.; BURKE, I. The potential of urban tree plantings to be cost effective in carbon credit markets. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 6, n.1, 49-60. 2007. doi:10.1016/j.ufug.2007.01.001

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA- MinMinas. **Plan de acción indicativo de eficiencia energética 2017 - 2022 una realidad y oportunidad para Colombia**. Bogotá: 2016.

MOHAMED, S.; PERISAMY E.; HUSSEIN, H.; MYEDA N.; ZAINON N. Vertical Greenery System in Urban Tropical Climate and its Carbon Sequestration Potential: A Review. **Ecological Indicators**, v. 91, 57-70. 2018. doi: 10.1016/j.ecolind.2018.03.086

MOLINA, L. Árboles para Ibagué. Especies que fortalecen la Estructura Ecológica Principal. Grupo de investigación Ciudad, Medio Ambiente y Hábitat Popular. **Nodo: Arquitectura. Ciudad. Medio Ambiente**, v.3, n.5, 71-84. 2008.

NATIONAL OCEANIC & ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). c2020. **Concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera entre enero de 1966 y enero de 2019**. Earth System Research Laboratory at Manua Loa. U.S. Disponible en <<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/data.html>>. Acceso en 9. Jun. 2020.

NOWAK D.J.; CRANE D.E. Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. **Environmental Pollution**, v. 116, n. 3, 381–389. 2002. doi: 10.1016/S0269-7491(01)00214-7

NOWAK, D.; GREENFIELD, E. The Increase of Impervious Cover and Decrease of Tree Cover within Urban Areas Globally (2012-2017). **Urban Forestry and Urban Greening**, v. 49. 2020. doi: 10.1016/j.ufug.2020.126638

PANEL INTERGUBERNAMENTAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO – IPCC. **Gases de Efecto Invernadero, IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. Informe del Grupo de Trabajo I - Base de las Ciencias Físicas**. Ginebra, Suiza: 2007.

PANEL INTERGUBERNAMENTAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO – IPCC. **Cambio Climático 2014 mitigación del cambio climático resumen para responsables de políticas y resumen técnico**. Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América: 2014.

PRIETO, L.; GARZÓN, B. Árboles para Villavicencio especies que fortalecen la Estructura Ecológica Principal. **Revista nodo**, v. 2, n. 3, 85-98. 2007.

- REYNOLDS, C.C.; ESCOBEDO, F.J.; CLERICI, N.; ZEA-CAMAÑO, J. Does “Greening” of Neotropical Cities Considerably Mitigate Carbon Dioxide Emissions? The Case of Medellín, Colombia. *Sustainability*, v. 9, n. 785, 1-16. 2017.
- RODRÍGUEZ, A. **Estimación del crecimiento, la biomasa y la captura de carbono de tres especies arbóreas del bosque urbano en los municipios de Medellín y Envigado.** (Tesis de pregrado), Universidad EIA, Envigado. 2018.
- RUANO, J. **Estimación de la captura de carbono en el Ecoparque de las garzas, Cali Valle del Cauca.** (Tesis de pregrado)- Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali. 2019.
- SALBITANO, F.; BORELLI, S.; CONIGLIARO, M.; CHEN, Y. **Directrices para la silvicultura urbana y periurbana.** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Directrices para la silvicultura urbana y periurbana, Montes n 178, Roma, 2017.
- SÁNCHEZ, L.; REYES, O. **Medidas de adaptación y mitigación frente al cambio climático en América Latina y el Caribe. Una revisión genera.** Santiago, Chile. 2015. Disponible en: <[https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39781/S1501265\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39781/S1501265_es.pdf)>. Acceso en 11 jun. 2020
- SIERRA, E. (2020). **Relación entre la emisión de gases de efecto invernadero y las características sociodemográficas y socioeconómicas de hogares del municipio de Ibagué, Tolima, Colombia.** (Tesis de Maestría)-Facultad de Ingeniería Forestal, Universidad del Tolima, Tolima, Colombia. 2020.
- SUPERINTENDENCIA FINANCIERA DE COLOMBIA. c2020. **Histórico TRM para estados financieros.** Disponible en <<https://www.superfinanciera.gov.co/jsp/9332>>. Acceso en 9. Jun. 2020.
- TIMILSINA, N.; ESCOBEDO, F.; STRAUDHAMMER, C.; BRANDEIS, T. Analyzing the causal factors of carbon stores in a subtropical urban forest. *Ecological Complexity*, v.20, 23-32. 2014. doi: 10.1016/j.ecocom.2014.07.001
- UDDIN, W. Mobile and Area Sources of Greenhouse Gases and Abatement Strategies. In Wei-Yin Chen, Seiner, J. Suzuki, T. and Lackner M. (Eds.), **Handbook of Climate Change Mitigation.** 2012, pp.775-839. doi:10.1007/978-1-4419-7991-9
- UNITED NATIONS. **Revision of World Urbanization Prospects: the 2018 revision.** New York: 2018.
- UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME – UN-HABITAT. **Developing public space and land values in cities and neighbourhoods.** Disponible en: <https://unhabitat.org/developing-public-space-and-land-values-in-cities-and-neighbourhoods>. Acceso en 11 jun. 2020
- VILLANUEVA, R.; LEÓN, F.; OSORIO, C.; SÁNCHEZ, D. **Renovación y ampliación de la terminal aeroportuaria perales Ibagué –Tolima.** (Tesis de pregrado)- Facultad de Arquitectura y Artes, Universidad Piloto de Colombia, Bogotá. 2016.
- ZAMUDIO, J. **Estrategias para mitigar la contaminación del aire en zonas aledañas a grandes avenidas de Bogotá.** (Tesis de posgrado). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 2016.

ZHAO, M.; ZHENG-HONG K.; ESCOBEDO, F; GAOA, J. Impacts of urban forests on offsetting carbon emissions from industrial energy use in Hangzhou, China. **Journal of Environmental Management**, v. 91, 807-813. 2010. doi: 10.1016/j.jenvman.2009.10.010

**Luis Miguel Acuña Simbaqueva**

✉ lmacunas@ut.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1733-2485>

Submitido em: 05/11/2020

Aceito em: 17/03/2021

2021;24e:01911

**Hernán J. Andrade**

✉ hjandrade@ut.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3398-294X>

**Milena A. Segura**

✉ masegura@ut.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4813-1224>

**Erika Sierra-Ramírez**

✉ esierrar@ut.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4449-2401>

**Diana Skarly Canal-Daza**

✉ dscanal@ut.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3775-6210>

**Oscar Enrique Greñas-Corrales**

✉ ogrenas@ut.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2229-5404>

**Como citar:** ACUÑA, I.M; ANDRADE, H.J; SEGURA, M.A; SIERRA, E; CANAL, D.S; GREÑAS, O.E. Mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero de hogares por arbolado urbano en Ibagué-Colombia. *Ambiente & Sociedade*. São Paulo, v. 24, p. 1-20, 2021

# Mitigação de emissões de GEE de famílias por árvores urbanas em Ibagué-Colômbia

Luis Miguel Acuña-Simbaqueva  
Hernán J. Andrade  
Milena A. Segura  
Erika Sierra-Ramírez  
Diana Skarly Canal-Daza  
Oscar Enrique Greñas-Corrales

São Paulo. Vol. 24, 2021  
*Artigo Original*

**Resumo:** As árvores são essenciais nas cidades para capturar CO<sup>2</sup> e, por sua vez, contribuem para mitigar as mudanças climáticas. O armazenamento e fixação de carbono de biomassa acima do solo na floresta urbana de Ibagué foram estimados com um censo em 2013-2016 e uma re-medição de 15% dos indivíduos em 2019-2020. O número de árvores necessárias para as principais espécies foi estimado para mitigar as emissões domésticas de gases de efeito estufa. As árvores urbanas fixam cerca de 3,81 Gg de CO<sup>2</sup>/ano, o que representa apenas 2,3% das emissões da cidade. A mitigação de 169,2 Gg CO<sup>2</sup>/ano das residências da cidade seria alcançada com entre 412 mil e 1,2 milhão de árvores das espécies mais dominantes. Os esforços baseados em infraestrutura verde para compensar as emissões urbanas no nível municipal devem ser coordenados com políticas territoriais em escalas amplas.

**Palavras-Chave:** Armazenamento, fixação, política ambiental, serviços ecossistêmicos, silvicultura urbana.

**Como citar:** ACUÑA, I.M; ANDRADE, H.J; SEGURA, M.A; SIERRA, E; CANAL. D.S; GREÑAS, O.E. Mitigação de emissões de GEE de famílias por árvores urbanas em Ibagué-Colômbia. *Ambiente & Sociedade*. São Paulo, v. 24, p. 1-20 2021.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200191vu2021L3AO>

# Mitigation of greenhouse gas emissions from households by urban woodland in Ibagué-Colombia

Luis Miguel Acuña-Simbaqueva  
Hernán J. Andrade  
Milena A. Segura  
Erika Sierra-Ramírez  
Diana Skarly Canal-Daza  
Oscar Enrique Greñas-Corrales

São Paulo. Vol. 24, 2021  
*Original Article*

**Abstract:** Trees are indispensable to capture CO<sup>2</sup> and, in turn, contribute to the mitigate climate change. Carbon stock and fixation in aboveground biomass in the urban trees of Ibagué was estimated Ibagué with a census in 2013-2016 and a remeasurement of 15% of individuals in 2019-2020. The number of trees required of the main species was estimated to mitigate the greenhouse gas emissions of households. Urban trees fix about 3.81 Gg CO<sup>2</sup>/year, which represents just 2.3% of the city's emissions. The mitigation of 169.2 Gg CO<sup>2</sup>/year would be achieved by having between 412 thousand and 1.2 million trees of the most dominant specie. Efforts based on green infrastructure to compensate urban emissions at the municipal level must be coordinated with territorial policies at broader scales.

**Keywords:** Stock, fixation, environmental policy, ecosystem services, urban forestry.

**How to cite:** ACUÑA, I.M; ANDRADE, H.J; SEGURA, M.A; SIERRA, E; CANAL. D.S; GREÑAS, O.E. Mitigation of GHG emissions from households by urban trees in Ibagué-Colombia. *Ambiente & Sociedade*. São Paulo, v. 24, p. 1-20, 2021.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200191vu2021L3AO>