APOYO PARA LA EVALUACIÓN DE ÍNDICES DE ADAPTACIÓN Y CALIDAD DE LOS ÁRBOLES DEL PROYECTO “CIUDAD VERDE - CANAL TIBANICA” EN SOACHA, CUNDINAMARCA

LAURA ANDREA CUBIDES VARGAS

20132010015

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA FORESTAL
BOGOTÁ
2024

Informe final de pasantía

Apoyo para la evaluación de índices de adaptación y calidad del proyecto “Ciudad verde - canal Tibanica”, en Soacha, Cundinamarca

Presentado por:
Laura Andrea Cubides Vargas 20132010015

Trabajo de grado en modalidad de pasantía para optar al título de ingeniera forestal

Dirigido por:

LUZ MILA TORRES PEÑA TORRES
Ingeniera agroforestal

Docente director:

NIRIA PASTORA BONZA PÉREZ
Ingeniera forestal
Magister en Agroforestería tropical

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA FORESTAL
BOGOTÁ
2024

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a la ingeniera Luz Mila Peña, de Arte Forestal S.A.S., por su invaluable apoyo al facilitar los medios y recursos necesarios para la realización de este proyecto. También agradezco sus consejos y su experiencia, los cuales orientaron este trabajo y me alentaron a confiar en mi criterio profesional.

Agradezco profundamente a la profesora Niria Bonza, quien dirigió este trabajo, dándome la oportunidad de explorar y proponer alternativas para enfrentar situaciones de mi ámbito profesional. Gracias por su paciencia y constancia durante todo el proceso.

A mi mamá y mi papá, quienes durante meses estuvieron a mi lado, dándome aliento y la motivación para culminar este ciclo académico. Gracias por su comprensión, constancia y amor incondicional. Sin su apoyo, este proyecto no habría sido posible.

A mis amigos y colegas, quienes siempre estuvieron al tanto del proceso, brindándome su opinión y consejo tanto profesional como personal. Gracias por compartir su experiencia conmigo y fomentar mi espíritu creativo

A todos ustedes, gracias infinitas.

CONTENIDO

RESUMEN 6
ABSTRACT 6
INTRODUCCIÓN 7
OBJETIVOS 7
Objetivo general 7
Objetivos específicos 7
ANTECEDENTES 8
MARCO DE REFERENCIA 9
Marco normativo 9
Marco teórico 11
El licenciamiento ambiental 11
Los estudios de impacto ambiental 12
Las medidas de compensación 12
Establecimiento de plantaciones 14
Evaluación de plantaciones 15
Análisis multicriterio (AMC) 16
Criterio de biodiversidad con base al origen 16
Criterio de adaptabilidad con base a la oferta hídrica y la aptitud urbana 17
Criterio de función del arbolado urbano 17
Manejo de plantaciones forestales 18
Buenas prácticas forestales 19
METODOLOGÍA 19
Primera etapa: Revisión documental 20
Segunda etapa: Definición de criterios 20
Tercera etapa: Estimación de índices de adaptación y calidad 20
Determinación área de estudio 21
RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS 22
Etapa 1 - Revisión documentación 22
Etapa 2 – Definición de criterios 23
Etapa 3: Estimación de índices de adaptación y calidad 25
DISCUSIÓN 31
CONCLUSIONES 32
RECOMENDACIONES 32
REFERENCIAS 32

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Área por zona en plantación por compensación – Canal Tibanica – Ciudad Verde. 21
Tabla 2. Criterios de establecimiento de la medida de compensación. 23
Tabla 3. Documentos revisados sobre el proceso de compensación. 23
Tabla 3. Valores deseables del arbolado e indicadores y criterios para su evaluación. 24
Tabla 4. Valores promedio para la calificación de la calidad de árboles urbanos (CAU). 25

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Línea de tiempo del proceso de cumplimiento de la medida de compensación registrada en trámites y documentos. 9
Figura 2: Normativa legal y ámbito de aplicación. 11
Figura 3: Proceso para el establecimiento de medidas de compensación. 14
Figura 4. Etapas de proceso metodológico del proyecto. 21
Figura 5. Zonificación plantación por compensación -Ciudad verde – canal Tibanica. 22
Figura 6. Valores del arbolado urbano que moldean la evaluación de árboles urbanos 24
Figura 7. Metodología para la normalización de factores para determinación del valor de los indicadores. 25
Figura 8. Distribución de CAUs en función de los valores medios y categorías óptimas y aceptables. 26
Figura 9. Categorías de calidad de árbol urbano para el proyecto. 26
Figura 10. Proporción especies nativas versus especies introducidas usadas en el proyecto. 27
Figura 11. Comparación entre indicadores del criterio de aptitud urbana - APU 28
Figura 12. Comportamiento del criterio de función (FUN) por especie. 28
Figura 13. Comportamiento de los indicadores de hábito y bifurcación para el criterio de estructura - EST 29
Figura 14. Comportamiento de los indicadores de condición física y sanitaria para el criterio de intensidad de manejo - IM 30
Figura 15. Calidad de árbol urbano – CAU por especie. 30

RESUMEN

Las medidas de compensación están sujetas a una serie de criterios técnicos para su establecimiento y manejo; de forma general, estos se refieren a la cantidad de árboles, selección de especies, áreas disponibles, condiciones mínimas de establecimiento y manejo.

Sin embargo, las compensaciones que se desarrollan en entornos urbanos no consideran la exposición que estos individuos tendrán a situaciones normales de las ciudades como la contaminación, el tipo de suelo, factores de estrés y uso de las áreas públicas, entre otros. Por lo tanto, estas plantaciones deben tener en cuenta la concepción del árbol urbano, su desarrollo en espacio públicos y su importancia más allá del valor estético o paisajístico. Tales plantaciones deben contemplar la función de los árboles en ámbitos sociales, ambientales, históricos, simbólicos, culturales y recreativos (Jiménez, 2013). De tal forma, los árboles urbanos establecidos bajo el criterio de compensación deben ser manejados bajo criterios acorde a las necesidades y proyección de las áreas donde estos se establecen.

En este sentido, aunque la respuesta de los árboles, su desarrollo y las condiciones del proyecto pueden cumplir con las necesidades de compensación, también deben cumplir con las funciones del arbolado en el entorno urbano. Para verificar el potencial de continuidad entre la compensación ambiental y el uso urbano de los árboles, se realiza la evaluación del grado de adaptación y calidad de los individuos instalados, con el objetivo de garantizar no solo el cumplimiento de la medida, sino también un impacto relativamente mayor, como el que representan los árboles urbanos.

ABSTRACT

Compensation measures are subject to a series of technical criteria for their establishment and management; some of these refer to the number of trees, species selection, available areas, minimum establishment and management conditions.

However, the offsets that are developed in urban environments do not consider the exposure that these individuals will have to normal urban situations, such as pollution, soil type, stress factors and the use of public areas, among others. Therefore, these plantations should take into account the conception of the urban tree, as one that grows and develops in urban or peri-urban spaces such as parks, squares, institutions or botanical gardens and its importance lies beyond the aesthetic or landscape value, but also fulfills functions in social, environmental, historical, symbolic, cultural and recreational areas (Jimenez, 2013). Thus, urban trees established under the compensation criteria should be managed according to the needs and projection of the areas where they are established.

In this sense, although the response of the trees, their development and the conditions of the project can meet the needs of compensation, they must also comply with the functions of the trees in the urban environment. To verify the potential for continuity between the environmental compensation and the urban use of the trees, the degree of adaptation and quality of the individuals installed is evaluated, with the objective of guaranteeing not only compliance with the measure, but also a relatively greater impact, such as that represented by the urban trees.

INTRODUCCIÓN

El proyecto CIUDAD VERDE – CANAL TIBANICA es una plantación por compensación establecida en el municipio de Soacha - Cundinamarca, dentro de espacios dispuestos como áreas de cesión pública. El proyecto se establece como medida de mitigación de los impactos generados por la construcción de un BOX CULVERT.

La medida, compuesta por 1.500 individuos de 16 especies diferentes, se estableció en agosto de 2020 y se gestionó durante tres (3) años, hasta agosto de 2023 mediante acciones de manejo y mantenimiento.

Además de abordar las condiciones de establecimiento y manejo de los árboles, también se identificaron factores externos con impactos significativos en el estado de los individuos. Como resultado, los árboles del proyecto presentan diversas condiciones que determinan su valor relativo.

El objetivo principal de este trabajo es identificar el grado de adaptación de los árboles del proyecto, así como evaluar la calidad de los individuos según criterios específicos de arbolado urbano. Para lograrlo, se utilizó una metodología de *ANÁLISIS MULTICRITERIO*, que incluye criterios de origen, función, estructura y manejo para determinar los índices necesarios.

OBJETIVOS

Objetivo general

Apoyar técnicamente la evaluación de índices de adaptación y calidad de los individuos establecidos en el proyecto “CIUDAD VERDE - CANAL TIBANICA”.

Objetivos específicos

- Identificar las condiciones de establecimiento, manejo y desarrollo de los individuos del proyecto CIUDAD VERDE – CANAL TIBANICA.
- Proponer criterios para la evaluación del grado adaptación y calidad usando como metodología de *ANÁLISIS MULTICRITERIO*.
- Determinar la calidad de los individuos establecidos en el proyecto como medida de compensación.

ANTECEDENTES

El proyecto CIUDAD VERDE es un megaproyecto habitacional desarrollado en el municipio de Soacha desde el año 2007 que actualmente cuenta con una extensión de 328 Ha y cerca de 53.000 viviendas (El Espectador, 2011). La ciudadela se compone de espacios habitacionales para vivienda de interés social - *VIS* y vivienda de interés prioritario - *VIP* e integra múltiples criterios urbanísticos enfocados a generar espacios públicos como parques, alamedas y zonas verdes, además de otros espacios dotacionales como ciclo rutas, colegios y demás que permitirán cubrir las necesidades básicas de los habitantes cerca a sus lugares de residencia (CIUDAD VERDE, SOACHA, s.f.).

Así, la construcción de CIUDAD VERDE requirió la implementación de obras para el mejoramiento de la infraestructura dentro de las que se destaca la construcción de un Box Culver sobre el cauce del CANAL TIBANICA. El objetivo de este es controlar el caudal del canal y facilitar la interconexión entre el proyecto y la localidad de Bosa en Bogotá; para lo cual el municipio tramitó ante la autoridad ambiental, *Corporación autónoma regional de Cundinamarca - CAR* una licencia ambiental para la construcción del BOX CULVERT sobre una sección del canal. La aprobación del trámite está sujeto a la implementación de una medida de compensación en áreas de influencia del canal bajo los criterios definidos en la Resolución 1439 de 2018 (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2018).

El proyecto CIUDAD VERDE - CANAL TIBANICA es la plantación de compensación que tiene como objetivo ejecutar la medida de compensación impuesta por la autoridad ambiental, esta incluye la siembra de 1.500 árboles con las especies sugeridas por la autoridad ambiental además de otros criterios técnicos.

Durante el proceso de cumplimento de la medida, los diferentes actores realizaron la gestión documental de los trámites, permisos, autos, informes y otros para dar acompañamiento e informar sobre el cumplimiento de la medida. Este proceso incluyó la supervisión por parte de la autoridad ambiental, el municipio y el desarrollador. En la siguiente figura se muestra una línea de tiempo con los documentos más destacables del proceso de cumplimiento de la medida de compensación.

AÑO	FECHA	ACCIÒN
2018	31 de mayo	Aprobación licencia ambiental en Res.1439
2019	19 de mayo	Visita de verificación AUTO DSRO No. 0457
2020	julio - agosto	Actividades de establecimiento
2020	octubre	Primera jornada de mantenimiento
2020	diciembre	Segunda jornada de mantenimiento
2021	marzo	Tercera jornada de mantenimiento
2021	8 de marzo	Solicitud de información -Rad CAR 20211021067
2021	31 de mayo	La CAR solicita información para seguimiento
2021	mayo	Cuarta jornada de mantenimiento
2021	2 de julio	Visita tecnica CAR
2021	octubre	Quinta jornada de mantenimiento
2021	diciembre	Sexta joranda de mantenimiento
2022	4 de febrero	CAR solicita informes de seguimiento AUTO DSROA No. 1122600081
2022	8 de marzo	Solicitud de información -Rad CAR 20211021067
2022	29 de junio	Visita de Autoridad ambiental – CAR. AUTO DSROA 11226000600
2022	julio	Septima jornada de mantenimiento
2022	septiembre	Octava jornada de mantenimiento
2022	octubre	Novena jornada de mantenimiento
2023	enero	Decima jornada de mantenimiento
2023	mayo	Onceava jornada de mantenimiento
2023	agosto	Duodecima jornada de mantenimiento
2023	octubre	Registro de arboles para entrega a administraciòn municipal

Figura 1. Línea de tiempo del proceso de cumplimiento de la medida de compensación registrada en trámites y documentos.

MARCO DE REFERENCIA

Marco normativo

Las plantaciones por compensación son un instrumento técnico mediante el cual se busca mitigar los impactos generados por diversas actividades o proyectos que generen afectaciones negativas sobre los recursos naturales (Empresas públicas de Medellín, s.f.). Estas medidas están soportadas

en una base legal que parte desde los derechos constitucionales y se va haciendo específico hasta los protocolos establecidos por la autoridad ambiental que tiene jurisdicción sobre el territorio afectado. Todo el proceso, está enmarcado en un complejo normativo que involucra actores como el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, las corporaciones autónomas regionales, municipios, institutos de investigación, sector privado y la sociedad civil.

La base de la legislación ambiental en Colombia es la Constitución política. Desde esta, se hace claridad en los derechos y deberes de los colombianos frente a los recursos naturales y el papel del estado como órgano garante de la preservación y uso sostenible de los mismos. Se destaca el artículo 79 donde se expresa claramente el derecho de todos los colombianos a disfrutar de un ambiente sano y a participar de las decisiones que se tomen sobre el manejo de estos. También se destacan los artículos 8 y 95 donde la constitución expone los deberes de los ciudadanos y el estado en la protección y conservación del medio ambiente y por ende de los recursos naturales. Finalmente, en el artículo 80 se establece la función del estado como órgano encargado de la planificación, manejo y aprovechamiento de los recursos naturales con prospección al desarrollo sostenible (Constitución política de Colombia, 1991).

Posteriormente, mediante (Ley 99 de 1993) se crea el Ministerio del medio ambiente y desarrollo sostenible, a partir del cual se organiza el sector público para la gestión del medio ambiente. En esta ley se incluye la organización del Sistema Nacional Ambiental – SINA, Institutos de investigación y las Corporaciones Autónomas regionales. Estas últimas como autoridad ambiental en los territorios de su jurisdicción.

Con la (Ley 99 de 1993) también se introducen los conceptos de *ESTUDIO DE IMPACTO y LICENCIA AMBIENTALES* como mecanismo de evaluación y control de impactos generados por proyectos, obras, actividades o cualquier forma de uso o intervención de los recursos. Pero también define la competencia de las diferentes autoridades ambientales frente a los proyectos en función de la escala de impacto, jurisdicción y complejidad de los mismos. Posteriormente se expide el (Decreto 1753 de 1994) donde se hace claridad del sector productivo, tipo de proyecto u obra y la autoridad ambiental competente que debe hacer gestión. Se menciona que tanto el Ministerio de medio ambiente y desarrollo sostenible (MADS) y las corporaciones autónomas regionales (CARS) hacen licenciamiento ambiental en función de los criterios establecidos en la Ley 99 del 93 y por ende ante ellos se tramitan los estudios de impacto ambiental (EIA).

Dentro de este marco legal también se incluyen (Decreto 2811 de 1974) y (Decreto 1076 de 2015) El primero definido como *"Código Nacional de recursos naturales renovables y protección del medio ambiente" – (CÓDIGO RENAS)* en el cual se definen los recursos, se clasifican, se reglamente su uso, formas de uso y procesos para hacer uso de los mismos. El segundo decreto es la actualización del Código RENAS donde se incluye la organización para la gestión, las unidades administrativas especiales (UAE); también se introduce el concepto de *COMPENSACIÓN* como herramienta orientada a mitigar los impactos que no puedan ser evitados en la ejecución de obras,

proyectos o actividades y condiciona el licenciamiento ambiental a diseñar medidas compensatoria equivalentes al impacto generado.

Finalmente, las CARS cuentan con la autonomía de diseñar un marco normativo acorde a las condiciones y necesidades de las áreas de jurisdicción, de tal forma, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR (Autoridad ambiental con jurisdicción en el área ejecución donde se realiza la pasantía) expide la (Resolución No. 2971 de 2017) mediante la cual regula las medidas de compensación dentro del territorio CAR a través de la clasificación de los tipos de proyectos y propone diferentes medidas de compensación además de establecer los términos de referencia para el diseño de *PLANES DE COMPENSACIÓN*.

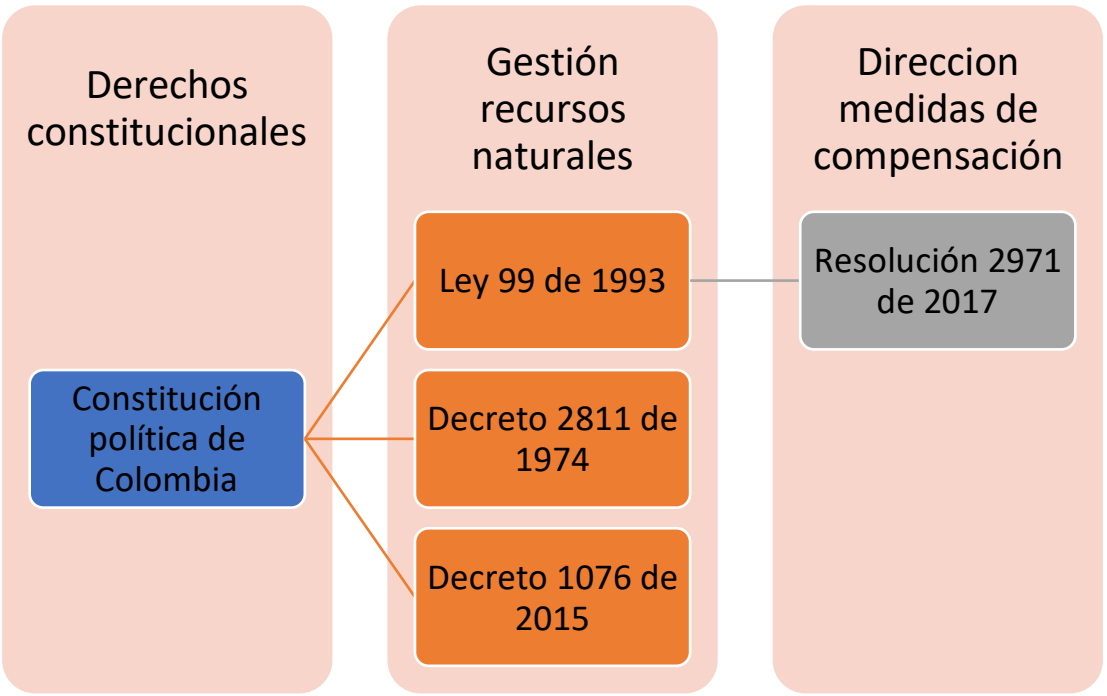


Figura 2: Normativa legal y ámbito de aplicación.

Marco teórico

El licenciamiento ambiental

Toda actividad humana tiene impacto sobre el medio ambiente y los recursos naturales de los cuales se abastece (Gonzáles y otros, 2003). Como base natural, los temas ambientales se han convertido en un eje transversal para la planificación de proyectos en todos los sectores. También, se ha identificado la relación que existe entre la ejecución de tales proyectos, el bienestar humano y el entorno además de demostrar la necesidad de orientar los esfuerzos políticos, sociales, económicos entre otros en busca de la sustentabilidad ambiental (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económica, s.f.).

El estado, como ente regulador del uso de los recursos, dispone de una serie de herramientas y procesos que busca proteger al medio ambiente de las afectaciones que puedan generar deterioro; si estas no pueden ser evitadas se busca disminuir el impacto de las mismas o compensarlos. Una de estas herramientas es la *LICENCIA AMBIENTAL*, un trámite mediante el cual la autoridad ambiental autoriza la ejecución de proyectos, obras o cualquier actividad con potencial de afectación de en términos de medio ambiente, recursos naturales o paisaje (Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare, s.f.). La licencia ambiental permite a la autoridad ambiental tomar decisiones respecto al proyecto desde una base técnica y debe ser solicitada antes de la ejecución del mismo. La aprobación de la licencia obliga al beneficiario a cumplir con responsabilidades enfocadas en la prevención y mitigación de los daños causados además del manejo ambiental derivado de tales actividades. El trámite está soportado mediante documentos técnicos de diagnóstico como los E*studios de Impacto Ambiental* (EIA) y el Diagnóstico *de Alternativas Ambientales* (DAA) (Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible, s.f.).

Los estudios de impacto ambiental

La definición del tipo de impacto generado, su magnitud y su área de afectación se realiza mediante la elaboración de Estudio de Impacto Ambiental – EIA. Este documento de carácter técnico realiza un diagnóstico de la situación en el cual se identifican las afectaciones ambientales potenciales, la magnitud de los mismos y se propone estrategias de manejo acorde al recurso, grado de intervención y tecnología disponible (Gobierno de México, s.f.).

En el contexto colombiano, los EIA se define como el soporte técnico para la toma de decisiones en proyectos sujetos a Licenciamiento Ambiental (Autoridad Ambiental de Licencias Ambientales, s.f.) y requiere un desarrollo multidisciplinar que considera la identificación de áreas de influencia, la caracterización de las zonas afectadas, la situación con y sin proyecto, la identificación de las afectaciones y finalmente las propuestas de manejo para evitar, mitigar y/o compensar los impactos de proyecto. El documento de EIA también debe proponer planes de manejo y monitoreo que permita la consecución de los objetivos planteados dentro del proyecto y la verificación por parte de la Autoridad ambiental.

Las medidas de compensación

La compensación ambiental es un instrumento de mitigación de los impactos ambientales causados en los proyectos que afectan la integridad ambiental dentro de sus áreas de influencia. El objetivo es que aquellos daños que no puedan ser evitados o mitigados sean compensados en zonas que cumplan con los criterios de equivalencia ecológica respecto a las áreas afectadas mediante acciones de restauración y manejo (Sarmiento, 2014).

La asignación de la medida de compensación depende de la autoridad competente, el tipo de afectación y la magnitud de este. De tal forma, cada autoridad ambiental (AA) expide sus reglamentos y protocolos para la asignación de más medidas en base a criterios de equivalencia ecológica y no pérdida de la biodiversidad (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, s.f.).

Para los proyectos asignados por MADS y ANLA las compensaciones son guiadas por el *Manual para la asignación de compensaciones por pérdida de biodiversidad*. Este manual define el ¿cuánto?, ¿cómo?, y ¿dónde? realizar las compensaciones.

Para el caso CAR, esta cuenta con una *Guía técnica para definir la medida de compensación ambiental en trámites de concesión de aguas, aprovechamiento forestal y autorización de ocupación de cauces*. En esta última, se compila los posibles escenarios que requieren de compensación ambiental, las medidas dispuestas para la compensación y menciona el uso de metodologías ajustadas para la estimación de la medida (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca).

La guía menciona tres (3) metodologías diferentes usadas por la CAR para el establecimiento de compensaciones. Estas se clasifican según el tipo de proyecto y se ajustan a las afectaciones generadas en cada caso. Cada metodología se explica con mayor detalle a continuación:

1. Compensación por rendimiento hídrico (MRH): Se aplica a los proyectos obras o actividades que requieren concesión de aguas superficiales y subterráneas considerando que para este tipo de proyectos la principal afectación se da durante la captación de aguas por agotamiento o diminución del caudal.

   La estimación de la medida de compensación se da por la multiplicación del caudal solicitado en concesión por un factor de compensación ajustado al rendimiento hídrico de la cuenca. Con mínimo 10 árboles y máximo 45.000.

2. Metodología por factor de compensación forestal (FCF): Aplica para proyectos de aprovechamiento forestal único, persistente, doméstico, árboles aislados y plantaciones protectoras productoras. Esta considera cuatro factores de valoración: Tipo de cobertura, Zona de vida, Importancia y procedencia de las especies. Cada factor cuenta con categorías que son valoradas según la representatividad ecológica de las mismas. El objetivo es determinar un factor de compensación por especie que posteriormente se multiplicará por la cantidad de individuos intervenidos de tales especies.
3. Metodología Valoración por intervención del cauce (VIC): Se aplica para los proyectos que requieran ocupación de cauces y está sujeta a la realización de un Plan de compensaciones. Para obras menores y/o puntuales se aplicará directamente la compensación mediante la plantación de árboles.

La metodología se basa en tres factores: Cambios en la morfología del cauce, afectaciones a la biodiversidad y cambios en la escena paisajística. El grado de afectación en cada caso es valorado, a continuación, se realiza la sumatoria para determinar un factor de compensación. La cantidad de árboles está sujeta al resultado de la valoración.

Para el proyecto C**IUDAD VERDE – CANAL TIBANICA** se usó la metodología VIC mediante la cual se definió la medida de compensación como una plantación forestal de 1.500 individuos en áreas de influencia del canal Tibanica.

Establecimiento de plantaciones

Se define como la planificación de recursos dirigidos a alcanzar los objetivos específicos de la plantación. Por lo tanto, la base para la planificación de este proceso radica en la definición de objetivos, poniendo énfasis en la determinación de los productos o servicios esperados del proyecto (García y otros, s.f).

El proceso de planificación debe adaptarse a las condiciones físicas, edáficas, climáticas, hídricas, entre otras, presentes en la zona destinada al proyecto. Además, se debe diseñar la infraestructura necesaria para la plantación, como caminos forestales, puntos de acopio, campamentos, entre otros elementos. Dentro de este proceso, también se incluye la definición de las actividades requeridas para la preparación del terreno antes del establecimiento, lo cual facilita las actividades propias del proceso de establecimiento y reduce las presiones naturales sobre los individuos (Mariscal y otros, 2000). Durante el establecimiento de los individuos, se llevan a cabo las actividades necesarias para la instalación de los árboles de acuerdo con los diseños establecidos, las especies seleccionadas, los insumos necesarios, entre otros aspectos.



Figura 3: Proceso para el establecimiento de medidas de compensación.

Árboles urbanos

Los árboles urbanos representan una parte esencial del entorno de las ciudades ya que están dispersos en áreas designadas como espacios verdes, parques, zonas de conservación hídrica, separadores viales y otros lugares similares. A lo largo de la historia, la presencia de árboles en entornos urbanos ha sido principalmente con fines ornamentales, utilizados como elementos para embellecer y suavizar los paisajes urbanos, o como remanentes de la vegetación natural que ha resistido a las transformaciones causadas por el desarrollo urbano (Capel, 2002). Esta función

estética de los árboles en las ciudades ha sido reconocida ampliamente, sin embargo, a través del tiempo, se ha incrementado la conciencia sobre su importancia más allá de lo estético, considerándolos elementos vitales para mejorar la calidad de vida urbana y mitigar los impactos ambientales negativos asociados con el desarrollo urbano (Wolf y otros, 2020).

La planificación urbana desempeña un papel crucial en la configuración de estas ciudades del futuro, donde se equilibren las necesidades humanas con la preservación del medio ambiente (Reyes Avilés & Gutiérrez Chaparro, 2010), al promover una mayor densidad urbana, el uso eficiente del suelo y el fomento de la movilidad sostenible; se pueden reducir los impactos ambientales negativos asociados con el cambio climático, como la contaminación del aire y la generación de gases de efecto invernadero. En este sentido, la planificación urbana se convierte en una herramienta clave para construir ciudades resilientes y habitables para las generaciones presentes y futuras (Calaza y otros, 2018).

Los árboles se destacan como elementos dinámicos y accesibles que ofrecen una solución efectiva y económicamente viable para abordar tanto la mitigación del cambio climático como el bienestar humano. Su versatilidad y capacidad para adaptarse a una amplia gama de entornos los convierten en herramientas fundamentales en la búsqueda de soluciones basadas en la naturaleza. Desde proporcionar sombra y mejorar la calidad del aire hasta reducir la temperatura urbana y mitigar los efectos de las inundaciones, los árboles ofrecen una serie de beneficios que contribuyen significativamente al bienestar de las comunidades urbanas. Además, su capacidad para almacenar carbono ayuda a contrarrestar las emisiones de gases de efecto invernadero, convirtiéndolos en aliados clave en la lucha contra el cambio climático. Integrar soluciones basadas en la naturaleza, como la plantación y conservación de árboles en las estrategias de planificación urbana y desarrollo sostenible son fundamentales para construir ciudades resilientes y sostenibles (Baró y otros, 2014).

Evaluación de plantaciones

Los árboles urbanos deben ser constantemente monitoreados como estrategia de control de las dinámicas que estos puedan presentar. Además de los incrementos normales de los individuos; eventos o factores externos al manejo pueden afectar tales dinámicas (Román y otros, 2020).

A través del proceso de acompañamiento y evaluación, se busca no solo controlar las condiciones de los individuos, sino también identificar tendencias y situaciones que puedan afectar a los árboles y la producción potencial de bienes y servicios (Gunwoo, 2016). Por otro lado, la evaluación constante también sirve como base para la toma de decisiones de gestión y manejo, permitiendo mejorar las condiciones del proyecto (Sarmiento Cifuentes, 2014).

Las metodologías usadas para la evaluación de los árboles dependen de los objetivos que esta perciba. Las más comunes orientan la valoración hacia la estimación de incrementos, riesgo, valor histórico o singularidad de los árboles; en todos los casos se requiere la formulación de un proceso

integral que considere todos aquellos factores que de impacto directo sobre los árboles y los criterios bajo los cuales se hará la evaluación (Callow y otros, 2018)

Análisis multicriterio (AMC)

Dado la cantidad de variables que influyen en la adaptabilidad y calidad de los árboles urbanos, y la importancia proporcional de cada una de estas variables; la evaluación por medio de metodología de Análisis multicriterio (AMC) permite comparar de forma simultánea y equilibrada tales variables. Los resultados obtenidos bajo este método cumplen con los lineamientos de integralidad requeridos para la evaluación de árboles y plantaciones (Otero Durán, 2021).

La metodología se desarrolla a través de cuatro etapas que consisten en la definición del problema, descripción de alternativas, la elección de criterios y la elección de un procedimiento de agregación (Quintero Grajales y otros, 2013). Una vez finalizada las etapas, se genera un grupo de posibles soluciones, estas son clasificadas y valoradas en base a los objetivos del análisis. Posteriormente se elige la solución o grupo de soluciones más beneficiosa para el proyecto.

La elección de criterios se basa en las observaciones de los expertos, mismos que asignan los valores relativos mediante los cuales serán ponderados los índices del análisis (Khvesyk y otros, 2017). Tales criterios deben ser elegidos en base al grado de impacto que estos representan dentro del entorno que se pretende evaluar.

Criterio de biodiversidad con base al origen

Las especies nativas poseen características que van más allá de lo estético, estas favorecen la conservación de la biodiversidad y las funciones de la estructura ecológica principal. también, cuentan con valores estéticos y paisajísticos y mayor adaptabilidad a las condiciones ambientales urbanas. Estas especies crecen de manera más eficiente y presentan costos de manejo inferiores en comparación con las especies introducidas (Berthon y otros, 2021).

El uso de especies nativas también conlleva beneficios adicionales, como mejoras en las características del suelo, activación del banco de semillas y atracción de fauna nativa en las áreas verdes (Heiland, 2021).

La evaluación de este criterio se basa en la definición del origen de las especies usadas. Las especies nativas tienen un mayor peso dentro de la metodología en comparación con las especies introducidas ya que las primeras presentan un grupo de beneficios mucho más amplio que las segundas, en todo caso, las especies introducidas también representan un factor de riesgo de destrucción de la composición ecológica de las zonas donde se establecen (Gutiérrez, 2006).

Criterio de adaptabilidad con base a la oferta hídrica y la aptitud urbana

La capacidad de adaptación de las plantas, es un concepto definido como la capacidad de tolerar factores de estrés biótico o abiótico como afectaciones sanitarias o emplazamientos hostiles. Esta capacidad se da a través de mecanismos fisiológicos o fenotípicos y depende en alto grado del relevo generacional de las especies (Ashapkin y otros, 2020).

Cada especie requiere de la disponibilidad de recursos básicos para lograr un desarrollo óptimo. Para los árboles urbanos, tales recursos deben coincidir en un grado suficiente entre el entorno natural y el entorno urbano. Algunas de estas características pueden hacer a los árboles más o menos tolerables a determinadas condiciones como la contaminación, por ejemplo. El grado de tolerancia a estos factores se denomina adaptabilidad (Royer y otros, 2021).

Para la evaluación de este criterio se consideró dos factores: el primero en base a la oferta hídrica, donde las especies pueden tolerar más o menos disponibilidad de hídrica. El MANUAL DE SILVICULTURA URBANA DE BOGOTÁ realizo la zonificación de la oferta hídrica para la ciudad, en esta se definió 4 categorías denominadas “Zonas de humedad ambiental relativa en Bogotá”. Adicionalmente, en este manual se evalúa las especies usadas en el arbolado de la ciudad y se clasifican según el grado de tolerancia a cada una de estas zonas (Álvarez y otros, 2011).

El segundo factor considerado en este criterio es la aptitud urbana de las especies. Esta se basa en las características de forma y desarrollo que presentan las especies y les permiten convivir con el entorno urbano, su infraestructura y sus habitantes. La aptitud urbana se refiere a las características de las especies para adaptarse a las condiciones de emplazamiento y manejo ya que se espera que los árboles urbanos presentan un gran número de beneficios, requieran poco manejo y casi ningún tipo de afectación. Tales condiciones incluyen las tolerancias a fenómenos extremos como sequías, heladas, la contaminación ambiental, la intensidad de poda, fisiología y anatomía de los árboles (Harrinson, 1985) . Al igual que con el factor de oferta hídrica, en el manual de silvicultura urbana se define la aptitud urbana para cada especie.

Criterio de función del arbolado urbano

(Van Wilgen y otros, 1996) definen los servicios ecosistémicos como los beneficios obtenidos por los seres humanos de los bienes y servicios generados por procesos naturales.

En un contexto de cambio climático, las ciudades se convierten en los principales focos de contaminación. A escala global se conserva la relación entre las coberturas vegetales urbanas y el bienestar humano y ambiental. Si bien los árboles son bioindicadores de las condiciones ambientales de las ciudades, estos también funcionan como herramientas de mitigación de tales impactos mediante la prestación de un gran número de funciones ambientales en aspectos como biodiversidad, regulación, provisión, culturales y de bienestar (Lüttge & Buckeridge, 2023) .

Definir y cuantificar los beneficios derivados de los servicios ecosistémicos se da mediante la identificación de dinámicas ecológicas en los lugares evaluados, sin embargo, considerando que las ciudades tienen necesidad y requerimientos similares, para las ciudades los servicios ecosistémicos se definen principalmente la regulación microclimatica, regulación hídrica, captura de material particulado, reducción del ruido y valores culturales (Salmond y otros, 2016).

Un criterio de función del arbolado urbano se define como la identificación de los beneficios que estos prestan y en qué medida mejoran las condiciones de los entornos urbanos. En el caso que se está evaluando, para la ciudad de Bogotá y su estructura arbolada se identificó un grupo de 10 servicios ambientales que compila de forma general tales beneficios.

Manejo de plantaciones forestales

El manejo forestal abarca una serie de actividades dirigidas a alcanzar los objetivos específicos de las plantaciones forestales; involucrando procesos de diseño, control, manejo y protección de los individuos arbóreos (Aguirre, 2015) . Sin embargo, es crucial reconocer que estos objetivos pueden variar considerablemente, lo que resulta en diferentes enfoques de manejo; por ejemplo, las necesidades de manejo para una plantación forestal con fines productivos difieren considerablemente de aquellas destinadas a la protección o restauración del medio ambiente.

Del mismo modo, el manejo de árboles urbanos presenta desafíos particulares debido a las condiciones específicas del entorno urbano, como el espacio limitado, la calidad del suelo, el acceso al agua y los nutrientes, así como la salud y el estado físico de los árboles. Estas diferencias requieren estrategias de manejo adaptadas y específicas para cada contexto, lo que destaca la importancia de entender las particularidades de cada tipo de plantación y su entorno para garantizar su éxito y sostenibilidad a largo plazo (Sorensen y otros, 1998).

Los árboles urbanos enfrentan un entorno desafiante al encontrarse ubicados en lo que podríamos denominar "espacios hostiles" dentro de las ciudades. Esta afirmación cobra sentido al considerar la competencia intensa por el espacio en entornos urbanos, donde se entrelazan sectores de vivienda, comercio, recreación, infraestructuras viales y otros elementos clave de la vida urbana. En este contexto, los árboles a menudo deben adaptarse y competir por recursos limitados, como espacio para el crecimiento de sus raíces, acceso a luz solar y disponibilidad de agua y nutrientes. Esta competencia por el espacio y los recursos puede generar desafíos significativos para la salud y el crecimiento de los árboles urbanos, lo que resalta la importancia de implementar estrategias de manejo urbano que promuevan su supervivencia y vitalidad en este entorno tan exigente (Tovar, 2006).

El manejo de árboles urbanos requiere la aplicación de criterios técnicos tanto para garantizar la salud y el desarrollo óptimo de los individuos como para preservar su espacio vital. Al igual que en las plantaciones productoras, es esencial implementar prácticas de manejo que consideren las

necesidades específicas de cada especie y las condiciones del entorno urbano. Además, el manejo de árboles urbanos debe ir más allá de consideraciones puramente técnicas e incorporar aspectos relacionados con la estética, el paisajismo y la gestión de riesgos. Estos elementos son fundamentales para asegurar que los árboles contribuyen de manera positiva al entorno urbano, proporcionando beneficios estéticos y funcionales mientras se minimizan los riesgos asociados con su presencia, como la caída de ramas o el daño a infraestructuras. Por lo tanto, una gestión integral de los árboles urbanos debe abordar tanto sus necesidades biológicas como los aspectos estéticos y de seguridad, garantizando así su papel como elementos esenciales en el paisaje urbano.

Las prácticas de manejo permiten garantizar que los árboles urbanos puedan prosperar en un entorno desafiante y seguir brindando beneficios tanto para el medio ambiente como para la comunidad (Álvarez y otros, 2011).

Buenas prácticas forestales

La implementación de buenas prácticas en el manejo de árboles implica llevar a cabo actividades basadas en criterios técnicos y utilizando las herramientas adecuadas, con el fin de garantizar que las intervenciones realizadas tengan un impacto positivo en los árboles y su entorno. Estas prácticas deben enfocarse en minimizar cualquier impacto ambiental negativo, preservar la salud de los árboles y asegurar la seguridad y el bienestar de los trabajadores y del entorno circundante. Además, es crucial tener en cuenta que los árboles sirven como refugio para numerosas especies, lo que resalta aún más la importancia de su cuidado adecuado (Llanos, s.f).

A pesar de que existen algunas prácticas tradicionales para el manejo de árboles, no todas ellas generan resultados positivos a largo plazo. De hecho, en muchos casos, estas prácticas pueden considerarse como malas prácticas. Por lo tanto, una gestión efectiva de buenas prácticas comienza con la identificación detallada de los árboles, las especies y sus características intrínsecas. Aspectos como los requerimientos de luz, espacio, dimensiones de los individuos adultos y la forma y arquitectura de las especies son fundamentales (Halle, 2010). Esta última característica es especialmente relevante, ya que orienta acciones como el tipo y la frecuencia de poda, el espacio requerido y también ayuda a definir las áreas adecuadas para la siembra de árboles dentro de la ciudad. Este enfoque integral en la gestión de árboles urbanos garantiza resultados óptimos a largo plazo y contribuye al bienestar tanto de los árboles como de la comunidad en general.

METODOLOGÍA

La determinación de los índices de adaptabilidad y calidad de los árboles establecidos y manejados dentro del proyecto CIUDAD VERDE – CANAL TIBANICA, se llevó a cabo en tres etapas orientadas a la revisión documental y bibliográfica en torno al proyecto, definición de criterios e indicadores de evaluación y determinación de índices y resultados acordes a los objetivos. De tal forma, el desarrollo metodológico se dio de la siguiente forma:

Primera etapa: Revisión documental

Revisión de los documentos asociados a la imposición y establecimiento de la medida de compensación, así como bibliografía y referencias que permitieran establecer un marco lógico del desarrollo y entendimiento de las decisiones tomadas durante la ejecución del proyecto. En esta etapa se revisó documentos emitidos por la autoridad ambiental (CAR,) la secretaría de ambiental, minas, desarrollo rural y protección animal de Soacha (SMDRPA) y de la empresa desarrolladora y ejecutora del proyecto.

Segunda etapa: Definición de criterios

Definición de criterios de evaluación del arbolado urbano en base a la calidad de los individuos. Se consideraron las directrices de establecimiento y manejo descritos en el Manual de Silvicultura Urbana de Bogotá desde donde se mencionan uno a uno los criterios requeridos para garantizar un establecimiento y adaptación óptima de árboles en el entorno urbano de la ciudad de Bogotá. La elección de estos criterios como criterios de evaluación se basa en las recomendaciones técnicas para garantizar arbolado de calidad.

Es importante resaltar que la información procesada para la estimación de los índices en cuestión proviene de dos fuentes: La primera de la observación en campo del estado de los individuos y la segunda de fuentes bibliográficas como *Catálogo de especies de arbolado urbano de Bogotá* (Mahecha y otros, 2010) y del *Catálogo virtual de Flora del Valle de Aburrá* (UNIVERSIDAD EAN, s.f) donde se define y califica los criterios mencionados para las especies más comunes del arbolado urbano en Bogotá.

Tercera etapa: Estimación de índices de adaptación y calidad

Estimación de índices de adaptabilidad y calidad para los individuos y las especies del proyecto a partir de un Análisis multicriterio (AMC). Cada criterio definido en la etapa 2 fue calificado y ponderado hasta obtener la valoración de cada uno. Posteriormente se propuso un modelo que integrará los criterios como contribuciones al estado de los árboles, todos bajo el mismo peso relativo. Al finalizar la etapa se definió un intervalo para la calificación de los árboles y se obtuvo resultados por individuos y por especies.

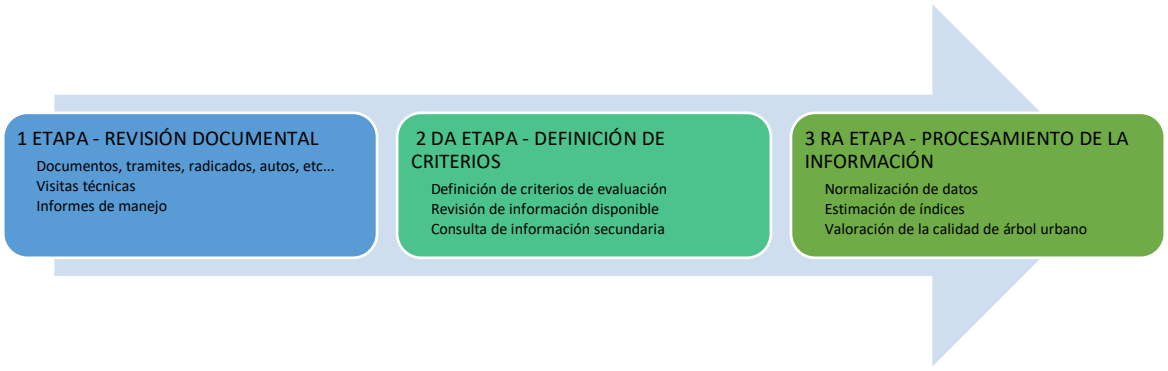


Figura 4. Etapas de proceso metodológico del proyecto.

Determinación área de estudio

El proyecto CIUDAD VERDE – CANAL TIBANICA fue establecido en áreas de influencia de Canal Tibanica, un espacio público definido como áreas verdes y parques. La zona cuenta con un área total de 19.866 m 2 (1,9 Ha) distribuida en una franja de 1.540 metros lineales entre la Av. Tierra negra (Límite occidental), la Av. Las torres (Límite oriental), el canal Tibanica (Límite norte) y la Av. Terreros (Limite Sur)

La zona se caracteriza por ser un espacio de límite municipal entre Bogotá y Soacha junto al talud adecuado para el canal y la ciudadela.

La plantación por compensación se divide en tres (3) zonas en función del diseño urbanístico y prospección de la ciudadela. En la tabla 1 se muestra el área y la delimitación de cada una de las zonas mencionadas.

ZONA	LÍMITES	ÁREA (m^2)
1	Desde la avenida tierra negra hacia el oriente hasta la Carrera 30 (Futura Av. Cali) en dirección sur.	13.491
2	Desde la Carrera 30 (Futura Av. Cali) en dirección norte, avanzando 230 metros hacia el oriente, frente al conjunto Aliso II.	1.875
3	Desde el conjunto Aliso II, 41 metros antes de la transversal 24 B en dirección al oriente, la zona 3 termina 220 metros antes de la glorieta de la avenida Las Torres.	4.500
ÁREA TOTAL		19.866

Tabla 1. Área por zona en plantación por compensación – Canal Tibanica – Ciudad Verde.



Figura 5. Zonificación plantación por compensación -Ciudad verde – canal Tibanica.

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Etapa 1 - Revisión documentación

La revisión documental se llevó a cabo en orden cronológico, desde la emisión del permiso de ocupación de cauce por la autoridad ambiental hasta el acta de entrega del proyecto a la administración municipal. Durante la revisión, se destaca la importancia de la Resolución 1439 de 2018 donde se establecen las condiciones básicas para el establecimiento de la medida de compensación, el acompañamiento y la entrega. Los criterios técnicos de establecimiento de la medida se mencionan en la siguiente tabla:

CONDICIÓN	DESCRIPCIÓN
Cantidad de árboles	1.500
Altura mínima	1,0 metros
Especies sugeridas	Aliso *(Alnus acuminata)*, Arboloco, *(Smallanthus pyramidalis)*, Ciro *(Baccharis macrantha)*, Hayuelo *(Dodonea viscosa)*, Falso pimiento *(Schinus molle)*, Sauce *(Salix humboldtiana)*, Sauce *(Sambucus nigra)*
Interdistancia	Mayor o igual a 3,0 metros
Diseño	Tresbolillo
Dimensiones del hoyo	1,0 m *1,0 m * 1,0 m equivalente a m^3
Sustrato	Mezcla de tierra negra, cascarilla de arroz y fertilizante triple 15
Riego	Al finalizar el establecimiento
Mantenimiento	Según Plan de Mantenimiento con periodicidad trimestral
Riego y fertilización	Según plan de riego y Plan de fertilización
Duración de la medida	3 años

Entrega	1.500 individuo ya establecidos

Tabla 2. Criterios de establecimiento de la medida de compensación.

Posteriormente, se revisaron los documentos de gestión y vigilancia del cumplimiento de la medida presentados por los actores. En la tabla 3 se visualiza los documentos específicamente asociados al cumplimiento de la medida de compensación, en estos se evidencia que los ejecutores de la medida cumplieron con los criterios técnicos de establecimiento y manejo definidos durante la medida de manejo.

Número	Autor	Título	Fecha
1	Autoridad ambiental -CAR	Resolución 1439	31 / mayo / 2018
2	Autoridad ambiental -CAR	Auto DRSO No. 0457	19 / mayo / 2019
3	Arte Forestal S.A.S	Plan de compensación	agosto / 2020
4	Arte Forestal S.A.S	1er. Informe de gestión	octubre / 2020
5	Arte Forestal S.A.S	2 do. Informe de gestión	diciembre / 2020
6	Arte Forestal S.A.S	3 er. Informe de gestión	marzo / 2021
7	Autoridad ambiental -CAR	Radicado CAR 20211021067	8 / marzo / 2021
8	Autoridad ambiental -CAR	Inf. técnico DECSA No. 0373	31 / mayo / 2021
9	Arte Forestal S.A.S	4 to. Informe de gestión	Mayo / 2021
10	Autoridad ambiental -CAR	Inf. técnico DECSA No. 0877	2 / junio / 2021
11	Arte Forestal S.A.S	5 to. Informe de gestión	Octubre / 2021
12	Autoridad ambiental -CAR	Auto DRSO No. 1122600081	4 / febrero / 2022
13	Autoridad ambiental -CAR	Rad. CAR 20211021067	8 / marzo / 2022
14	Autoridad ambiental -CAR	Auto DRSO No. 11226000600	29 / junio / 2022
15	Arte Forestal S.A.S	5 to. Informe de gestión	octubre / 2021
16	Arte Forestal S.A.S	6 to. Informe de gestión	diciembre / 2021
17	Arte Forestal S.A.S	7mo. Informe de gestión	julio / 2022
18	Arte Forestal S.A.S	8vo. Informe de gestión	septiembre / 2022
19	Arte Forestal S.A.S	9 no. Informe de gestión	octubre / 2022
20	Arte Forestal S.A.S	10mo. Informe de gestión	enero / 2023
21	Arte Forestal S.A.S	11 vol. Informe de gestión	mayo / 2022
22	Arte Forestal S.A.S	12 vo. Informe de gestión	agosto / 2023
23	Arte Forestal S.A.S	Informe censo forestal	octubre / 2023

Tabla 3. Documentos revisados sobre el proceso de compensación.

Etapa 2 – Definición de criterios

La elección de criterios de adaptabilidad y calidad de los árboles del proyecto se basó en las condiciones deseables para árboles urbanos. Estas, son bastante más exigentes que para árboles manejados mediante otros objetivos silviculturales ya que se espera que estos individuos logren el equilibrio junto a otros elementos del paisaje urbano maximizando sus beneficios y minimizando los impactos negativos.

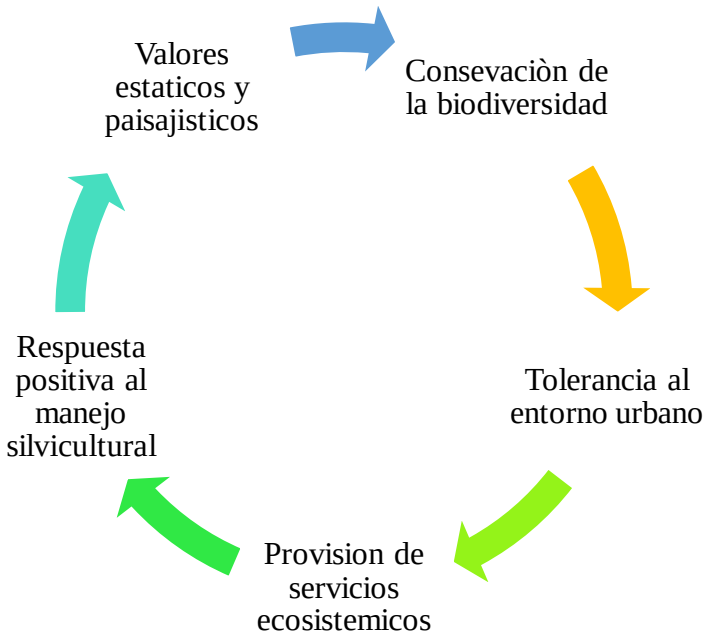


Figura 6. Valores del arbolado urbano que moldean la evaluación de árboles urbanos

También se consideró que la similitud entre los criterios básicos de establecimiento y manejo, y los de evaluación de calidad; pues en ambos casos, los esfuerzos se orientan a la obtención de árboles apropiadamente desarrollados en escenarios controlados y con valores deseables. De tal forma, se eligieron 5 criterios compuestos por 8 indicadores que reflejan aquellos factores que se esperan de los árboles urbanos.

VALOR	CRITERIO	INDICADOR
Conservación de la diversidad	Origen	Especie nativa o introducida
Tolerancia a factores de estrés urbano	Aptitud urbana	Adaptabilidad a oferta hídrica
		Adaptabilidad a emplazamiento urbano
Servicios ambientales	Función	Servicios que provee
Respuesta al manejo	Intensidad de manejo	Condición física
		Condición sanitaria
Valores paisajísticos	Estructura	Hábito
		Grado de bifurcación

Tabla 3. Valores deseables del arbolado e indicadores y criterios para su evaluación.

Posterior a la definición de los criterios se realizó la proyección de cuatro escenarios que integraban manejo y la condición deseable de cada factor evaluado en los indicadores. Esta metodología permitió normalizar la información recolectada respecto al estado de los individuos para su posterior comparación entre individuos y especies. En este proceso también modelo en mejor escenario posible y el peor escenario posible para definir el intervalo dentro del cual serán evaluados los individuos.

MANEJO	CONDICIÓN DESEABLE	CONDICIÓN NO DESEABLE
Si	Si	No
No	No	Si



VALORACIÖN	
1	0,75
0,5	0,25

Figura 7. Metodología para la normalización de factores para determinación del valor de los indicadores.

Etapa 3: Estimación de índices de adaptación y calidad

El estado actual de los individuos del proyecto "Ciudad verde – Canal Tibanica" son el resultado de la interacción entre 5 criterios: Origen de las especies (ORG), aptitud de uso urbano de las especies (APU), servicios que proveen en el entorno (FUN), estructura de la masa forestal (EST) e intensidad de manejo sobre los individuos (IM). A partir de esta dinámica se propone el índice de CALIDAD ARBOL URBANO (CAU) para comparar los resultados mediante la valoración de la calidad. Tal relación se expresa mediante el siguiente modelo:

$$CAU = ORG + APU + FUN + EST + IM$$

Cada individuo fue sometido al mismo tratamiento dando como resultado un valor de CAU entre 0,0 y 6,0 donde el valor mínimo (0,0) corresponde a la valoración del peor escenario posible que incluye ningún manejo y la presencia de todas las condiciones no deseadas. En contraposición el máximo valor (6,0) es la valoración del mejor escenario posible que incluye el manejo y la presencia de todas las condiciones deseadas en los individuos del proyecto. Posteriormente se definió tres categorías de valoración para los individuos:

Categoría	Límite inferior	Límite superior	Valor promedio
Condición óptima	5,1	6,0	5,5
Condición aceptable	3,1	5,0	4,0
Condición deficiente	0,0	3,0	1,5

Tabla 4. Valores promedio para la calificación de la calidad de árboles urbanos (CAU).

En la figura 7 se observa la distribución de los índices CAU obtenidos para los árboles del proyecto. Se observa que estos se concentran en torno al límite entre las categorías "Aceptable" y "Óptima", demostrando una condición general del proyecto de árboles bien desarrollados y adaptados a la zona.

También se observa que la distribución es homogénea, por lo cual no se observan valores dispersos que generen cuestionamientos particulares sobre tal situación. Por lo cual se concluye que las medidas de manejo fueron correctamente aplicadas a todos los individuos.

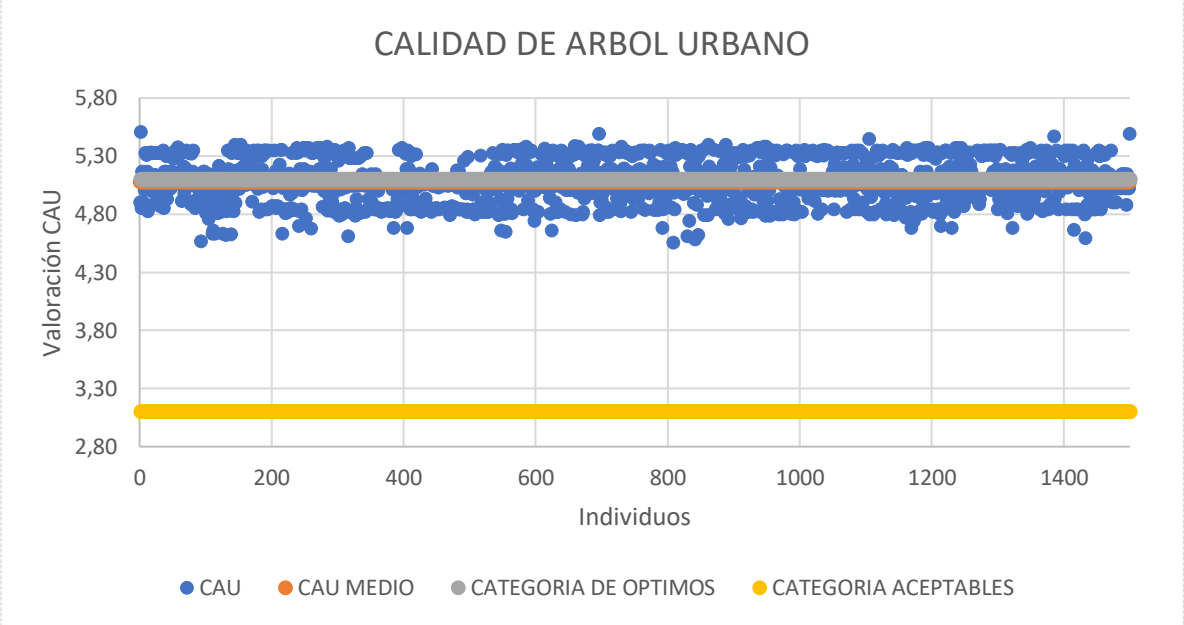


Figura 8. Distribución de CAUs en función de los valores medios y categorías óptimas y aceptables.

Al evaluar los individuos bajo el modelo propuesto se determinó que el 67% (1.016 árboles) de los individuos establecidos en el proyecto **CIUDAD VERDE - CANAL TIBANICA** cuentan con una calidad de árbol urbano (CAU) óptima, mientras que el 33% restante (484 árboles) cuenta con una calidad de árbol urbano (CAU) aceptable. Se destaca el hecho de que ningún individuo cuente con una calidad de árbol urbano (CAU) deficiente considerando que el proyecto estuvo sometido a manejo frecuente durante tres años.

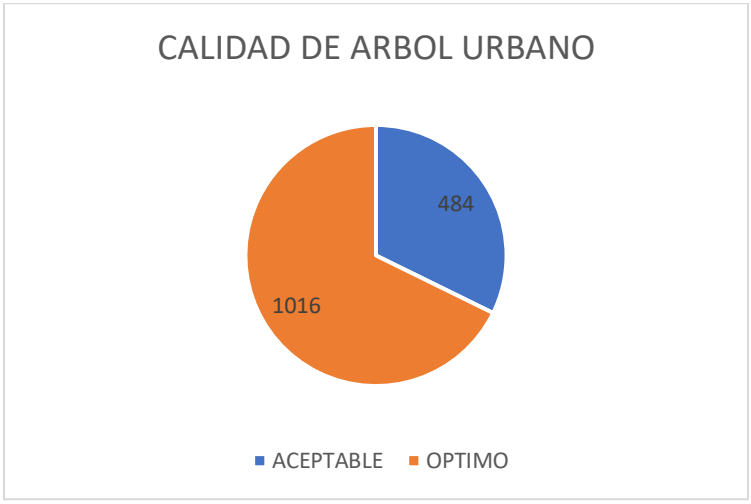


Figura 9. Categorías de calidad de árbol urbano para el proyecto.

Para el criterio de origen se observa que el 93,7% (15) de las especies son nativas, mientras el restante 6,2% (1) corresponde a especies introducidas. Tal situación demuestra inconsistencias durante el proceso de selección de especies para el establecimiento del proyecto, pero también en los procesos de evaluación del PLAN DE COMPENSACIONES aprobado por la autoridad ambiental.

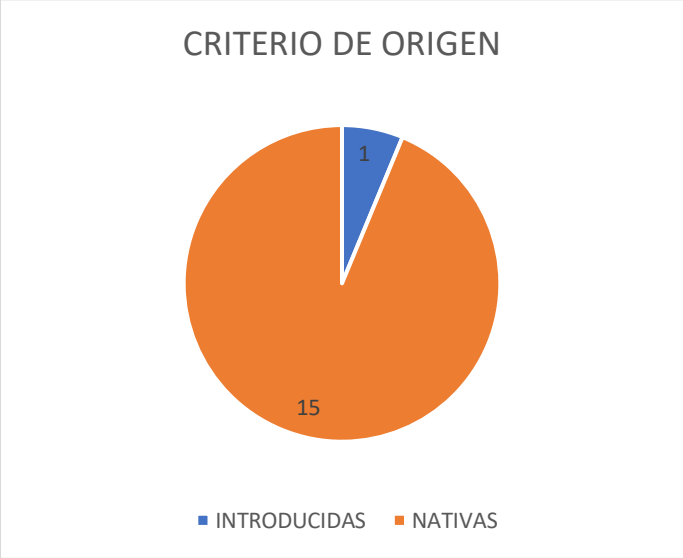


Figura 10. Proporción especies nativas versus especies introducidas usadas en el proyecto.

En el criterio de aptitud de uso urbano (APU) los resultados se compilaron por especies para identificar el comportamiento de cada una en los criterios de evaluación de CAU. En la gráfica X se observa un alto grado de adaptabilidad a las condiciones de emplazamiento en entornos urbanos para 13 de las 16 especies usadas. Las especies Duraznillo (*Abatía parviflora*), Laurel de cera (*Myrica pubescens*) y Corono (*Xylosma spiculifera)* presentan un grado de adaptación menor debido a que la bibliografía consultada recomienda usar las especies el proceso de restauración y en menor medida en procesos de arbolado urbano.

En cuanto el índice de adaptabilidad a la oferta hídrica solo la especie Laurel de Cera *(Myrica pubescens)* cumple con el grado de adaptación adecuado debido a su tolerancia a la oferta hídrica de las Zonas secas según zonificación de oferta hídrica para Bogotá y área metropolitana. Las demás especies del proyecto tienen un alto grado de adaptabilidad a las zonas de oferta hídrica semisecas.

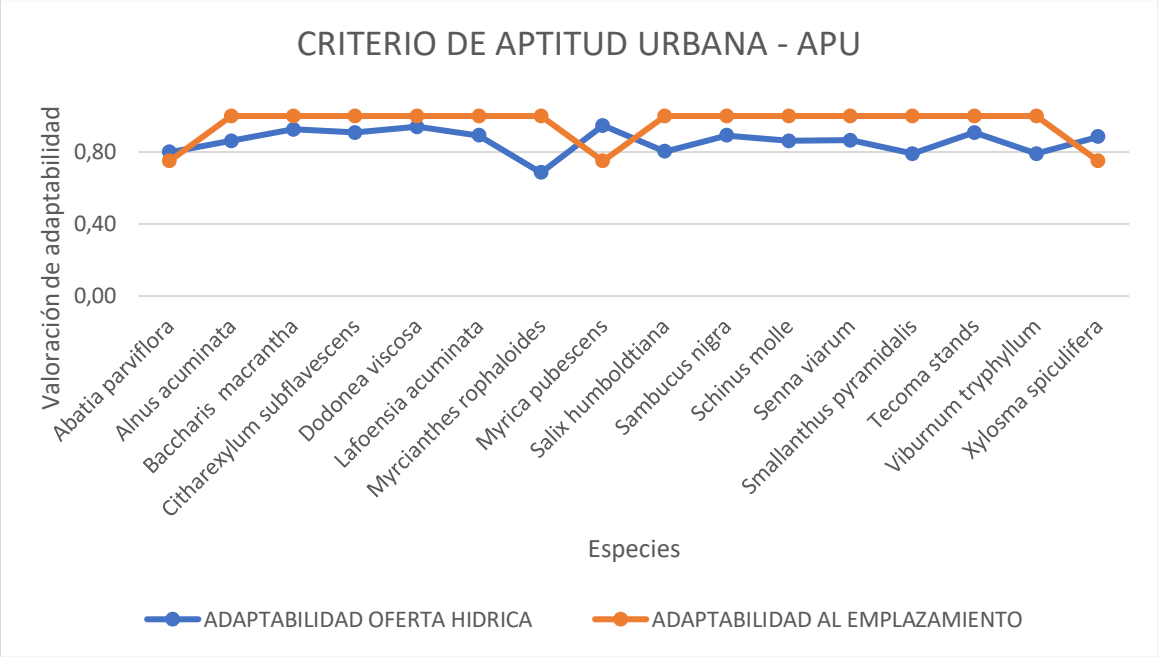


Figura 11. Comparación entre indicadores del criterio de aptitud urbana - APU

Al evaluar el criterio de función (FUN) se identifica a la especie Chicalá *(Tecoma stands)* como aquella que presta mayor cantidad de funciones dentro del área del proyecto destacando la función de "*Aporte estético, paisajístico y cultural"* y "*Conformación de espacios y subespacios".* En contraposición, la especie Falso pimiento *(schinus molle)* es la especie que en menor grado aporta servicios al proyecto ya que su valoración se da estrictamente por los valores estéticos y de aporte al bienestar psicológico.

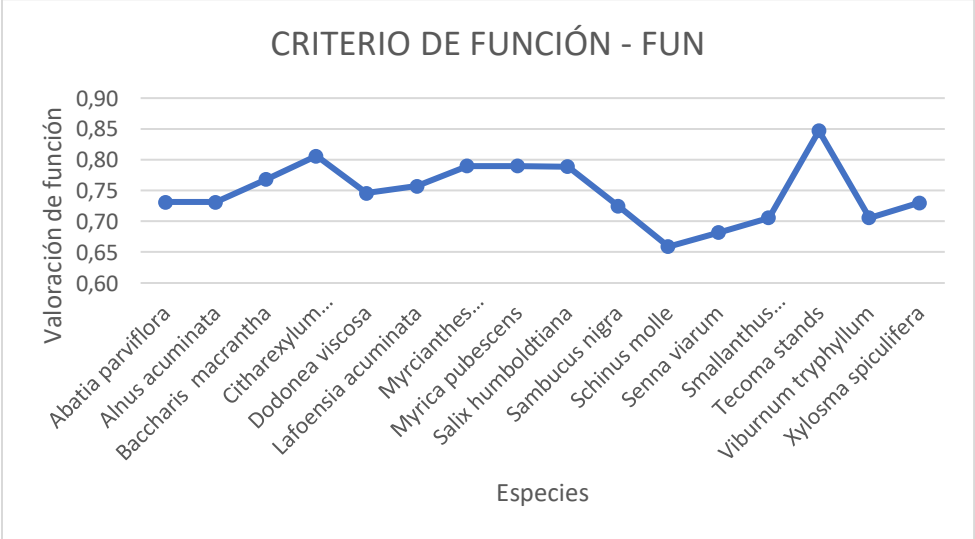


Figura 12. Comportamiento del criterio de función (FUN) por especie.

Para el criterio de estructura (EST) se identifica consistencia entre el tipo de hábito de las especies y el manejo que da en campo. Es decir, las especies de porte arbóreo son manejadas con podas que conservan esas formas, al igual que las especies de porte arbustivo. Sin embargo, se observa que todas las especies presentan al menos un grado de bifurcación, situación que no afecta a los individuos de hábito arbustivo, pero si a los individuos arbóreos.

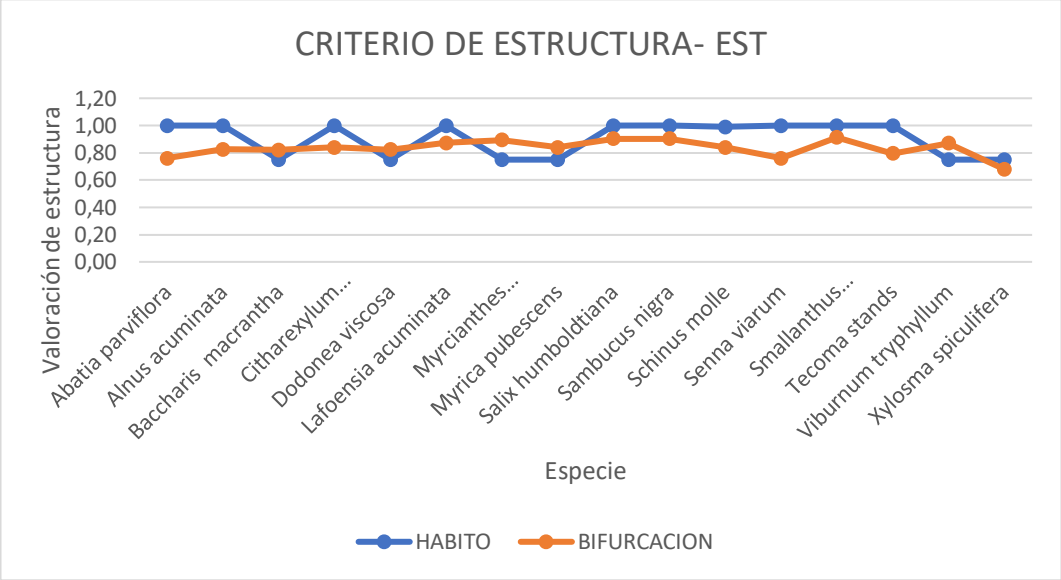


Figura 13. Comportamiento de los indicadores de hábito y bifurcación para el criterio de estructura - EST

Para el criterio de intensidad de manejo está compuesto por dos índices, el índice de condición física y el índice en condición sanitaria. Para el primer caso se observa que ninguna de las especies presentó individuo en condiciones físicas óptimas, más bien el promedio son condiciones físicas aceptables en donde destacan los individuos de Duraznillo *(Abatia parviflora)*, Alcaparro *(Senna multiglandulosa)* y Garrocho *(Viburnum triphyllum)*. Para el índice de condición sanitaria se destaca el hecho de que todas las especies presentaron condiciones óptimas a pesar de haber reportes de afectaciones sanitarias, lo que demuestra buen manejo sanitario durante las labores de manejo. También se observa la tendencia de mejor valoración de la condición sanitaria que de la física en los individuos del proyecto.

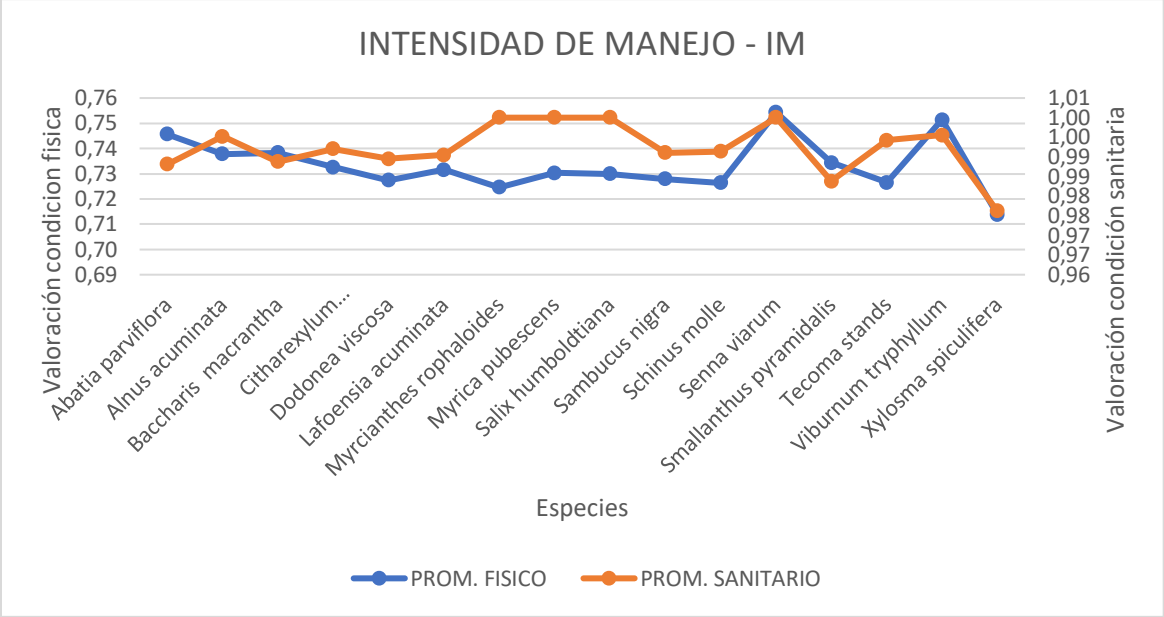


Figura 14. Comportamiento de los indicadores de condición física y sanitaria para el criterio de intensidad de manejo - IM

Finalmente, se estimó CAU por especie y se observa que las especies que presenta mayor calidad para arbolado urbano en el proyecto son Cajeto *(Citharexylum subflavescens)*, Guayacán de Manizales *(Lafoensia acuminata)* y Chicalá *(Tecoma stands)*. Por el contrario, las especies de menor calidad son Corono *(Xylosma spiculifera)* y Duraznillo *(Abatia parviflora)*

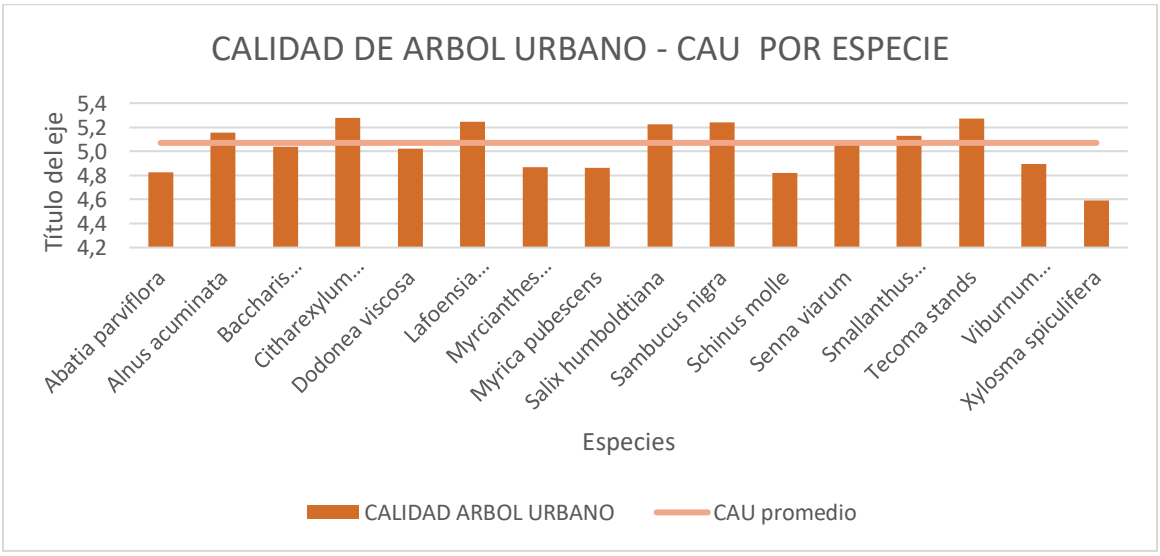


Figura 15. Calidad de árbol urbano – CAU por especie.

Es importante recordar que el índice de calidad de arbolado urbano (CAU) está compuesto por varios criterios que no determinan individuos o especies más o menos valiosas, por el contrario, permite evaluar la efectividad de las labores forestales desde la planeación hasta el manejo ya que evalúa criterios que deben ser contemplados durante la etapa de planificación y diseño hasta las prácticas ejecutadas durante el manejo y su intención de propender árboles en determinada condición. Bajo este concepto el objetivo de este proceso fue evaluar la efectividad de las labores forestales y su impacto en los individuos del proyecto.

DISCUSIÓN

De forma general el proyecto presentó buenos resultados con estándares destacables más allá del mero cumplimiento de la medida, sin embargo, se identificó algunas situaciones o inconsistencias que serán discutidas a continuación.

1. En la fase de preoperativa de diseño y planificación del proyecto se debe definir unos criterios guía para la selección de especies acorde al área de intervención ya que se identificó especies que no cumplen criterios de origen y grado de adaptabilidad a la zona demostrando poco criterio técnico. Si bien el plan de compensación fue aprobado por la autoridad ambiental, en ambas instituciones pasó por alto este criterio.
2. En la validación del modelo se evidencio que no hay criterios con mayor o menor peso pues especies que destacan en determinados criterios no son precisamente las que presentan mejores resultados demostrando que el manejo forestal es un proceso integral y de oportuno control en cada factor de influencia. También se menciona que existen situaciones fuera del control del manejo que presentan fuertes tensiones, como en el caso del indicador de condición física donde se observaron los menores puntajes ya que muchas de las condiciones no deseables en los individuos fueron generados por la exposición de los árboles a entornos urbanos de acceso público y, por ende, sin control.
3. Se identificó que las fallas de manejo forestal que se presentaron en el proyecto se generaron en la etapa de planeación, aunque no fueron significativamente negativas, es importante no pasarlas por alto en pos de hacer retroalimentación para la mejora de los procesos.
4. Se destaca el buen desempeño de las medidas de manejo y acompañamiento, las cuales lograron mejorar las condiciones suficientes para garantizar la adaptabilidad de especies con bajo grado de adaptabilidad a las condiciones del proyecto.
5. La respuesta del proyecto al manejo fue eficiente pues no se contó con individuos en condiciones deficientes o muertos ya que la medida de compensación tiene una tolerancia de 0% de mortalidad.

CONCLUSIONES

Las plantaciones por compensación son impuestas bajo la expectativa de compensación por un periodo de tiempo definido, sin embargo, los beneficios que los árboles siguen proporcionando a través del tiempo exige mayor acompañamiento por parte de los responsables pues estos individuos podrían incrementar sus beneficios con un manejo por más tiempo.

Las plantaciones por compensación establecidas en entornos urbanos están sujetas a muchos más factores de presión en comparación con aquellas establecidas en áreas periurbanas o rurales, esta situación hace más difícil garantizar condiciones óptimas para los árboles. Sin embargo, establecer árboles en entornos urbanos es necesario ya que son elementos de alto impacto para mejorar las condiciones del entorno e incrementar todos los beneficios que puedan ser percibidos.

Las medidas de compensación se orientan al cumplimiento de unos estándares mínimos, sin embargo, en términos ambientales es necesario garantizar calidad en estos procesos ya que hay dinámicas de colonización y sucesión que podrían incrementar o disminuir los beneficios en los proyectos.

RECOMENDACIONES

La evaluación es un proceso de monitoreo, pero también un proceso de retroalimentación mediante el cual se aprende a mejorar procesos, en dicho caso a partir de este proceso es posible identificar factores que requieren mejora en el proceso de planificación y acompañamiento de proyectos de compensación.

Se recomienda realizar una revisión más profunda de los procesos con el objetivo de hacer más eficientes los recursos económicos, técnicos y de manejo para evitar sobre costos o la ejecución de medidas correctivas que en la mayoría de los casos requieren mayor esfuerzo.

REFERENCIAS

Constitución política de Colombia. (1991). Colombia: Imprenta Nacional de Colombia. Retrieved 7 de mayo de 2024.

Aguirre, O. (2015). Manejo forestal en el Siglo XXI. *Madera y Bosques, 21*, 17-28.

Álvarez, G., Tovar, G., Bocanegra, F., Chaparro, J., Caicedo, G., Rodríguez, D., & Cardoso, L. (2011). *Manual de silvicultura urbana de Bogotá.* Jardín Botánico José Celestino Mutis, Subdirección técnica operativa, Bogotá, D.C.

Ashapkin, V., Kutueva, L., Aleksandrushkina, N., & Vanyushin, B. (2020). Epigenetic Mechanism of plant adaptation to biotic and abiotic stresses. *International Journal of Molecular Sciences, 21*.

Autoridad Ambiental de Licencias Ambientales. (s.f.). Retrieved 7 de mayo de 2024, from https://www.oecdbetterlifeindex.org/es/topics/environment-es/

Baró, F., Chaparro, L., Gómez - Baggethun, E., Langemeyer, J., Nowak, D., & Terradas, J. (2014). Contribution of Ecosystem Service to Air Quality and Climate Change Mitigation Policies: The Case of Urban Forests in Barcelona, Spain. *Ambio: A Journal of the Human Environment, 43*, 466-479.

Berthon, K., Thomas, F., & Bekessy, S. (2021). The role of "nativeness" in urban greening to support animal biodiversity. *Landscape and urban planning, 205*.

Calaza, P., Cariñanos, P., Escobedo, F., Schwab, J., & Tovar, G. (2018). Crear paisajes urbanos e infraestructura verde. (FAO, Ed.) *Unasylva, 69*(1), 11-21.

Callow, D., May, P., & Johnstone, D. (2018). Tree vitality Assessment in Urban Landscapes. *Forests*.

Capel, H. (2002). Jardines y parques en la ciudad: Ciencia y estética. *CIENCIAS*(68).

CIUDAD VERDE, SOACHA. (s.f.). *miciudadverde.com*. Retrieved mayo de 2024, from https://miciudadverde.com/

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (s.f.). *Guía técnica para definir la medida de compensación ambiental en trámites de concesión de aguas, aprovechamiento forestal y autorización de ocupación de cauces.* Colombia.

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, C. (2018). *Boletín extraordinario.* Retrieved 7 de mayo de 2024.

Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare. (s.f.). *Cornare.gov.co*. Retrieved 7 de mayo de 2024, from https://www.oecdbetterlifeindex.org/es/topics/environment-es/

Decreto 1076 de 2015. (26 de mayo de 2015). *Esta versión incorpora las modificaciones introducidas al Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Colombia.

Decreto 1753 de 1994. (3 de agosto de 1994). *Por la cual se reglamentan parcialmente los Títulos VIII y XII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales*. Colombia.

Decreto 2811 de 1974. (18 de diciembre de 1974). Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y Protección del Medio Ambiente. Colombia.

El Espectador. (17 de marzo de 2011). Nace una ciudad en Soacha. *El Espectador*. www.elespectador.com/bogota/nace-una-ciudad-en-soacha-article-257610/

Empresas públicas de Medellín. (s.f.). *EPM*. Retrieved 7 de mayo de 2024, from https://www.epm.com.co/institucional/sostenibilidad/gestion-ambiental/programa-de-compensaciones-forestales-urbanas.html

García, E., Sotomayor, A., Silva, S., & Valdebenito, G. (s.f). *Establecimiento de Plantaciones Forestales.*

Gobierno de México. (s.f.). Retrieved 7 de mayo de 2024, from https://www.oecdbetterlifeindex.org/es/topics/environment-es/

Gonzáles, M., Jurado, E., González, S., Aguirre, Ó., Jiménez, J., & Navar, J. (julio- septiembre de 2003). Cambio climático mundial: Origen y consecuencias. (U. A. León, Ed.) *Ciencia UANL, VI*(003), 377 -385.

Gunwoo, K. (2016). Assessing Urban Forest Structure, Ecosystem Services and Economic Benefits on Vacant Land. *Sustainability, 8*.

Gutiérrez, F. (2006). *Estado de conocimiento de especies invasoras: Propuesta de Lineamientos para el control de los impactos.* Instituto de investigación de Recursos biológicos Alexander Von Humboldt, Bogotá D.C.

Halle, F. (2010). Arquitectura de los Árboles. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, *45*(3-4), 405-418.

Harrinson, F. (1985). Plants showing tolerance of urban stress. *Journal of environmental Horticulture, 3*(2), 85-89.

Heiland, P. (2021). *Utilización de plantas nativas y sus beneficios en el diseño de parques y jardines en la ciudad de Bahía Blanca.* Trabajo de grado, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.

Jiménez, Q. (2013). Arbolado urbano: Beneficios, desaciertos y realidad en la Gran Área Metropolitana. *Ambientico*(232 - 233), 4-12. https://www.ambientico.una.ac.cr/numeros/232-233/

Khvesyk, M., Shubalyi, A., & Golyan, V. (2017). Multicriteria evaluation of forestry development by regions (by example of Ukraine). *Folia Forestalia Polonica, 59*(3), 207-2018.

Ley 99 de 1993. (22 de diciembre de 1993). *Por la cual se crea el Ministerio de Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente*

y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones.

Llanos, C. (s.f). *ISA HISPANA.* Retrieved 7 de MAYO de 2024, from https://www.isahispana.com/portals/0/docs/treecare/Elementos%20de%20manejo%20de%20arboles%20urbanos_1.pdf

Lüttge, U., & Buckeridge, M. (2023). Trees: Structure and function and the challenges of urbanization. *Trees, 37*, 9-16.

Mahecha, G., Sánchez, F., Chaparro, J., Cadena, H., Tovar, G., Villota, L., . . . Quintero, M. (2010). *Arbolado urbano de Bogotá: Identificación, descripción y bases para su manejo.* Bogotá, D.C, Colombia.

Mariscal, E., Martínez, R., & Takano, K. (2000). *Manual de manejo de bosques naturales.* (Agencia Nacional de Ambiente, Agencia de Cooperación Internacional de Japón, Edits.) Río Hato, Panamá.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s.f.). *minambiente.gov.co*. Retrieved 7 de mayo de 2024, from https://www.oecdbetterlifeindex.org/es/topics/environment-es/

Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (s.f.). Retrieved 7 de mayo de 2024, from https://www.oecdbetterlifeindex.org/es/topics/environment-es/

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (s.f.). *OECD Better life Index*. Retrieved 7 de mayo de 2024, from Medio Ambiente: https://www.oecdbetterlifeindex.org/es/topics/environment-es/

Otero Durán, L. (2021). *El arbolado urbano protector de la infraestructura de espacio público en Bogotá.* Trabajo de grado, Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de estudios ambientales, Bogotá.

Quintero Grajales, A., Serrano Moya, E., & Hahn Von H, C. (2013). Los métodos y procesos multicriterio para la evaluación. *Luna Azul*(36), 285 - 306.

Resolución No. 2971 de 2017. (4 de octubre de 2017). Por la cual se establecen las condiciones básicas para la imposición de medidas de compensación en el área de jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR. Colombia.

Reyes Avilés, I., & Gutiérrez Chaparro, J. (enero - junio de 2010). Los servicios ambientales de la arborización urbana: Retos y aportes para la sustentabilidad de la ciudad de Toluca. *Quivera, 12*(1), 96-102.

Roman, L., Van Doorn, N., McPherson, E., Scharenbroch, B., Henning, J., Östberg, J., . . . Vogt, J. (2020). *Urban tree monitoring: A field guide.* Delaware, United state of America: United states Department of Agriculture.

Royer, S., Boisvert, L., Godbout, J., Isabel, N., & Aubin, I. (2021). Finding common ground: Toward comparable indicators of adaptive capacity of tree species to a changing climate. *Ecology and evolution, 11*.

Salmond, J., Tadaki, M., Vardoulakis, S., Arbuthnott, K., Coutts, A., Demuzere, M., . . . Wheeler, B. (2016). Health and climate related ecosystem service provided by trees in the urban environment. *Environmental health, 15*(36).

Sarmiento Cifuentes, N. (2014). *Evaluación de las plantaciones forestales protectoras establecidas por la Corporación Autónoma Regional de Chivor - CORPOCHIVOR mediante el programa de usuarios menores asociados (UMA) en los municipios de Campohermoso, Garagoa y Chinavita*. Trabajo de grado como parte de los requisitos para optar el título de ingeniero agroforestal, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, Escuela de ciencias agrícolas, pecuarias y del medio ambiente, Garagoa.

Sarmiento, M. (2014). *Hacia un sistema de bancos de hábitat como herramienta de compensación ambiental en Colombia* (Vol. 1). Colombia.

Sorensen, M., Barzetti, V., Keipi, K., & Williams, J. (1998). *Manejo de las áreas verdes urbanas.* Documento de buenas prácticas, Banco interamericano de desarrollo, Departamento de desarrollo sostenible, Ciudad de México.

Tovar, G. (2006). Manejo del arbolado urbano de Bogotá. *Colombia Forestal, 9*(19).

UNIVERSIDAD EAN. (s.f). *Catálogo virtual de flora del valle de Aburrá*. Retrieved 7 de mayo de 2024, from https://catalogofloravalleaburra.eia.edu.co/families/37?page=2

Van Wilgen, B., Cowling, R., & Burgers, C. (1996). Valuation of Ecosystem Service: A case study from the South african fynbos ecosystem. *BioScience, 46*(3).

Wolf, K., Lam, S., McKeen, J., Richardson, G., Van den Bosch, M., & Bardekjian, A. (2020). Urban Trees and human health: A scoping Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 17*, 43-71.