

Identification of the Variation of Carbon Capture by the Forestry Use in the Mega Work The Third Track in the City of Bucaramanga

Carlos Alberto Amaya Corredor, Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Master en Gestion y Auditorias Ambientales¹, Carolina Hernandez Contreras, Magister en Ciencias y Tecnologias Ambientales², Carolina Jones Zambrano, (c) Magister en Ciencias y Tecnologias Ambientales³, Oscar Geovanny Quintero Quintero, Ingeniero Ambiental⁴, Shirley Alexandra Lesmes Pinzón, Ingeniera Ambiental⁵

¹Unidades Tecnológicas de Santander, Colombia, camaya@correo.uts.edu.co, ²Unidades Tecnológicas de Santander, Colombia, chernandez@correo.uts.edu.co, ³Unidades Tecnológicas de Santander, Colombia, cjones@correo.uts.edu.co, ⁴Unidades Tecnológicas de Santander, Colombia, qq_og@hotmail.com, ⁵Unidades Tecnológicas de Santander, Colombia, alexita_0804@hotmail.com

Abstract– *The necessities that arise with the demographic growth, the greater exmeasure of the automotive park and the precarious conditions of the road mesh in the city of Bucaramanga and its metropolitan area, are determining factors in the execution of mega works of road infrastructure that allow the social development And economic This development involves the intervention of urban green spaces of great ecological importance that provides environmental services such as CO2 capture, noise reduction, regulation of temperatures, among others. The present study has the purpose of establishing CO2 capture conditions in the area of influence of the mega work of the primary corridor of Bucaramanga and Floridablanca between the Provenza bridge and the sun gate. For the estimation of the CO2 capture, an analysis of the information of documents that requested to the committed entities like the CDMB, the Metropolitan Area of Bucaramanga and the direction of the transit of the municipality of Bucaramanga was carried out; After this respective analysis the data provided were interpreted. Among the analyzes made to the documentation it was obtained that the CO2 storage potential of the grass cover before the work was 140,467 kg of CO2; That a consequence of the forest exploitation of the 691 authorized trees will cause a deterioration of the environmental quality in the area of influence and its recovery will be reflected and the compensation is made satisfactorily in the conditions and the terms of time suggested*

Keywords- *Forest exploitation, Arborization, Carbon dioxide, Sink, Forestry*

Digital Object Identifier (DOI):<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.230>
ISBN: 978-0-9993443-1-6
ISSN: 2414-6390

Identificación de la Variación de Captura de Carbono por el Aprovechamiento Forestal en la Mega Obra el Tercer Carril en la Ciudad de Bucaramanga.

Carlos Alberto Amaya Corredor, Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Master en Gestion y Auditorias Ambientales¹, Carolina Hernandez Contreras, Magister en Ciencias y Tecnologias Ambientales², Carolina Jones Zambrano, (c) Magister en Ciencias y Tecnologias Ambientales³, Oscar Geovanny Quintero Quintero, Ingeniero Ambiental⁴, Shirley Alexandra Lesmes Pinzón, Ingeniera Ambiental⁵

¹Unidades Tecnológicas de Santander, Colombia, camaya@correo.uts.edu.co, ²Unidades Tecnológicas de Santander, Colombia, chernandez@correo.uts.edu.co, ³Unidades Tecnológicas de Santander, Colombia, cjones@correo.uts.edu.co, ⁴Unidades Tecnológicas de Santander, Colombia, qq_og@hotmail.com, ⁵Unidades Tecnológicas de Santander, Colombia, alexita_0804@hotmail.com

Abstract– Las necesidades que surgen con el crecimiento demográfico, el incremento desmedido del parque automotor y las precarias condiciones de la malla vial en la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana, son factores determinantes en la ejecución de mega obras de infraestructura vial que permitan el desarrollo social y económico. Este desarrollo implica la intervención de espacios verdes urbanos de gran importancia ecológica que proporcionan servicios ambientales tales como, la captura de CO₂, la disminución del ruido, regulación de la temperaturas entre otros.

El presente estudio tiene el propósito de establecer condiciones de captura de CO₂ en la zona de influencia de la mega obra del corredor primario de Bucaramanga y Floridablanca entre puente Provenza y la puerta del sol.

Para la estimación de la captura de CO₂ se realizó un análisis de la información de documentos que se solicitó a los entes comprometidos tales como la CDMB, el Área Metropolitana de Bucaramanga y la dirección de tránsito del municipio de Bucaramanga; después de este respectivo análisis se procedió a la interpretación de datos suministrados.

Dentro de los análisis realizados a la documentación se obtuvo que el potencial de almacenamiento de CO₂ de la cobertura arbórea pre-obra fue de 140467 Kg de CO₂; Que a consecuencia del aprovechamiento forestal de los 691 árboles autorizados, ocasionaran un deterioro de la calidad ambiental en la zona de influencia y su recuperación se verá reflejada si la compensación se hace satisfactoriamente en las condiciones y términos de tiempo sugeridos.

Keywords-- Aprovechamiento forestal, Arborización, Dióxido de carbono, Sumidero, Silvicultura.

Abstract– The necessities that arise with the demographic growth, the greater exmeasure of the automotive park and the precarious conditions of the road mesh in the city of Bucaramanga and its metropolitan area, are determining factors in the execution of mega works of road infrastructure that allow the social development And economic This development involves the intervention of urban green spaces of great ecological importance that provides environmental services such as CO₂ capture, noise reduction, regulation of temperatures, among others.

The present study has the purpose of establishing CO₂ capture conditions in the area of influence of the mega work of the primary

corridor of Bucaramanga and Floridablanca between the Provenza bridge and the sun gate.

For the estimation of the CO₂ capture, an analysis of the information of documents that requested to the committed entities like the CDMB, the Metropolitan Area of Bucaramanga and the direction of the transit of the municipality of Bucaramanga was carried out; After this respective analysis the data provided were interpreted.

Among the analyzes made to the documentation it was obtained that the CO₂ storage potential of the grass cover before the work was 140,467 kg of CO₂; That a consequence of the forest exploitation of the 691 authorized trees will cause a deterioration of the environmental quality in the area of influence and its recovery will be reflected and the compensation is made satisfactorily in the conditions and the terms of time suggested

Keywords-- Forest exploitation, Arborization, Carbon dioxide, Sink, Forestry.

I. INTRODUCCION

El crecimiento de la población que se presenta en las grandes ciudades a nivel global, regional y nacional, y la mala planeación de las expansiones urbanas por falta de políticas públicas responsables, se han venido manifestando problemas focalizados en puntos clave para el desarrollo sostenible y sustentable de los centros urbanos. Problemas como movilidad, islas de calor, altas concentraciones de gases efecto invernadero, ruido, deterioro de la calidad del paisaje, alteraciones en ecosistemas urbanos ya establecidos, afectaciones a la salud pública, entre otros. Son situaciones a las que se tienen que afrontar los líderes políticos, empresariales, y sociales; y que de alguna manera el aspecto ambiental es un punto neurálgico en la toma de decisiones que permitan la ejecución de mega obras necesarias para que este crecimiento como ciudad se dé.

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.230>
ISBN: 978-0-9993443-1-6
ISSN: 2414-6390

La presente investigación busca resaltar la importancia y función de los árboles urbanos y los servicios ambientales que estos brindan, la necesidad de establecer mecanismos de conservación y mejoramientos de áreas urbanas protegidas, y la urgente sensibilidad que necesita la sociedad actual para con el cuidado de la naturaleza como parte vital de un entorno social sano, en busca de un equilibrio entre el consumo desmedido de recursos energéticos y la relación que esto recae sobre los árboles que tiene la ciudad.

Con la ampliación de vías que la ciudad demanda por su crecimiento demográfico, el municipio de Bucaramanga realiza proyectos de mega obras importantes para su movilidad como la ampliación del tercer carril, en el cual fue necesario la aplicación de un plan de intervención de 691 árboles urbanos donde se ve reflejado una pérdida sustancial de captura de carbono que el material forestal allí soportaba, no obstante las autoridades ambientales en uso de sus facultades legales promueve un decreto de aprovechamiento forestal con sus respectivas propuestas de compensación posterior, y manejo ambiental.

Basados en el análisis de los estudios previos a la mega obra el tercer carril hechos por el municipio de Bucaramanga y las autoridades ambientales, este proyecto de investigación tiene como objetivo principal establecer condiciones de captura de CO₂ en la zona de influencia de la mega obra.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La ciudad de Bucaramanga en su plan de desarrollo y mejoramiento de infraestructura vial contempló la ejecución de mega obras para dar solución a la problemática de movilidad que aumenta constantemente con el crecimiento desmedido del parque automotor y una malla vial deficiente en la ciudad.

Como estrategia del gobierno municipal en el periodo pasado estaba contemplada la ejecución de la mega obra del tercer carril que hace parte de la ruta 1 Bucaramanga-Floridablanca, vía metropolitana primaria, y se realiza en el tramo que va desde la puerta del sol y el puente Provenza con una longitud aproximada de 2,1 kilómetros incluidos el puente García Cadena.

La autoridad ambiental (Área metropolitana de Bucaramanga) mediante la resolución No. 000015 de enero de 2015 aprobó el aprovechamiento forestal de 691 árboles en el área de influencia de la mega obra denominada el tercer carril. El aprovechamiento forestal

autorizado para la realización de la obra y siendo este un corredor vial muy importante para la ciudad, afecta en gran medida la calidad ambiental, con un incremento en la contaminación del recurso aire por material particulado y gases, aumento de la temperatura, la disminución de captura de carbono por la biomasa aérea, deterioro paisajístico y otros servicios ambientales prestados por los árboles allí ubicados.

Es importante resaltar que dentro del proyecto estaba contemplado la compensación de 94.961 árboles en zonas aledañas al proyecto en un término de 3 años, y aún no se ha definido el lugar por falta de espacios adecuados para hacer dicha compensación, no obstante la zona se verá afectada permanentemente durante y después de la ejecución del proyecto, ya que, con la ampliación de la vía y la disminución de espacios verdes que ayuden al control de los gases emitidos por la combustión de combustible fósiles especialmente el dióxido de carbono, ayudan al deterioro de la calidad ambiental y posibles afectaciones respiratorias en la comunidad.

Si esta práctica de aprovechamiento forestal en áreas urbanas continúa; y no se da una compensación adecuada y vigilada, la ciudad se verá abocada a grandes problemas ambientales en materia de calidad del aire y sostenibilidad ambiental, aumentando los índices de temperatura, entre otros.

Para evitar este tipo de problemáticas en los que se ve expuesta la ciudad por falta de planeación urbanísticas es recomendable definir áreas protegidas urbanas y gestionar silvicultura que disminuyan los impactos ambientales derivados de este tipo de mejoras públicas de infraestructura vial. Dado que, en materia de desarrollo y crecimiento como ciudad beneficia a las poblaciones, pero también preocupa la afectación ambiental y las consecuencias que esto recae sobre la salud pública.

Los servicios ambientales prestados por los árboles en zonas urbanas son de un alto impacto especialmente en corredores viales con flujos vehiculares en constante crecimiento. Entonces ¿Cuánto carbono se va a dejar de sintetizar por el aprovechamiento forestal ocurrido en la mega obra el tercer carril? Y si el parque automotor en la ciudad de Bucaramanga está aumentando desmedidamente al pasar de los años.

¿Cuál es la problemática medio ambiental que surge a raíz de este aprovechamiento forestal? ¿Cuál es el la diferencia del potencial de captura de carbono antes y después en la área intervenida? ¿En cuánto tiempo se

verá reflejada la compensación impuesta por la autoridad ambiental al consorcio que intervino la zona y en qué condiciones?

III. JUSTIFICACION

El municipio de Bucaramanga con el interés de mejorar la calidad de vida de los ciudadanos del área metropolitana en materia de movilidad, priorizando la ejecución del proyecto denominado “optimización del corredor primario entre Bucaramanga y Floridablanca en el sector comprendido entre puente Provenza y el intercambiador de tráfico la puerta del sol” determinó en su plan de manejo ambiental el aprovechamiento forestal de 691 árboles que se encontraban en el área de influencia del proyecto, este permiso de aprovechamiento forestal fue emitido en uso de sus facultades legales por la autoridad ambiental urbana competente (Área metropolitana de Bucaramanga) que mediante resolución otorga la licencia. Dentro de esta resolución están dadas las condiciones de compensación de esta acción, donde compromete a los ejecutores de la mega obra llevar el seguimiento y control de las alternativas de compensación que finalmente determinen.

Sin embargo, en materia medio ambiental, en estado de ejecución de la obra y posterior a ella, la ciudad presenta una pérdida tangible de árboles representada en un volumen total de 2.781 m³ y una biomasa de 1.139.542 Kilogramos[1]. Con la disminución de esta cobertura vegetal estratégica en la zona paralelamente se ve disminuida la capacidad teórica de captura de carbono y el aumento progresivo de medios de transporte público y privado que aportan agentes contaminantes de alto impacto como: CO, CO₂, NOX, SOX; los árboles en estos espacios urbanos cumplen un papel muy importante y se estaría limitando sus funciones ecosistémicas a largo plazo, entonces las consecuencias se reflejarán a través del tiempo.

Los estudios han demostrado que los árboles fijan CO₂ al realizar la fotosíntesis y se convierte el carbono en celulosa y libera el Oxígeno, este carbono hace parte del 50 % en promedio de la biomasa de los árboles (48 – 52%) y se distribuye en promedio de la siguiente forma:

- 51 % en el tronco
- 30 % en las ramas

- 18 – 24 % en las raíces (15 – 20% en raíces con diámetro > 2 mm)
- 3 % en el follaje

Para calcular el CO₂ fijado en los árboles, debe multiplicarse por 3.67.

La fijación de CO₂ por parte de los árboles depende de varias causas:

- Tipo de especie
- Calidad del sitio (suelo, clima, topografía)
- Manejo y cuidados

La mayor actividad de fijación de CO₂ se presenta en la etapa vegetativa o de crecimiento de los árboles, en la etapa adulta y sobre madura la fijación se reduce, llegando a cero. Cuando el árbol muere, se inicia un proceso de descomposición, el CO₂ se libera volviendo a la atmósfera. De tal manera que si los árboles son longevos pueden retener el dióxido de carbono por muchos años, manteniendo un flujo continuo, ya que con la muerte de un árbol en el bosque, este deja el espacio para que varios árboles jóvenes ocupen el lugar e inicien el proceso de captura nuevamente del CO₂ liberado, manteniendo un constante equilibrio natural. [2]

IV OBJETIVOS

A. *Objetivo general*

Establecer condiciones de captura de CO₂ en la zona de influencia de la mega obra del corredor primario Bucaramanga y Floridablanca entre puente Provenza y la puerta del sol para mantener condiciones de calidad del aire en la ciudad de Bucaramanga.

B. *Objetivos específicos*

Documentar la importancia del árbol urbano en el almacenamiento de CO₂ atmosférico como instrumento de sostenibilidad ambiental.

Calcular el potencial de almacenamiento de CO₂ de la cobertura arbórea pre-obra y la compensación forestal autorizada, para evaluar los niveles de captura de CO₂ en el área de influencia de la mega obra.

Proponer acciones de fortalecimiento de las condiciones de captura de CO₂ que generen equilibrio urbano ambiental en la zona de estudio.

IV. ESTADO DEL ARTE

La mayor parte de los procesos productivos, el transporte y los sistemas domésticos dependen de la energía derivada de los combustibles fósiles. Una consecuencia del uso de los combustibles fósiles es la emisión de dióxido de carbono. La emisión global del uso de dichos combustibles se ha incrementado en 3.5 veces desde 1950, y actualmente el volumen de emisiones se ubica en alrededor de 6.2 billones de toneladas por año. En este contexto se ubica la causa principal del incremento en la concentración de CO₂ en la atmósfera, desde que ocurrió la revolución industrial. La segunda causa del proceso de acumulación de CO₂ en la atmósfera es el cambio de uso del suelo. La deforestación anual se calcula en 17 millones de hectáreas, lo que significa una liberación anual de cerca de 1.8 billones de toneladas de carbono por año; es decir, cerca del 20% del total de las emisiones antropogénicas. [3]

Toda la vegetación asimila CO₂ atmosférico, por medio del proceso fotosintético, al formar carbohidratos y ganar volumen. Los árboles en particular, asimilan y almacenan grandes cantidades de carbono durante toda su vida. Los bosques del mundo capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% de flujo anual de carbono de la atmósfera y de la superficie de la tierra.[4]

Determinación de dióxido de carbono en parques de la ciudad de Bucaramanga.

El aumento de las acciones antropogénicas en las ciudades ha llevado a un incremento de la contaminación, por consiguiente, se hace necesario buscar alternativas costo-efectivas de disminución de esta. Los estudios de vegetación urbana por ejemplo, permitirían determinar el rol de las plantas en la disminución de los niveles de CO₂ atmosférico y de partículas contaminantes. En nuestro caso, tanto en el municipio de Bucaramanga (Colombia) ni su área metropolitana (AMB) se conoce el nivel de la contaminación del aire causado por moléculas perjudiciales para la salud humana generadoras de daños irreversibles en pulmones y sistema nervioso central (SHIMA M., 2000), las cuales están directamente relacionadas con el aumento del parque automotor y mitigado por la cantidad de carbono almacenado dentro de los árboles (biomasa). Además, no se ha generado un modelo matemático fiable que sirva de referente para determinar el rol de las plantas en la disminución de los

niveles de contaminantes atmosféricos y de partículas como aspectos determinantes en la búsqueda de soluciones puntuales a esta grave problemática local.

El Panel intergubernamental de especies arbóreas urbanas ha tratado el tema del cambio de uso de las tierras y forestería, como uno de las formas de mitigar el efecto invernadero, al emplear la capacidad de los árboles de fijar el dióxido de carbono y estudiar la vulnerabilidad de los mismos ante los cambios climáticos.

La metodología que se utilizó en esta investigación es cuantitativa, cuyo alcance radica en la caracterización de las especies arbóreas, el cálculo de biomasa en ellas y la determinación del dióxido de carbono absorbido [5]. La metodología cuantitativa es una estrategia de investigación que conceptualmente delimita propiedades de sus sujetos de estudio con el fin de asignarles números a las magnitudes, grados o tipo en que estos los poseen y que utiliza procedimientos estadísticos [6].

La medición de dichos cambios permite monitorear el grado de estabilidad alcanzado por los parques y determinar tiempos y coberturas óptimos para absorber el CO₂ emitido por el parque automotor del municipio de Bucaramanga. De acuerdo a la eficiencia reportada en el proceso de cualificación y cuantificación respecto al consumo de CO₂ y emisión de dióxido de carbono es posible estimar su relación con la biomasa de cada parque en estudio por métodos matemáticos para generar respuesta a problemas generados por la contaminación del aire por compuestos tóxicos como el CO₂ [6].

Para el cálculo el CO₂, tenemos según Brown et al. (1.989) las estimaciones de biomasa a nivel regional, nacional o mundial no deberían basarse en pocas parcelas de medición directa porque las muestras a esta escala no son representativas. En estas situaciones proponen utilizar la información de inventarios forestales los que logran suficiente cobertura de superficie para representar la población de interés. En este proyecto no fue posible la comparación histórica de datos por deficiencia y falta de los mismos en años anteriores.

La cantidad de dióxido de carbono almacenado en los árboles depende de las especies de árboles, las condiciones ambientales de crecimiento, la edad del árbol y la densidad de los árboles circundantes. Para el propósito de esta investigación, las ecuaciones se utilizan para obtener una estimación promedio de vida

de los árboles muestreados y se excluyen al carbono del suelo. [7].

Los resultados deducibles muestran que la biomasa aérea del estrato arbóreo representa gran parte de la biomasa vegetal acumulada en los ocho parques urbanos y que actualmente existe dificultad e incertidumbre para cuantificar los otros componentes como son la biomasa subterránea (raíces en descomposición hojarasca, humus, y herbácea. Para determinar la relación CO₂/parque automotor se define la emisión vehicular como las sustancias lanzadas a la atmosfera por las fuentes de emisión móviles en ruta o móviles fuera de ruta, generando posteriormente una inmisión o concentración aérea de estos contaminantes [7].

V. METODOLOGIA

A. Resultados

El proceso investigativo de este proyecto es de tipo descriptivo, ya que este implica por parte del investigador la capacidad y disposición de evaluar y exponer, en forma detallada, las características del objeto de estudio según Ander-Egg, et al (2011). Este tipo de descripción metodológica es aplicado a este proyecto y se fundamenta en la recolección e interpretación de datos existente del proyecto el tercer carril, emitidos por las autoridades ambientales y entidades competentes de la obra, para discutir y evaluar las consecuencias ambientales que esta intervención puede acarrear.

El desarrollo del trabajo se realizó en tres etapas; en la primera etapa corresponde a la recolección de la información, en la segunda etapa se realizó la interpretación y análisis de los datos encontrados y como etapa final se planteó una discusión estudiando alternativas y propuestas de gestión.

Primera etapa:Recolección de la información:

En esta primera etapa se solicitó a las autoridades ambientales competentes AMB, CDMB y a la Alcaldía de Bucaramanga la documentación respectiva al proyecto denominado “optimización del corredor primario entre Bucaramanga y Floridablanca en el sector comprendido entre puente Provenza y el intercambiador de trafico la puerta del sol”, y a la dirección de tránsito de Bucaramanga respecto al inventario de flujo vehicular para estimar las emisiones generadas a través del tiempo, para así documentar y recopilar la información pertinente.

Segunda etapa: interpretación de datos:

En esta etapa se realizó un análisis minucioso de la información y documentación entregada por las entidades competentes que permitió nutrir la investigación. Con estos datos se procedió a determinar el posible potencial de almacenamiento de CO₂ de la cobertura vegetal pre obra, y la compensación forestal autorizada, donde se evaluaron los niveles de captura de CO₂ en el área de influencia del proyecto.

Con el análisis realizado, se encontró en los documentos suministrados por la autoridad ambiental (AMB), pautas claves para la determinación de biomasa arbórea y la clasificación de especies que a su vez permitió identificar su importancia ecológica y medioambiental en un entorno urbano.

El inventario forestal fue realizado por el municipio de Bucaramanga estuvo orientado hacia la identificación de las especies, dimensiones de los parámetros que permitieran adelantar estimaciones de biomasa como lo son la altura total, diámetro a la altura del pecho (D.A.P a 1.3 m), estado fitosanitario, definición de algunas características morfológicas de valor ornamental (evaluando las características de la copa y del fuste) y el registro de cada uno de los individuos inventariados.

Diseño del inventario. El inventario del 100% exigió la medición y registro de todas las unidades arbóreas en sus diferentes estados de desarrollo, en cada una de los lugares considerados. Cada una de las unidades arbóreas se numeraron consecutivamente en campo de acuerdo con el orden de registro consecutivo que se adelantó para el corredor iniciándose en la puerta del Sol costado occidental, realizando una localización lo más precisa y detallada posible a fin de generar unas coordenadas.

Los parámetros de registro en campo consistieron en tomar el nombre común o vulgar de la especie (Morfoespecie), circunferencia del árbol a la altura del pecho (1.3 m), para luego calcular su diámetro, la altura total y comercial.

Para facilitar el proceso de demarcación de los individuos a ser intervenidos, se numeraron cada uno de ellos; aquellos árboles y palmas que no cumplían con el DAP mínimo de tala y que son susceptibles de trasplante.

Tercera etapa: propuesta de gestión y alternativas de compensación.

Esta etapa corresponde a la formulación de alternativas de gestión y de compensación las cuales permitan una recuperación de captura de CO₂ que puedan contribuir en la reducción de la concentración de CO₂ en área de influencia del proyecto el tercer carril.

La autoridad ambiental en su resolución de aprovechamiento forestal en el proyecto el tercer carril propone ocho especies arbóreas como compensación a la biomasa que se retiró, las cuales se muestra a continuación.

B. Cálculos Y Análisis De Datos

Alternativas y propuestas de compensación. Después de hacer una valoración teórica de las especies propuestas a compensar por la AMB, se obtuvo información de base para fortalecer las alternativas de recuperación de la biomasa y captura de CO₂ que permitan un equilibrio medioambiental y posterior recuperación del capital verde intervenido.

Dentro de las especies forestales propuestas por la AMB, se encontraron árboles que no tuvieron una participación dentro del inventario forestal, lo cual implica ausencia de datos reales respecto a la capacidad que estas especies puedan llegar a tener en las condiciones medioambientales de la zona y su posterior potencial de captura de CO₂, no obstante esto fue un determinante a la hora de excluirlas como posible alternativa de compensación, adicionalmente algunas son especies ornamentales óptimas para el paisajismo pero no cumplen con un aporte importante en la captura de CO₂ que permita la regulación de este gas contaminante.

Las especies excluidas son: Gualanday (*Jacaranda caucana*), Penitente (*Pétrea rugosa*) y el Guayacán Blanco (*Tabebuia sp*).

Se propone que además de las especies ya autorizadas se deben incluir otras especies que por su capacidad de ganancia en biomasa y otras características propias del árbol, puedan llegar a reducir el tiempo requerido para la recuperación y estabilización de captura de CO₂ perdida.

Las especies incluidas son: Samán (*Albizia Samán*), Orejero (*Enterolobium Ciclocarpum*), y es Guáimaro (*Brosimum Alicastrum*).

Determinación de la fuente generadora de CO₂.

Se definió como fuente generadora de CO₂ el parque automotor que transita diariamente por el corredor primario entre Bucaramanga y Floridablanca en el sector comprendido entre puente Provenza y el intercambiador de tráfico la puerta del sol.

La dirección de tránsito de la ciudad de Bucaramanga no suministro ningún informe respecto al inventario vehicular que transita diariamente por el tramo vial en estudio, según informa el comandante Gabriel Villalobos.

De acuerdo a la información suministrada en el sitio web de la cámara de comercio de Bucaramanga el inventario del parque automotor de la ciudad para los años 2014 y 2015.

Captura de CO₂ por el arbolado en el área de estudio.

Se determinó de acuerdo al censo de la vegetación realizado en octubre del año 2014 por el Municipio de Bucaramanga y el consorcio vial puerta del sol, que en el tramo vial objeto de estudio existen 1209 individuos arbóreos de los cuales 691 fueron seleccionados para aprovechamiento forestal. Con un volumen total de las especies a talar representados en 2781 m³ y una biomasa de 1139542 Kg que capturaron teóricamente 1'044.802 Kg de CO₂ hasta el momento de la intervención de la mega obra.

Después de un minucioso análisis de los datos del inventario forestal, entregados a la autoridad ambiental como requisito al otorgamiento de autorización de aprovechamiento forestal en la mega obra el tercer carril, se evidenciaron errores de cálculos tales como; el volumen y volumen de la copa, valores necesarios para hallar el volumen total y la biomasa. Esto hizo que se sobredimensionaran los resultados del potencial de captura de CO₂ fijado por los arboles intervenidos.

Fallas presentes en los cálculos:

La fórmula utilizada en el inventario forestal para hallar el volumen maderable de las especies intervenidas presentadas en el informe fue “ecuación 1”.

$$V_m = (0,1618) + (0,4748) * (DAP)^2 \quad (1)$$

No obstante al momento de hacer los cálculos para la estimación de volumen “ecuación 2”, el valor del DAP fue cambiado por el del CAP.

$$V_m = (0,1618) + (0,4748) \cdot (\text{CAP})^2 \quad (2)$$

Utilizando el valor del CAP en esta fórmula, aumenta considerablemente su porcentaje.

Para poder determinar el volumen de la copa del árbol se multiplica el volumen maderable por 0,1 equivalente a un 10% adicional. Este porcentaje es para estimar el valor del follaje y raíz.

En este caso quienes elaboraron el informe del inventario forestal multiplicaron el valor del volumen de la copa por 0,2.

Finalmente después de corregir los cálculos expuestos en el inventario anterior, se obtuvo que el potencial de almacenamiento de carbono de la cobertura arbórea pre-obra fuera de 140467 kg de CO₂.

Dentro del análisis realizado, se clasificaron los árboles en función de su capacidad de captura de CO₂ en cuatro grupos.

Hasta el momento del aprovechamiento forestal por el desarrollo de la mega obra los árboles que capturaron un valor menor o igual a 300 Kg de CO₂ con un total de 583 ejemplares ubicados con un 84.4% del inventario forestal final. Es evidente que la especie dominante en este caso es el Oiti (*Licania tomentosa*) representadas en 331 ejemplares, participando con un 97% en este grupo. Esta especie cuenta con una densidad de 0,21 (gr/cm³) siendo esta la más baja dentro del rango de densidades encontradas en el total de árboles a talar. La gran mayoría de estos árboles no superan un DAP de 20 cm, dejando claro que son árboles relativamente jóvenes. Y esta especie es la más representativa en el inventario forestal final.

La segunda especie más representativa en este caso encontramos al Guayacán Rosado (*Tabebuia rosea*) representadas con 88 ejemplares participando con un 92.7% en este grupo, esta especie cuenta con una densidad de 0.48 (gr/cm³) ubicándose entre la media del grupo de árboles a talar.

Y como tercera especie sobresaliente se encuentra el gallinero (*Pithecellobium dulce*), representadas en 47 ejemplares. Participando con 62% del total de árboles autorizados a talar. Esta especie es la segunda más representativa en el total del inventario forestal.

Hasta el momento del aprovechamiento forestal por el desarrollo de la mega obra los árboles que capturaron un valor entre 300 y 600 Kg de CO₂ se relacionan en la gráfica 6 con un total de 63 ejemplares ubicadas con un 9.1% del inventario final. Dentro de las especies representativas en este grupo está el gallinero (*Pithecellobium dulce*) siendo esta la especie sobresaliente con 21 ejemplares, representadas en un 27.6% del total de esta especie autorizados a talar; esta especie cuenta con una densidad de 0.31 (gr/cm³) que junto con el papayo (*Carica papaya*) se ubican en el tercer valor de densidad más baja del inventario forestal total, y sus rangos de DAP están entre 30 y 50 cm.

La segunda especie sobresaliente en este grupo se encuentra el Oiti (*Licania tomentosa*), participando en este grupo con un 2.3% de los individuos autorizados a talar.

Y como tercera especie se ubica el Guayacán Rosado (*Tabebuia rosea*). Representados en un 6.3%.

En este grupo se encuentra una especie particular y es el Guayacán Amarillo (*Tabebuia chrysantha*), esta especie cuenta con la densidad de 0.92 (gr/cm³) la más alta entre las especies estudiadas; y es el único ejemplar representado en el 100% del inventario forestal, este ejemplar tenía un DAP de 27,69 cm y una altura de 12 m. con un captura teórica de CO₂ de 556 Kg.

Hasta el momento del aprovechamiento forestal por el desarrollo de la mega obra los árboles que capturaron un valor entre 600 y 900 Kg de CO₂ se relacionan en la gráfica 7 con un total de 25 ejemplares ubicadas con un 3.6% del inventario final. Dentro de las especies representativas en este grupo está el Gallinero (*Pithecellobium dulce*), el Mango (*Mangifera Indica*) y la Palma Botella (*Roystonea regia*), siendo estas especies sobresalientes con 7, 6 y 5 ejemplares respectivamente, representadas en un 9.2, 33.3 y 10,2% del total de estas especies a talar.

Hasta el momento del aprovechamiento forestal por el desarrollo de la mega obra los árboles que capturaron un valor mayor a 900 Kg de CO₂ se relacionan en la gráfica 8 con un total de 20 ejemplares ubicadas con un 2,9% del inventario final.

La especie sobresaliente en este grupo en número es la Palma Botella con un total de 9 ejemplares, no obstante la especie más representativa es el orejero (*Enterolobium cyclocarpum*) por su aporte en volumen, con una densidad de 0,77 (gr/cm³), un total de biomasa de 3707 Kg, y un potencial teórico de captura de CO₂ de 3401 kg.

En resumen es evidente que la capacidad de captura de CO₂ por parte de los arboles está relacionada directamente con la densidad de la madera que cada especie tenga, y sus especificaciones morfológicas son claves a la hora de determinar la selección de los individuos para una posterior compensación forestal. No obstante es de suma importancia tener en cuenta que para un buen desarrollo de estos árboles una vez sean plantados en los sitios que la autoridad ambiental junto con los interventores de la obra así dispongan; Las prácticas silviculturales urbanas son esenciales para la recuperación y posterior captura de CO₂ en el área de influencia del proyecto en su conjunto como ciudad.

C. *Compensación*

La compensación que la AMB en su resolución autorizo; fue de 94.961 ejemplares representados en las especies mencionadas en la tabla número 3.

Para poder determinar esta cantidad de árboles fue necesario el cálculo de la biomasa total como base para la estimación de individuos en la compensación; ya que no fue aceptada la propuesta hecha por los ejecutores de la obra, que proponían plantar cinco arboles por cada árbol intervenido.

En las compensaciones, el valor estándar en kg por árbol es de 18, en este caso en particular de la mega obra el tercer carril, el valor fue de 12 Kg ya que la altura por árbol a plantar oscilaba entre 1 y 1.3 m.

A continuación se presenta el cálculo de compensación real vs la compensación exigida por la AMB.

Compensación AMB	Compensación Corregida
------------------	------------------------

<i>C.AMB</i> =1.139.54212	<i>Comp. C.</i> =153.09712
<i>C.AMB</i> =94.961	<i>Comp.C</i> =12.758

Para asignar el porcentaje de participación de las especies propuestas a compensar se tuvo en cuenta lo siguiente:

Que las especies a compensar seleccionadas sean las mismas que se afectaron en el aprovechamiento forestal.

Que su tasa de crecimiento sea rápida ya que el incremento de la biomas va a depender del tiempo.

Que no sean especies arbustivas ni ornamentales que no representen un volumen considerable en biomasa a futuro dejando así rezagada la captura de CO₂.

Estos requerimientos están basados en un criterio posterior a la obtención de información recopilada en este proyecto de investigación.

III. *CONCLUSIONES*

Cuando la cobertura arbórea de una ciudad ha llegado a su madurez su almacenamiento de carbono se reduce a casi a cero pues los árboles no están creciendo, sin embargo esto no quiere decir que su aporte a la mitigación del cambio climático finalice ahí; ya que mientras el árbol este vivo sus servicios ambientales están activos; entonces la captura de CO₂ por parte de los árboles es llevada a cabo durante su crecimiento y desarrollo, de manera que para lograr soluciones a largo plazo es necesario planificar arborizaciones urbanas que tengan un valor maderable significativo y que incluyan la renovación de los individuos, combinando especies de longevidad corta, media y larga.

Bucaramanga es una ciudad reconocida por su significativo potencial ambiental, fundamentado en su densidad de parques y su extensión de zonas verdes en todos los sectores de la ciudad. Las intervenciones de obras civiles, enfocadas en el mejoramiento de la movilidad urbana, que se están ejecutando actualmente, han generado un alto deterioro de la cobertura arbórea de las zonas intervenidas, ya que se han transformado espacios urbanos en amplias zonas duras, carentes de cobertura arbórea y vegetación en general. Esto genera un impacto ambiental acumulativo significativo, ya que al disminuir la cobertura arbórea, la ciudad empieza a perder servicios ambientales, los cuales no son recuperados en el corto plazo sino compensados en el

mediano y largo plazo. En lo específico de la cobertura arbórea aprovechada para dar paso a los desarrollos viales, los servicios ambientales que estos prestaban, como la captura de CO₂, no son recuperables, ni en la zona de intervención ni en un plazo mínimo que mantenga el equilibrio ambiental. Este deterioro ambiental no está siendo compensando adecuadamente en ninguna de las mega obras con las que se está interviniendo la ciudad.

Los árboles urbanos debido a que se encuentran más distantes entre sí que los que conforman masas forestales, crecen más rápido lo cual permite que adquieran mayor biomasa y por consiguiente su captura de CO₂ es más significativa.

En la recolección de la información ambiental de la mega obra denominada el tercer carril, se identificó cual era el potencial de captura de CO₂ del arbolado, analizando el inventario forestal pre-obra y aplicando las ecuaciones adecuadas para determinar la capacidad de captura de CO₂ de estos individuos. Al proyectar teóricamente, la cantidad de individuos que se requerirían para recuperar la capacidad de captura de CO₂ de la zona intervenida, se pudo evidenciar, que el cálculo inicial de compensación de masa forestal aprovechada, era erróneo. Se encontró en los documento evidencias de un error de cálculo, con el cual se proyectaba la reforestación de 94961 individuos, pero al corregir la fórmula utilizada por el estudio base ambiental de la mega obra, se encontró que en realidad se requerían 12758 individuos, este recalcu evita un sobre costo en la ejecución del proyecto afectando los intereses económicos del municipio de Bucaramanga.

Los árboles inventariados capturaron 140467 kg de CO₂, en el desarrollo del proyecto se evidencio que no hubo aprovechamiento forestal sino deforestación, ya que la madera proveniente del arbolado retirado, no se aprovechó como madera, sino se dejó a degradación por procesos naturales, esto revierte el impacto ambiental evitado en de almacenamiento de carbono de estos árboles, ya que la captura de CO₂ es liberada nuevamente a la atmosfera.

REFERENCIAS

- [1] Resolución 000015, Área Metropolitana de Bucaramanga, Bucaramanga, Colombia, 15 de Enero de 2015.
- [2] O. e. a. Guarín, «Determinación de dióxido de carbono en parques de la ciudad de Bucaramanga.,» *Teoría Y Praxis Investigativa*, vol. 58, 2013.
- [3] Montero, Gregorio; Ruiz-Peinado, Ricardo; Muñoz, Marta. *Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles*. Madrid, España: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, 2005.
- [4] R. Asún, Medir la realidad social: el sentido de la metodología cuantitativa., Santiago: Lom Ediciones, Metodologías de investigación social: Introducción a los oficios.
- [5] O. e. a. Guarín, «Determinación de dióxido de carbono en parques de la ciudad de Bucaramanga.,» *Teoría Y Praxis Investigativa*, vol. 58, 2013.
- [6] L. J.-F. G. G. A. V. D. J. B. & E.-B. E. Soto-Pinto, «Experiencia agroforestal para la captura de carbono en comunidades indígenas de México,» *Revista Forestal Iberoamericana*, vol. 1, n° 1, pp. 44-50, 2005.
- [7] M. & P. J. Gantuz, «Fuentes móviles y la caracterización de vías de circulación: una aproximación a los modelos de emisión grillados,» *Mecánica Computacional. ed. Asociación Argentina de Mecánica Computacional*, vol. 23, pp. 1761-1786, 2004.
- [8] Alcaldía Municipio De Bucaramanga. Plan de Desarrollo de Bucaramanga Ciudad Sostenible 2012/2015 – Título III. Proyectos Estratégicos. 3.1 optimización del corredor primario entre Bucaramanga y Floridablanca en el sector comprendido entre el puente de Provenza y el intercambiador de tráfico de la puerta del sol.

BIBLIOGRAFÍA

- [9] Ander - Egg, Hernandez, et al, (19, de noviembre de 2011): Tipos de Investigación.
- [10] Área Metropolitana De Bucaramanga. Resolución N° 000015 (15, enero, 2015). Por la cual se otorga una autorización de aprovechamiento forestal de árboles aislados urbanos.

- [11] Colombia, Ministerio Del Medio Ambiente, Decreto 179. (4, octubre, 1996). Por medio de la cual se establece el régimen de aprovechamiento forestal.
- [12] Colombia, Presidencia De La Republica, Decreto 2811. (18, Diciembre, 1974). Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, Diario Oficial No 34.243, del 27 de enero de 1975.
- [13] Fondo Nacional Del Ambiente-Perú. Secuestro de carbono [En línea]. Disponible en <http://www.fonamperu.org/general/bosques/secuestro.php>
- [14] Gamboa, Sonia. (02 de Marzo de 2015), 700 árboles se talarán por el Tercer Carril. Disponible en <http://www.vanguardia.com/area-93-metropolitana/bucaramanga/301439-700-arboles-se-talaran-por-el-tercer-carril>. Vanguardia.com - Galvis Ramírez y Cía. S.A.
- [15] Green Facts. Consenso Científico sobre Captura y Almacenamiento de CO₂, Fuente: IPCC (2005) Resumen & Detalles: GreenFacts. [En línea]. Disponible en <http://www.greenfacts.org/>.
- [16] Guarín Villamizar. Oscar Darío; et al. Determinación de Dióxido de Carbono en Parques de la Ciudad de Bucaramanga. 2013.
- [17] Montoya, Guillermo; et al Desarrollo forestal sustentable: Captura de carbono en las zonas tzeltaly tojolabal del estado de Chiapas, Cuaderno de Trabajo 4. Instituto Nacional de Ecología.
- [18] Mota, Cesar; et al. Investigación sobre la Absorción de CO₂ Por los Cultivos Más Representativos de la Región de Murcia. Departamento de Nutrición Vegetal; CEBAS-Consejo Superior de Investigaciones Científicas. 30100-Espinardo, (Murcia), España.
- [19] Nájera Luna, Juan Abel. Ecuaciones para Estimar Biomasa, Volumen y Crecimiento en Biomasa y Captura de Carbono en Diez Especies Típicas de Matorral Espinoso Tamaulipeco del Noerdeste de México, Durante el año de 1999. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales.
- [20] Ortiz Agudelo, Paola Andrea, Los Parques Lineales Como Estrategia de Recuperación Ambiental y Mejoramiento Urbanístico de las Quebradas en la Ciudad de Medellín: Estudio de Caso Parque Lineal La Presidenta y Parque Lineal La Ana Díaz. Medellín, 2014.
- [21] Patiño, Paola. (14 de Marzo de 2016), 2.460 árboles menos tiene Bucaramanga. Vanguardia.com - Galvis Ramírez y Cía. S.A.
- [22] Rivas Torres, Daniel. Planeación, Espacios Verdes y Sustentabilidad en el Distrito Federal. (Apartado), Tesis para optar por el grado de Doctor en Diseño” Línea de Investigación: Estudios Urbanos. México D.F. Julio de 2005.
- [23] Secretaría Distrital De Ambiente De Bogotá, D.C., Resolución 00835 de 2015 (Junio 24), Por Medio de la Cual se Declara de Utilidad Pública e Interés Social Áreas de Terreno Prioritarias Para Consolidar la Conectividad Ecológica, Protección y Restauración de los Valores Ambientales Entre los Cerros Orientales, el Área de Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C. "Thomas Van Der Hammen" y el Río Bogotá y se Adoptan Otras Determinaciones.
- [24] Silva Herrera, Luis Jairo, Fijación de CO₂ Por Parte de los Arboles Urbanos Propuesta Para un Programa de Captura Para Bogotá D. C.
- [25] Torrealba M. Juan Andrés; Sartori R. Ángelo; Emanuelli A. Patricio Y Aguilera B. Guido. Planteamientos Iniciales Sobre los Derechos del Carbono Forestal en Chile. Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales (ENCCRV): Octubre 2014, Santiago-Chile.
- [26] Vargas Gómez. Orlando y Molina Prieto. Luis Fernando; Arborizaciones Urbanas: Estrategia Para Mitigar el Calentamiento Global. Bogotá, 2013.