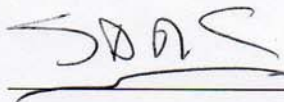


Revisión de los modelos *CITYgreen*, *i-tree Tools ECO* y *i-Tree Tools Streets*, como herramientas para la cuantificación de los servicios Ecosistemicos prestados por el arbolado urbano de Bogotá

María Fernanda Acosta Soto

Pontificia Universidad Javeriana
Facultad de Estudios Ambientales y Rurales
Carrera de Ecología

Mayo de 2010



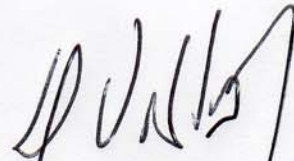
CARLOS ALFONSO DEVIA

DIRECTOR



ANGELA MONCALEANO

JURADO



LUIS ALBERTO VILLA

JURADO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, a mi familia y a todas las personas que de algún modo estuvieron vinculadas con la realización de este proyecto. Gracias por el apoyo que me brindaron durante el proceso.

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN	9
2. INTRODUCCION	10
3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	11
4. JUSTIFICACIÓN	12
5. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	15
5.1 PREGUNTA GENERAL	15
5.2 PREGUNTAS ESPECÍFICAS	15
6. OBJETIVOS	15
6.1 OBJETIVO GENERAL	15
6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
7. MARCO DE REFERENCIA	17
7.1 CONCEPTOS BÁSICOS	17
7.2 EL ECOSISTEMA URBANO	18
7.3 BIENES Y SERVICIOS ECOSISTEMICOS	18
7.4 BENEFICIOS DE BOSQUES Y ARBOLES URBANOS	27
7.4.1 BENEFICIOS AMBIENTALES	27
7.4.2 BENEFICIOS ECONÓMICOS	30
7.4.3 BENEFICIOS SOCIALES	31
7.5 TÉCNICAS DE CUANTIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS AMBIENTALES	32
7.6 VALOR MONETARIO DE LOS CONTAMINANTES	33
7.7 MODELOS PARA LA CUANTIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS AMBIENTALES	34
7.7.1 ¿QUÉ ES EL CITYGREEN?	34
7.7.1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL	34
7.7.1.2 ¿CÓMO FUNCIONA?	35
7.7.1.3 ¿QUÉ HACE?	35
7.7.2 ¿QUE ES EL I-TREE TOOLS?	37

7.7.2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL	37
7.7.2.3 ¿CÓMO FUNCIONA?	37
7.7.2.4 ¿QUÉ HACE?	37
<u>8. AREA DE ESTUDIO LOCALIDAD PUENTE ARANDA</u>	39
8.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA	40
8.3 CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA	41
8.4 CLIMA	41
8.5 PROBLEMAS AMBIENTALES	42
<u>9. METODOLOGIA</u>	43
9.1 ASPECTOS GENERALES	43
9.2 FASE I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	44
9.3 FASE II: RECOLECCIÓN DE DATOS	45
9.4 FASE III: ORGANIZACIÓN Y MODIFICACIÓN DE DATOS	46
9.5 FASE IV: MODELACIÓN	50
9.6 FASE V: ANÁLISIS	51
<u>10. RESULTADOS</u>	52
10.1 VARIABLES Y PROCEDIMIENTOS PRINCIPALES DEL CITYGREEN, I-TREE TOOLS ECO Y I-TREE TOOLS STREETS.	52
10.1.1 MODELO <i>CITYGREEN</i>	52
10.1.2 MODELO <i>I-TREE TOOLS ECO</i>	59
10.1.3 MODULO <i>I-TREE TOOLS STREETS</i>	61
10.2 HOMOLOGACIÓN DE VARIABLES	64
10.2.1. INFORMACIÓN LOCALIDAD PUENTE ARANDA	64
10.2.2 <i>CITYGREEN</i> -PUENTE ARANDA	65
10.2.3 <i>I-TREE TOOLS ECO</i> – PUENTE ARANDA	69
10.2.4. <i>I-TREE TOOLS STREETS</i> -PUENTE ARANDA	72
<u>11. DISCUSIÓN</u>	75
11.1 VARIABLES, INDICADORES Y PROCEDIMIENTOS DE LOS MODELOS	75
11.1.1 <i>CITYGREEN</i>	75
11.1.2 <i>I-TREE TOOLS ECO</i>	76
11.1.3 <i>I-TREE TOOLS STREETS</i>	77

11.2 INFORMACIÓN LOCALIDAD PUENTE ARANDA	78
11.3 <i>HOMOLOGACIÓN DE VARIABLES</i>	79
11.3.1 <i>CITYGREEN</i> -PUENTE ARANDA	79
11.3.2 <i>I-TREE TOOLS ECO</i> -PUENTE ARANDA	80
11.3.3 <i>I-TREE TOOLS STREETS</i> -PUENTE ARANDA	81
11.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS MODELOS	83
11.4.1 <i>CITYGREEN</i>	83
11.4.2 <i>I-TREE TOOLS ECO Y STREETS</i>	84
11.5 AJUSTES Y REQUERIMIENTOS DE LOS MODELOS	85
12. CONCLUSIONES	87
13. RECOMENDACIONES	88
14. ANEXOS	89
14. BIBLIOGRAFÍA	94

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Funciones reguladoras: Bienes y Servicios Ecosistemicos asociados	24
Tabla 2 : Funciones De Hábitat. Bienes y servicios ecosistemicos asociados	25
Tabla 3: Funciones de Producción. Bienes y servicios ecosistemicos asociados.	26
Tabla 4: Funciones de Información. Bienes y servicios asociados.	26
Tabla 5: Valores de 1ton/acre de los diferentes contaminantes atmosféricos.	34
Tabla 6: Concentraciones utilizadas por contaminantes Atmosféricos	47
Tabla 7: Mediciones de precipitación	47
Tabla 8: Proceso de modificación de capas de información	48
Tabla 9: Información del área de estudio. I-Tree Tools Streets	49
Tabla 10: Módulos, variables y procedimientos involucrados en el análisis realizado por el CITYgreen	52
Tabla 11: Módulos, variables y procedimientos involucrados en el análisis realizado por el i-Tree Tools ECO59	59

Tabla 12: Módulos, variables y procedimientos involucrados en el análisis realizado por el i-Tree Tools Streets	
	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 13: Resumen variables principales de los modelos de cuantificación de servicios ambientales.	63
Tabla 14: Información de Fuentes de Información. Localidad de Puente Aranda	64
Tabla 15: Aplicabilidad de variables del CITYgreen a Puente Aranda.	65
Tabla 16: Aplicabilidad de variables del i-Tree Tools ECO a Puente Aranda	69
Tabla 17: Aplicabilidad de variables del i-Tree Tools Streets a Puente Aranda	72

1. RESUMEN

Los árboles y bosques urbanos son un elemento fundamental en el ambiente de una ciudad pues brindan diversos beneficios de carácter ambiental, estético, paisajístico, recreativo, social y económico. Muchas veces, esos servicios se ven subestimados pues se perciben como intangibles por la sociedad y terminan siendo dejados a un lado en el momento de tomar decisiones acerca del manejo y planeación de la ciudad. Además, existe un vacío en la información acerca de lo que realmente pueden llegar a ofrecer estos árboles y bosques, ya que no hay muchas investigaciones al respecto y todavía no hay herramientas bien definidas y fundamentadas para su correcta cuantificación.

En algunos países, como Estados Unidos, se están creando modelos para tratar de entender y cuantificar adecuadamente estos servicios y así aprovecharlos al máximo. Es por eso importante, poder llegar a validar estas herramientas existentes y así poder entender el valor real de estos ecosistemas urbanos en las diferentes regiones ecológicas del planeta. El presente trabajo tuvo como objetivo principal confrontar la aplicabilidad de las variables utilizadas por los modelos *CITYgreen*, *i-Tree Tools ECO* Y *i-Tree Tools Streets*, como herramientas para cuantificar los servicios ecosistémicos prestados por los árboles y bosques urbano. Para esto, se realizó una revisión bibliográfica y una confrontación, con un estudio de caso, con el fin de identificar las variables, indicadores y procedimientos que estos modelos utilizan para poder realizar su análisis.

La confrontación demostró, que los modelos analizados son realmente específicos en la metodología que utilizan y por lo tanto los procedimientos en los que están basados no son pertinentes para regiones tropicales. Por lo tanto, es necesario profundizar más en este tipo de modelos, para así realizar los ajustes necesarios y poder llegar a tener un modelo completamente adecuado para las características específicas de cada región.

Palabras Claves: *CITYgreen*, *i-Tree Tools*, *Bosques urbanos*, *Bienes y servicios ecosistémicos*, *modelos de cuantificación*.

2. INTRODUCCION

Por lo general, las ciudades han sido pensadas como el espacio inverso a lo natural, sin embargo, hoy en día, son reconocidas como el espacio ambiental más amigable para sostener la vida humana. En Agosto del 2002, un artículo especial en el *New York Times* reportó que el número de mega ciudades en el mundo se elevaría de 20 a 36 para el 2015. Este patrón da esperanzas para intentar equilibrar las necesidades de las personas con las habilidades del medio natural para poder suplirlas (Urban Forests. 2005). Pero, para poder lograr esto, es importante tener en cuenta la relación que existe entre que tan “verde” es una ciudad y su capacidad para mitigar los efectos de las actividades humanas sobre el ambiente.

Gracias a la capacidad de los árboles de servir como estructuras de manejo de aguas lluvias/escorrentía, como purificadores de agua y como reguladores del aire y del clima, se convierten en activos de las ciudades que les permiten reducir los costos de manejo de los procesos que se llevan a cabo en ellas y de su infraestructura (Tovar, C, G.2006).

Las ciudades más “verdes” son por lo general, más eficientes en términos de calidad de agua, aire, energía y salud pública. Por lo tanto, puede decirse, que los árboles son productores de servicios ecosistemicos, ya que están involucrados y facilitan los procesos que se llevan a cabo en el ecosistema urbano (Urban Forests. 2005). Estos servicios ecosistemicos, que rara vez son tomados en cuenta por los proyectos de planeación y desarrollo urbano, representan un sinfín de beneficios para las ciudades y representan el equilibrio entre la “infraestructura gris” (edificios, calles, etc.) y la “infraestructura verde” (Urban Forests. 2005).

El gran problema surge entonces, cuando la planeación urbana pretende extender el desarrollo y siente que la “infraestructura verde” no lo permite, reemplazando entonces estos servicios que son prestados sin ningún costo por los árboles, por estructuras que generaran gastos extras para la ciudad (Tovar, C, G.2006; Urban Forests. 2005).

El reto es entonces, construir y mantener ciudades con infraestructuras verdes sanas y adecuadas que ofrezcan a sus habitantes una calidad de vida adecuada (Tovar, C, G.2006; Urban Forests. 2005).

3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Las ciudades son consideradas como sistemas complejos en donde se presentan distintos tipos de interacciones, entre las cuales se encuentran las interacciones entre las diferentes infraestructuras y los árboles y bosques presentes (Leal del Castillo, 2004).

Los árboles prestan una gran cantidad de servicios dentro del entorno en el cual se encuentran; en el caso particular de la ciudad el comportamiento de estos varía, pues dependen de los elementos que los rodean (Nowak, D, et al. 2002).

Estos servicios tienen un impacto significativo en la salud humana y del entorno. Desafortunadamente hay muy poca información y datos precisos acerca de su estructura, salud, funciones y cambios a largo plazo, además de desconocimiento de las diferentes herramientas utilizadas para la adecuada evaluación y cuantificación de los beneficios que pueden ofrecer (Nowak, D, et al. 2002).

Esta falta de conocimiento, hace que los planes de desarrollo y manejo con respecto a este recurso sean inadecuados, causando una disminución cada vez mayor del área de bosque dentro de las ciudades. Esto a su vez, hace que los beneficios que se están obteniendo de estos recursos sean solo una fracción de lo que podrían ser, e incluso permite, que en algunos casos los costos de mantenimiento de estos árboles y bosques sean mucho más altos de lo necesario (John F. Dwyer, et al.1992).

En algunos países, como Estados Unidos, se están implementando diferentes herramientas y alternativas para facilitar a los encargados del manejo y planeación urbana, la evaluación y cuantificación de los servicios prestados por árboles y bosques urbanos. Sin embargo, los parámetros y variables que estas herramientas tienen en cuenta para su análisis, no se aplican de la misma manera en los diferentes lugares, ya que las condiciones varían de un lugar a otro. Es por eso necesario realizar una validación del funcionamiento de estas herramientas, para así identificar los ajustes requeridos por cada variable y parámetro dependiendo del lugar y así poder aprovecharlas al máximo. (Nowak, D, et al. 2002)

4. JUSTIFICACIÓN

Con un adecuado manejo y una planeación acertada, los árboles y bosques urbanos proveerán un amplio rango de beneficios a las ciudades, transformándolas en un ambiente más sano, agradable y saludable para vivir y trabajar (John F. Dwyer, et al.1992). Pero, para poder alcanzar esto, es necesario que los proyectos de manejo y planeación urbana comiencen a considerar los servicios y beneficios que los árboles proveen a la comunidad (IDU et al, 2004.).

Uno de los problemas de los proyectos de planeación urbana, es que debido a las valoraciones subjetivas (John F. Dwyer, et al.1992), los servicios y beneficios ecosistémicos que los árboles y bosques proveen han sido subestimados ((A)Alcaldía Mayor de Bogotá & JBB. 2007). Esta falta de estudios científicos y de información adecuada y precisa, resalta la necesidad de encontrar herramientas que permitan hacer una evaluación completa de estos servicios, para utilizarlos adecuadamente y llegar a maximizar sus beneficios ,tanto para la sociedad como para el entorno natural (John F. Dwyer, et al.1992).

Por lo tanto, el desarrollo en nuestras ciudades, no debe enfocarse en el incremento de infraestructura y en la disminución de árboles y bosques urbanos. Por el contrario, es momento de considerar este recurso como una parte importante del gran ecosistema urbano ((A) American Forests 2009; Tovar, C, G.2006;).

En la actualidad existen varias herramientas o modelos, que buscan identificar y cuantificar estos servicios, para así tener una información adecuada sobre ellos. Existen el *i-Tree Tools* (Servicio Forestal de Estados Unidos); el *UFORE* (Servicio Forestal de Estados Unidos y Departamento de Agricultura de Estados Unidos); El *CITYgreen* (American Forests) entre otros.

Aunque estos modelos ya han sido aplicados en los países donde fueron creados, es necesario entender adecuadamente su funcionamiento (variables importantes, parámetros guías, datos necesarios, etc.), para poder realizar los ajustes necesarios con respecto a las necesidades específicas de cada país y así obtener datos con un mayor nivel de certeza y confiabilidad y así poder realizar planes de manejo adecuados para cada necesidad (Nowak, D, et al. 2002).

En Colombia, y más específicamente en Bogotá, el tema de los servicios ecosistémicos ha sido tratado por varias organizaciones e instituciones. Con el fin de planificar y fomentar la silvicultura urbana, y como resultado de una investigación de varios años en el tema de servicios generados por los árboles y bosques urbanos, el Jardín Botánico José Celestino ha generado el *Manual de Silvicultura Urbana*, que contiene “una lista de especies adecuadas para la ciudad (derivada de los servicios que estas especies generan), unos lineamientos técnicos para su siembra y mantenimiento y un diseño y planeación preliminar de una estrategia de trabajo interinstitucional” (JBB,2008).

Este manual es un primer acercamiento a las necesidades del arbolado urbano y su realización pone en evidencia y “justifica la necesidad de hacer un seguimiento detallado del arbolado urbano con el fin de adquirir un buen nivel de conocimiento sobre el comportamiento de las especies en los diferentes espacios y condiciones, permitiendo optimizar a mediano y largo plazo la planeación de la Silvicultura Urbana y hacer los ajustes necesarios orientados a minimizar los costos ambientales y optimizar los beneficios ecosistémicos generados por este tipo de vegetación” (JBB,2008).

La Secretaría Distrital del Medio Ambiente, con sus diferentes dependencias busca incentivar y mejorar la investigación e información acerca de los diferentes espacios y ecosistemas urbanos para así tomar decisiones cada vez más acertadas sobre su planeación y manejo. También es el encargado del diseño de los formatos básicos para la recolección de datos sobre el arbolado y la vegetación urbana, en donde las características involucradas permiten hacer una evaluación sobre el estado general de los árboles de la ciudad. Esta evaluación permite entonces generar estudios acerca de los servicios generados por el arbolado urbano de acuerdo a su estado en el momento de la toma de datos.

A nivel internacional y con el fin de entender y lograr tener un equilibrio entre la infraestructura de la ciudad y los árboles y bosques urbanos, la Institución American Forests, ha desarrollado el *CITYgreen*. Con él, ha realizado Análisis de ecosistemas urbanos en más de 40 ciudades de Estados Unidos y algunas ciudades de México, durante los últimos 5 años. Ha distribuido alrededor de 700 copias del software con el objetivo de incentivar a las comunidades a utilizar los datos de sus ciudades para poder calcular los beneficios de sus bosques con fines de planeamiento territorial ((A) American Forests 2009.). Se ha involucrado en la educación básica y profesional con el fin de proveer a los estudiantes y jóvenes una experiencia real acerca de los problemas que se presentan en el mundo en el que viven. ((D) American Forests 2009).

Por otro lado el Servicio Forestal de Estados Unidos, en conjunto con otras entidades, desarrollo el *i-Tree Tools*, un modelo similar al *CITYgreen*, con el fin de proveer herramientas para el análisis de ecosistemas urbanos y cuantificación de los servicios ecosistémicos prestados por estos. Provee información detallada y útil para alimentar los planes de manejo y planeación urbana, para tomar decisiones adecuadas acerca del futuro de una ciudad y bases para poder realizar comparaciones con diferentes comunidades y así entender los puntos a mejorar (I-Tree Tools. 2010).

Desde su lanzamiento en el 2006, numerosas comunidades, organizaciones, empresas de consultorías, voluntarios y estudiantes han utilizado el *i-Tree Tools* para informar acerca de árboles, parcelas y bosques urbanos en diferentes ciudades, vecindarios, regiones, etc. (I-Tree Tools. 2010).

Los usuarios del modelos, han descrito que el *i-Tree Tool* les permite “Entender la tangibilidad y localidad de los servicios ecosistémicos prestados por los arboles, y así relacionar actividades de manejo forestal con la calidad de vida de las ciudades”. El *i-Tree Tools* es de dominio público y de acceso gratuito, razones por las que se facilita su uso y distribución (I-Tree Tools. 2010).

Basado entonces en estos dos modelos, el *CITYgreen* y el *i-Tree Tools*, este trabajo pretende realizar un acercamiento a su funcionamiento, sus variables y parámetros, para poder así entenderlos y poder proponer los ajustes necesarios para obtener los beneficios que estas herramientas proveen a la comunidad.

Para poder alimentar los modelos adecuadamente, se escogió como área de estudio la localidad de Puente Aranda de la ciudad de Bogotá. Se escogió este lugar, ya que al ser el epicentro industrial de la ciudad, cuenta con bastante información sobre sus características ambientales y sociales ((A) Alcaldía Mayor de Bogotá & JBB. 2007). También se utilizaron los datos arrojados por el Censo del Arbolado Urbano, realizado por el Jardín Botánico de Bogotá en el 2007.

5. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

5.1 *Pregunta General*

¿Es adecuado utilizar los resultados obtenidos a través de la utilización de algunos modelos, tales como el *CITYgreen* o el *i-Tree Tools*, a la hora de realizar una cuantificación de los servicios ecosistémicos prestados por los árboles y bosques urbanos Bogotanos?

5.2 *Preguntas Específicas*

1. ¿Qué variables y parámetros tienen en cuenta el *CITYgreen*, el *i-Tree Tools ECO* y el *i-Tree Tools Streets* durante el análisis que realizan en cuanto a cuantificación de bienes y ecosistémicos que proveen los árboles urbanos?
2. ¿Cómo son definidos estas variables y parámetros?
3. ¿Qué ajustes requieren para su correcta aplicación en el área de estudio específica?

6. OBJETIVOS

6.1 *Objetivo General*

Confrontar la aplicabilidad, con un estudio de caso, de los modelos *CITYgreen*, el *i-Tree Tools ECO* y el *i-Tree Tools Streets*, como herramientas de cuantificación de servicios ecosistémicos de la vegetación urbana de Bogotá.

6.2 *Objetivos Específicos*

- 1) Identificar las variables y procedimientos que constituyen los modelos *CITYgreen*, el *i-Tree Tools ECO* y el *i-Tree Tools Streets*, utilizados para la cuantificación de servicios ecosistémicos que proveen los árboles y bosques urbanos

- 2) Validar, con un estudio de caso, la aplicabilidad de las variables utilizadas por el *CITYgreen*, el *i-Tree Tools ECO* y el *i-Tree Tools Streets*, para realizar la cuantificación de los servicios ecosistémicos que proveen los árboles y bosques urbanos
- 3) Identificar las ventajas y desventajas de los modelos analizados.
- 4) Determinar los ajustes requeridos por los modelos para su correcta aplicación en el área de estudio

7. MARCO DE REFERENCIA

7.1 Conceptos Básicos

Árbol: "Planta leñosa de gran tamaño, con un tronco principal bien definido, denominado fuste, que sostiene la copa más o menos bien formada según la arquitectura de la especie, cuya altura no sea inferior a tres (3) metros, medidos desde el nivel del suelo y un diámetro no menor a 5 centímetros."((B) Alcaldía Mayor de Bogotá & JBB.2007).

Arbolado urbano:"Conjunto de plantas de las especies correspondientes a los biotipos: árbol, arbusto, palma o helecho arborescente, ubicados en suelo urbano" ((B) Alcaldía Mayor de Bogotá & JBB.2007).

Bosques urbanos: "Área dentro o alrededor de los lugares donde vivimos que tiene o puede llegar a tener arboles. Parques, andenes, espacios abiertos, espacios residenciales, áreas privadas y públicas con vegetación, en conjunto forman un bosque urbano. Incluye los límites entre ciudades y otros poblados más pequeños". (Coder D Rim.1996.)

Infraestructura urbana: relativo a las estructuras que prestan un servicio al medio urbano (ej: vías, líneas eléctricas y telefónicas, etc.). ((B) Alcaldía Mayor de Bogotá & JBB.2007).

Modelo: "Esquema teórico, generalmente en forma matemática, de un sistema o de una realidad compleja, que se elabora para facilitar su comprensión y el estudio de su comportamiento" (Linares P,et al.2001).

SIG: "Un sistema de información geográfica (SIG) es una agrupación entre hardware, software y datos que permite capturar, integrar, analizar y mostrar todo tipo de información geográfica georeferenciada" (ESRI 2009). Los SIG, nos permiten visualizar, entender e interpretar datos en muchas formas, que demuestran diferentes relaciones, patrones y tendencias, en forma de mapas, reportes y tablas. Nos permite también responder preguntas y problemas tan solo mirando nuestros datos en una forma mucho más fácil de analizar (ESRI 2009).

Silvicultura urbana: "El manejo de los árboles para su contribución al bienestar fisiológico, sociológico y económico de la sociedad urbana. Tiene que ver con los bosques, otras agrupaciones menores de árboles, y los árboles individuales presentes allí donde vive la gente. Esto tiene muchas facetas, porque las áreas urbanas abarcan una gran diversidad de hábitats (calles, parques, rincones abandonados, etc.), en los cuales los árboles producen una gran variedad de beneficios y de problemas" (Carter 1993, en Wania 1998).

7.2 El Ecosistema Urbano

La ciudad, es el resultado de las alteraciones provocadas por el hombre al ambiente natural como consecuencia de la concentración de sus viviendas y de las actividades de intercambio, servicios, utilización y transformación de los recursos naturales para su beneficio. Aunque existe una ruptura del equilibrio natural, se debe tener en cuenta que el hombre, al transformar el medio, está creando para sí un hábitat nuevo, un nuevo ecosistema: el ecosistema urbano (Nacif, 1992 en Wania 1998).

Se debe cambiar la concepción de que el concepto medio ambiente hace referencia exclusivamente a la naturaleza; medio ambiente es también la ciudad. No se debe dissociar lo urbano de lo ambiental, especialmente si tenemos en cuenta los desequilibrios que las acciones del hombre provocan en el medio natural en que se asienta la ciudad (Wania, C.1997).

Los problemas sociales y ambientales están interrelacionados íntimamente (mala ocupación del suelo, disposición de desechos sólidos, alcantarillado, agua potable, etc.), y deben ser solucionados conjuntamente. Los desequilibrios ecológicos asociados, como la contaminación del agua y aire, el ruido, la falta de áreas verdes, etc., afectan a toda la comunidad y deterioran la calidad de vida de la población (Wania, C.1997).

La ciudad es un socio-ecosistema integrado, en el que interactúan en forma interdependiente los distintos componentes bióticos (organismos vivos como los animales, plantas, insectos, etc.) con los abióticos (el suelo, agua, aire). Estos procesos naturales, a su vez, se interrelacionan con el componente humano-social (Murray, 1995 en Wania, C.1997).

Por lo tanto, para realizar una planificación y gestión urbana adecuadas, hay que empezar por considerar y entender el ecosistema de la ciudad, buscar las interrelaciones y considerar sus diversidades y su dinámica y tener en cuenta que la intervención sobre una parte del mismo afectará a todo el sistema. Esto nos ayudará a conocer las causas de los problemas, a plantear las estrategias de solución adecuadas y a ejecutar las acciones de una manera más exitosa (Wania, C.1997).

7.3 Bienes y Servicios Ecosistemicos

7.3.1 Antecedentes

Nivel Internacional

Los paisajes, jardines y la vegetación urbana como tal, han jugado siempre un papel importante en el entorno social. Con solo nombrar los tranquilos paisajes Asiáticos, los grandes paisajes Ingleses y los bulevares de Paris y New York podemos darnos cuenta como la vegetación urbana ha sido una

base para el desarrollo y viabilidad de países y ciudades. Esto hace que muchas personas valoren sus paisajes, cada uno por diferentes razones (Gordon, A, Bradley.1995).

En los últimos años, el interés por el “entorno urbano” ha crecido al punto de generar nuevos enfoques para poder trabajar con la vegetación urbana. En Estados Unidos, por lo menos hace dos décadas, la Unión Internacional de Organizaciones para la Investigación Forestal (*IUFORE*) creó un proyecto en Arboricultura y Forestería Urbana e invito a un grupo de científicos interesados en el tema a discutir sobre el tema de “árboles y bosques para el asentamiento humano”. Durante este periodo en Canadá, también se vio un surgimiento de programas de Forestería Urbana en diferentes universidades e instituciones educativas (Gordon, A, Bradley.1995).

Además, diferentes organizaciones fueron creadas o expandidas, para poder atender esas necesidades desde una perspectiva científica y en pro del desarrollo de la comunidad. Dentro de estas organizaciones existen algunas muy localizadas, como *Los Angeles Tree People* y *Sacramento Tree Foundation*; otras a nivel estatal, como el *Washington State's Urban and Community Forest Council* y algunas a nivel nacional como el *American Forest Urban Forestry Programme*, el *US Forest Service's Urban Forestry Research Units* y el *USDA* (Departamento de agricultura de Estados Unidos) (Gordon, A, Bradley.1995).

A nivel ya mundial, la *FAO* (Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación), *NRCS* (Servicio de conservación para los recursos naturales), *WRI* (Instituto mundial de recursos), *WWF* (Fundación mundial para vida salvaje), *EPA* (Agencia de protección ambiental) entre otras, han desarrollado programas con el fin de promover el uso adecuado de los árboles y bosques, demostrando los servicios y beneficios que estos recursos pueden ofrecer (Gordon, A, Bradley.1995).

El enfoque de dichas prácticas varía, pero hay un acuerdo en que los árboles deben ser considerados dentro del contexto de los bosques urbanos y los bosques urbanos deben ser considerados dentro del contexto del diseño urbano. Esto incluye no solo las realidades físicas, biológicas, químicas, de este diseño, sino también algunos factores institucionales que pueden influir en este diseño urbano. Esta visión completa es necesaria si queremos lograr entender completamente los beneficios que fluyen desde los bosques urbanos y como producirlos y explotarlos de una forma más efectiva. Es por esto, que la noción de árboles como individuos ha sido reemplazada por un entendimiento más completo sobre el concepto de bosques urbanos y ecosistemas urbanos (Gordon, A, Bradley.1995; i-Tree Tools. 2010).

Nivel Nacional

A nivel nacional, con la ratificación de la declaración de Río de 1992, Colombia se comprometió a “Analizar de forma integral sus bienes y servicios ecosistémicos” (Baptiste & Piñeros 2006).

Dentro de los planes de desarrollo regionales se encuentra establecida “la importancia de identificar e incorporar los beneficios que se derivan de los ecosistemas en el desarrollo regional” (SINCHI 2005 en Baptiste & Piñeros 2006) es decir los bienes y servicios ecosistémicos. Dentro de las PGAR (Plan de Gestión Ambiental Regional) de las corporaciones Autónomas regionales se insiste en la necesidad “de considerar las dinámicas entre la oferta y demanda de bienes y servicios ecosistémicos” (Baptiste & Piñeros, 2006).

Instituciones como el Instituto de Investigación de recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, que mediante su programa de Uso y Valoración “adelantan acciones que permitan identificar nuevos productos y servicios derivados de la biodiversidad y su relación con los sistemas productivos, así como evaluar los costos y beneficios (tangibles e intangibles) asociados con el uso de la biodiversidad y con su distribución en la sociedad colombiana” (IAvH,2007) ;El Ministerio de Comercio , Industria y Turismo , el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y La Alcaldía de Bogotá han involucrado en sus agendas el tema de los servicios ambientales, su definición y manejo. Por último el Jardín Botánico de Bogotá, con su Sistema de Gestión del arbolado urbano (donde se encuentran el censo y el plan local de arborización urbana) ha aportado a la generar consciencia acerca de la importancia de estos conceptos y estudios (JBB,2009).

7.3.2 Concepto o Definición de Servicios Ecosistémicos

El entendimiento de la estrecha relación entre el ambiente que nos rodea y el bienestar humano data al menos de 2,400 años (Mooney & Ehrlich 1987 en Balvanera & Helena, 2007). Las primeras referencias al respecto se encuentran en los textos de Platón, las cuales se retoman en los textos de culturas orientales como el budismo o el taoísmo y forman parte esencial del bagaje cultural de los grupos indígenas de Mesoamérica así como de los naturalistas de siglo XVIII.

El concepto de “servicios” ofrecidos por los ecosistemas hacia las poblaciones humanas surge a consecuencia del movimiento ambientalista de finales de los años 60 (Mooney y Ehrlich 1987 en Balvanera & Helena, 2007). En esta época se hace evidente la crisis ambiental y se inician cuestionamientos acerca de los impactos severos en la capacidad del planeta para mantenerse y producir suficientes bienes para ser consumidos por las poblaciones humanas. Junto con una lista de los problemas ambientales más urgentes, surge la primera relación de servicios ecosistémicos que se proveen a las sociedades, en un esfuerzo por comunicar a los tomadores de decisiones y al público en general acerca del estrecho vínculo entre el bienestar humano y el mantenimiento de las funciones básicas del planeta (Balvanera & Helena, 2007).

Los términos “servicios ecosistémicos” y “servicios ambientales” pueden ser utilizados indistintamente, aunque difieren en su contexto. Cuando usamos el primero queremos enfatizar el hecho de que es el ecosistema, es decir el conjunto de organismos, condiciones abióticas y sus interacciones, es el que permite que los seres humanos se vean beneficiados. En cambio el término “servicios ambientales” se ha utilizado principalmente entre tomadores de decisiones y otorga más peso al concepto de “ambiente” o “medio ambiente” en el cual no se enfatiza en las interacciones

necesarias para proveer dichos servicios. A la fecha existen múltiples definiciones del término "servicios" (Daily G, C.1997).

De acuerdo con Gretchen Daily (Daily G, C 1997) "Los servicios son las condiciones y procesos a través de los cuales los ecosistemas naturales y las especies que los conforman, sostienen y nutren a la vida humana". Esta definición pone énfasis en las condiciones biofísicas cambiantes dentro de los ecosistemas así como en las interacciones (procesos) entre éstas y sus componentes bióticos (especies). Rudolf de Groot (De Groot et al. 2002) comparte esta perspectiva ecosistémica y considera que en el estudio de los servicios es necesario destacar el subconjunto de funciones del ecosistema que están estrechamente relacionadas con la capacidad de aquello que satisface directa o indirectamente las necesidades de las poblaciones humanas. El Millennium Ecosystem Assessment (MEA 2005), define a los servicios como "todos los beneficios que las poblaciones humanas obtienen de los ecosistemas". Esta es una definición mucho más sencilla y permite tener un impacto más claro y directo sobre los tomadores de decisiones. Sin embargo, no permite hacer una distinción explícita entre lo que sucede en los ecosistemas y aquello que beneficia a las poblaciones humanas. Por eso, Boyd y Banzhaf (Boyd y Banzhaf 2007) sugieren definir a los servicios como los componentes de la naturaleza que son directamente consumidos, disfrutados o que contribuyen al bienestar humano.

En síntesis, el concepto de servicios ecosistémicos permite hacer un vínculo explícito entre el estado y funcionamiento de los ecosistemas y el bienestar humano. Esta relación puede ser directa o indirecta, y los seres humanos pueden o no estar conscientes de su existencia.

Para la siguiente tesis, tomaré el concepto de Rudolf De Groot (2002). Para este autor, es importante que el primer paso para hacer una definición adecuada de los bienes y servicios ecosistémicos, consista en traducir /convertir la complejidad ecológica (estructuras y procesos), en un número reducido y manejable de funciones ecosistémicas, que a su vez proveen bienes y servicios ecosistémicos que son valorados por los seres humanos.

Aunque el término "funciones ecosistémicas" tiene más de un significado, para este estudio se tomara como "la capacidad de procesos y componentes naturales para proveer bienes y servicios ambientales, que satisfacen las necesidades humanas, directa o indirectamente" (DeGroot 1992 en DeGroot 2002; Constanza et al, 1997). Teniendo esta definición, las funciones ecosistémicas son consideradas un sub grupo de los procesos ecológicos y las estructuras ecosistémicas. Cada función, es el resultado de un proceso natural del sistema ecológico del que es parte. Los procesos naturales son el resultado de interacciones entre componentes bióticos y abióticos de los ecosistemas. La figura 1, resume los conceptos mencionados anteriormente.

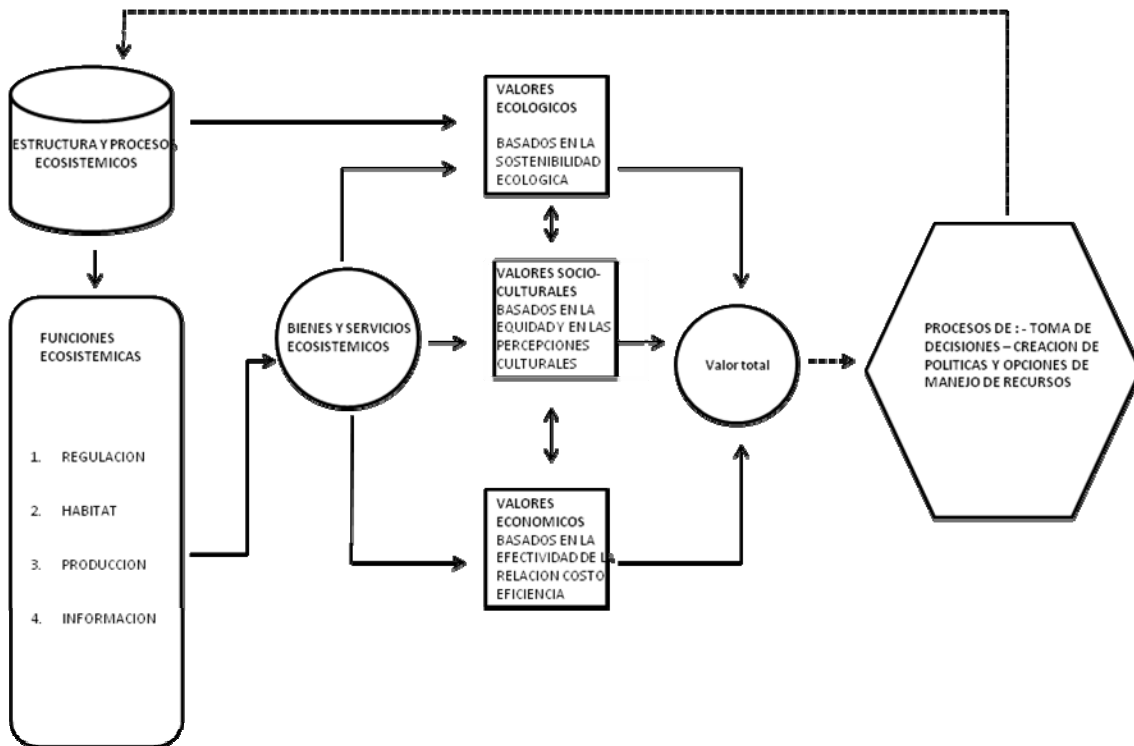


Figura 1: Recuadro de los conceptos sobre funciones, servicios y bienes ecosistémicos. (De Groot, 2002)

Las funciones ecosistémicas, se pueden dividir en 4 categorías: (DeGroot et al, 2000, en DeGroot 2002; MEA 2005)

Funciones Reguladoras: Este grupo hace referencia a la capacidad de los sistemas naturales y “seminaturales” para regular procesos ecológicos y para dar soporte a los sistemas de vida, a través de ciclos biogeoquímicos y procesos en la biosfera. A parte de mantener la salud de los ecosistemas y de los seres vivos, estas funciones reguladoras proveen muchos servicios que benefician tanto directa como indirectamente a la humanidad. Entre estos servicios están: limpieza de aire, agua, suelo y controles biológicos (DeGroot et al, 2000, en DeGroot 2002; MEA 2005; Constanza et al, 1997).

Funciones de Hábitat: Los ecosistemas naturales y eventualmente los artificiales proveen refugio y ambiente de reproducción propicio para fauna y flora y por lo tanto contribuyen a la conservación de diversidad biológica y genética, y a los procesos de evolución (DeGroot et al, 2000, en DeGroot 2002; MEA 2005; Constanza et al, 1997).

Funciones de producción: La fotosíntesis y el proceso de adquisición de nutrientes realizada por los organismos autótrofos convierten la energía, el dióxido de carbono, el agua y los nutrientes en estructuras que después son usadas por los productores secundarios para crear una variedad aún más grande de biomasa viva. Esta variedad de estructuras de carbono proveen varios bienes para

el consumo humano. Estos bienes van desde alimentos y materia prima, hasta recursos energéticos y material genético (DeGroot et al, 2000, en DeGroot 2002; MEA 2005; Constanza et al, 1997).

Función de Información Recreación/Cultural.: Ya que la mayor parte de la evolución del hombre, tuvo lugar en un contexto con un hábitat "no domesticado", "salvaje", los ecosistemas naturales proveen una "función de referencia" y contribuyen mantener la salud humana a través de oportunidades y espacios de reflexión, enriquecimiento espiritual, desarrollo cognitivo y experiencias con la estética ((DeGroot et al, 2000, en DeGroot 2002; MEA 2005; Constanza et al, 1997).

Una vez las funciones de un ecosistema son identificadas, la naturaleza y la magnitud del valor de estas para el hombre/la sociedad pueden ser analizadas a través de los bienes y servicios provistos por los aspectos funcionales del ecosistema. Por lo tanto, la definición de funciones ecosistémicas nos da las bases empíricas para la clasificación de los bienes y servicios ambientales que son potencialmente útiles para el hombre. Así que cuando el valor que el hombre agrega ya está implícito, el concepto de funciones ecosistémicas se re conceptualiza y pasa a ser el mismo de bienes y servicios ecosistémicos. (De Groot, 2002)

7.3.3 FUNCIONES, BIENES Y SERVICIOS ECOSISTEMICOS.

Funciones reguladoras y servicios ecosistémicos asociados:

Los ecosistemas juegan un papel esencial en la regulación y mantenimiento de los procesos ecológicos y en el mantenimiento de los sistemas de vida. El mantenimiento de la biosfera, cómo único sistema de soporte de los seres humanos depende de un delicado balance entre muchos procesos ecológicos (De Groot Rudolf, et al.2002; Constanza et al.1997; IDU et al, 2004.)

Algunos de los procesos más importantes incluyen la transformación de energía, principalmente de la radiación solar en biomasa (producción primaria); el almacenamiento y transferencia de minerales y de energía en las cadenas alimenticias (producción secundaria); los ciclos biogeoquímicos; la mineralización de materia orgánica en la tierra y en sedimentos y la regulación de los sistemas climáticos. A su vez estos procesos están regulados por la interacción de factores abióticos, como el clima, con diferentes organismos a través de mecanismos de control y evolución (De Groot Rudolf, et al.2002; Constanza et al.1997). Por lo tanto, esta función, depende de varios procesos y a su vez, estos procesos proveen varios bienes y servicios a la comunidad y al entorno.

La tabla 1 muestra un resumen de estas funciones, procesos y bienes y servicios asociados a las funciones reguladoras.

Tabla 1: Funciones reguladoras: Bienes y Servicios Ecosistemicos asociados

Funciones	Procesos y componentes ecosistemicos	Bienes y servicios, ej.
1. Regulación de Gases	Rol del ecosistema en ciclos biogeoquímicos , tales como balance de CO ₂ /O ₂ ,capa de ozono, SO _x , etc.	1.1- Protección de UVB gracias al O ₃ 1.2-Mantenimiento de una buena calidad del aire. 1.3-Influencia en el clima (Ver función 2.
2. Regulación del clima	Influencia en la cobertura vegetal y en los procesos biológicos.	Mantenimiento de un clima favorable (Temperatura, precipitación, etc.)
3. Regulación de Disturbios.	Capacidad de respuesta de los ecosistemas a las fluctuaciones del ambiente.	3.1- Protección contra tormentas 3.2- Control de inundaciones 3.3- Recuperación en sequías y otras respuestas a la variabilidad ambiental
4. Regulación Hídrica	Regulación de flujos hídricos (Rol de la cobertura para controlar la escorrentía y la cantidad de descargas a otros cuerpos de agua.)	4.1-Drenaje e irrigación natural 4.2- Medio de transporte
5. Provisión de agua	Filtración, retención y almacenamiento de agua fresca.	Provisión de agua apta para consumo (Tomar, irrigación de cultivos y uso industrial
6. Control de la erosión y retención de Sedimentos	Rol de las raíces y de la biota del suelo en su retención.	6.1- Mantenimiento de tierra arable 6.2- Prevención de daños a causa de la erosión.
7. Formación de tierra	Meteorización de las rocas y acumulación de la materia.	7.1- Mantenimiento de tierra arable y productiva 7.2- Mantenimiento de tierras naturales y productivas
8.Ciclaje de Nutrientes	Rol de la biota en el almacenamiento, reciclaje y procesamiento de nutrientes.	8.1- Fijación del nitrógeno, P, S. 8.2- Mantenimiento de tierras ye ecosistemas productivos.
9.Manejo de desechos	Rol de la vegetación y la biota en la "ruptura" y remoción de nutrientes y compuestos en exceso.	9.1- Control de la polución/desintoxicación 9.2- Filtración de partículas de polvo 9.3- Amortiguación de contaminación por ruido.
10.Polinisacion	Movimiento de los gametos de la vegetación gracias a la biota presente.	Provisión de diferentes polinizadores para mantener las comunidades vegetales. (Flora silvestre, cultivos)
11. Control biológico	Control de las poblaciones a través de relaciones entre las cadenas tróficas.	11.1- Control de pestes y enfermedades 11.2- Reducción de herbivoría y por lo tanto reducción de daños a cultivos.

Fuente: De Groot Rudolf, et al.2002; Constanza et al.1997

- Funciones de Hábitat y servicios ecosistemicos asociados:

Los ecosistemas naturales proveen un espacio de hábitat para todas las especies vegetales y animales. Al ser estas especies y su rol en los ecosistemas globales y regionales lo que provee la

mayoría de funciones descritas anteriormente, el mantenimiento de un hábitat saludable para ellas es una condición para la adecuada provisión de servicios y bienes ecosistémicos (De Groot Rudolf, et al.2002; Constanza et al.1997; IDU et al, 2004).

Esta función, sus procesos y los servicios y bienes asociados que ofrecen aparecen en la Tabla 2.

Tabla 2 : Funciones De Hábitat. Bienes y servicios ecosistémicos asociados

Funciones	Procesos y componentes ecosistémicos	Bienes y servicios .ej.
1. Función de refugio	Espacio adecuado para el hábitat de especies de flora y fauna.	Mantenimiento adecuado de ecosistemas.
2. Función de semillero, criadero	Hábitat adecuado para la reproducción de especies.	Caza, pesca, alimentos en general.

Fuente: De Groot Rudolf, et al.2002; Constanza et al.1997

- Funciones de producción y servicios ecosistémicos asociados:

Los ecosistemas naturales y seminaturales proveen muchos recursos. Estos van desde oxígeno, agua, comida, recursos médicos y genéticos, fuentes de energía y materiales para construcción y para la creación de ropa. Sin embargo, debe hacerse una diferenciación entre el uso de recursos bióticos (productos de plantas y animales) y recursos abióticos (minerales de la superficie terrestre, principalmente). Una diferencia importante entre los recursos bióticos y abióticos es su renovabilidad (De Groot Rudolf, et al.2002; Constanza et al.1997; IDU et al, 2004).

Generalmente hablando, los recursos bióticos son renovables, mientras la mayoría de recursos abióticos no lo son (aunque puede ser posible su reciclaje). En este caso, las funciones de producción están limitadas a los recursos renovables (De Groot Rudolf, et al.2002; Constanza et al.1997; IDU et al, 2004).

El ser humano ha aprendido a manipular la productividad de los ecosistemas para poder obtener mayor cantidad de ciertos recursos que la presentada en condiciones naturales. Si discutimos el papel que juegan estos recursos a las funciones de producción, debemos hacer otra diferenciación. Esta vez entre los productos que se obtienen directamente de la naturaleza, peces, madera, frutas, hojas, etc. y los productos de que obtienen del cultivo de plantas y animales. Para este caso, las funciones de producción están limitadas a la parte de producción primaria, que puede ser cultivada en una base sostenible y para la cual, las personas solo deben invertir el mínimo tiempo, trabajo y energía para obtener los bienes y servicios asociados.

La Tabla 3, muestra un resumen de los procesos y bienes y servicios asociados a esta función de producción.

Tabla 3: Funciones de Producción. Bienes y servicios ecosistemicos asociados.

Funciones	Procesos y componentes ecosistemicos	Bienes y servicios ej.
1.Alimento	Conversión de la energía solar en animales y plantas comestibles.	1.1- Construcción y manufacturación de elementos. 1.2. Combustible y energía 1.3- Forraje y fertilizantes
2. Materia Prima	Conversión de la energía solar en biomasa para la construcción y otros usos.	2.1- Mejora la resistencia de los cultivos a algunos patógenos y pestes. 2.2 – Otras aplicaciones
3.Recursos genéticos	Material genético y evolución en plantas y animales.	3.1-Productos farmacéuticos 3.2-Modelos y herramientas químicas. 3.3- Animales para pruebas.
4. Recursos medicinales	Variedad bioquímica y química de y otros usos medicinales de los recursos bióticos.	4.1- Remedios naturales.
5. Recursos de ornamentación	Variedad de biota en estado natural, con usos potenciales de ornamentación.	5.1- Recursos para joyería, artesanías, moda, decoración, regalos.

Fuente: De Groot Rudolf, et al.2002; Constanza et al.1997

- Funciones de Información y servicios ecosistemicos asociados:

Los ecosistemas naturales proveen ilimitadas oportunidades de crecimiento espiritual, desarrollo mental y ocio. La evolución del hombre ocurrió en su mayoría en ambientes “salvajes” y naturales, por lo tanto nuestra mente está ligada a experiencias en paisajes naturales. Por lo tanto, la naturaleza es una fuente de inspiración a nivel científico cultural y artístico y ofrece un sinfín de oportunidades de investigación, educación, diversión y aprendizaje (De Groot Rudolf, et al.2002; Constanza et al.1997; IDU et al, 2004).

La tabla 4, resume las diferentes funciones de información y los bienes y servicios ecosistemicos que de ellas surgen.

Tabla 4: Funciones de Información. Bienes y servicios asociados.

Funciones	Procesos y componentes ecosistemicos	Bienes y servicios, ej.
1.Información estética	Características del paisaje atractivas.	Paisajes agradables a la vista.
2. Recreación	Variedad de paisajes con uso potencial de recreación.	Viajar a ecosistemas naturales para realizar ecoturismo, deportes extremos y al aire

		libre, descanso.
3. Información cultural y artística	Variedad de características con valor científico o artístico	Uso de la naturaleza en libros, películas, pinturas, folklor, símbolos nacionales, etc.
4. Información espiritual e histórica	Variedad de características naturales con valor científico e histórico.	Utilizar la naturaleza con propósitos espirituales e históricos.
5. Ciencia y educación	Variedad de características naturales con valor científico y educacional.	Utilizar la naturaleza con fines educativos y de investigación (salidas de colegios, experimentos, etc)

Fuente: De Groot Rudolf, et al.2002; Constanza et al.1997

7.4 Beneficios de Bosques y Arboles Urbanos

Los árboles y bosques urbanos, proveen diferentes bienes y servicios, que pueden ser agrupados en 3 categorías principales (Coder D, 1996; JBB, 2008.):

- Beneficios Ambientales; Beneficios Económicos y Beneficios Sociales

7.4.1 Beneficios Ambientales

7.4.1.1 Temperatura y uso de energía

Los arboles pueden mitigar el fenómeno de "islas de calor", pues ayudan a disminuir la temperatura y brindan confort térmico gracias a la sombra que dan. También, disipan el calor a través de la evaporación y controlan las corrientes de aire responsables del calor (Coder, 1996; Burden, D. 2006).

- Sombra

En estudios realizados, se han podido tener los siguientes resultados. En lugares con árboles y/o bosques urbanos hay (Coder ,1996):

- Una sensación térmica de hasta 6°C menos;
- 27% de reducción en costos de acondicionamiento en verano;
- 50% de ahorro en energía gastada para el acondicionamiento de verano;
- Ahorro de \$242 por casa/por año en costos de acondicionamiento;
- Aumento del 5% de uso de energía eólica debajo de arboles siempre verdes;

- Control del viento

-Al disminuir en un 50% de la velocidad del viento, se disminuye en un 7% la energía utilizada para la calefacción y a su vez se disminuye el gasto anual en energía en \$50 por vivienda.

-Los vientos fríos en invierno producen una sensación térmica muy baja. Al interceptarlos, los árboles reducen este malestar (Burden, D. 2006).

- Actúan como una barrera de amortiguación de vientos y el área foliar puede cambiar los patrones de movimiento del aire. (Coder ,1996)

- Evaporación

- La evaporación activa de los árboles causa un 65% de disminución del calor generado por exposición solar.

- 0.4 Hectáreas, transpiran alrededor de 1600 galones de agua en días solados de verano;

- Un lote de 0.08 hectáreas, con 30% de vegetación, disipa el calor como dos sistemas de aire acondicionado centrales. (Coder ,1996)

7.4.1.2 Calidad del aire

-Los árboles ayudan a mejorar la calidad del aire, pues actúan como "redes" físicas y biológicas, que permiten atrapar diferentes elementos dañinos para el medio ambiente. (Coder D Rim.1996; JBB.2008)

-Las hojas filtran el aire que respiramos, removiendo el polvo y otras partículas. Absorben el dióxido de carbono del aire para formar hidratos de carbono que son utilizados en la estructura y las funciones de la planta. En este proceso las hojas también absorben otros contaminantes del aire como el ozono, monóxido de carbono y dióxido de sulfuro, y liberan oxígeno. (Coder ,1996; JBB.2008)

- Producción de oxígeno

-1 acre de árboles, genera suficiente oxígeno al día para 18 personas

- Reducción de la contaminación

-Los árboles y bosques urbanos limpian el aire a través de 1. La interceptación y desaceleración de material particulado, haciendo que este caiga al piso y no quede suspendido en el aire y 2. A través de la absorción de estos gases a través de sus hojas (Burden, D. 2006).

- La remoción de partículas está calculada en un 9% para árboles no perenes y 13% para árboles perenes. (Coder ,1996)

- Aunque el polen es producido por los mismos árboles, puede llegar a ser perjudicial en algún punto. Los árboles también absorben estas partículas del aire.
- La cobertura arbórea de un parque urbano de 212 ha, puede remover por día, aproximadamente 48 libras de partículas, 9 libras de nitrógeno, 6 libras de sulfuro, y media libra de monóxido de carbono. (\$136 valor diarios, según la tecnología de control de contaminantes).
- El nivel de material particulado en la calle se reduce en 60%. (Coder ,1996)

- Reducción del Dióxido de carbono

Actualmente, en Estados Unidos se almacenan aprox 800 millones de toneladas de carbono al año, con un incremento de 6.5 millones de toneladas al año. Esto equivale a \$22 billones en costos de control.

- Un individuo, almacenada alrededor de 5.9 kilogramos de carbono al año.
- Un bosque urbano puede almacenar hasta 3.2 toneladas de carbono por año por hectárea.

7.4.1.3 Hidrología

La mala planeación de los sistemas de alcantarillado y el aumento de las superficies impermeables afectan el flujo y la dinámica hidrológica en la ciudad. El volumen, la velocidad y la cantidad del agua lluvia aumentan, causando niveles altísimos de escorrentía, que deterioran las estructuras presentes, aumentan las posibilidades de inundación y causan erosión en las coberturas vegetales adyacentes. (Coder ,1996). Los árboles y bosques urbanos, ayudan a disminuir estos efectos gracias a que interceptan, evaporan y almacenan agua a través de las funciones naturales (Burden, D. 2006).

- Escorrentía

- El 7 % de la precipitación presente en invierno es interceptada y evaporada por árboles no perenes.
- El 22% de la precipitación presente en invierno en interceptada y evaporada por árboles perenes.
- Por cada 5%de incremento en cobertura arbórea en un espacio urbano, la escorrentía es reducida en aproximadamente 2 %.

- El 17 % de escorrentía producida en un evento de lluvia de 12 horas es interceptada y evaporada por los árboles urbanos, en una ciudad de tamaño medio (\$226,0000 ahorro en control de escorrentía). (Coder ,1996)

- Calidad del agua/erosión:

-Los árboles y bosques urbanos actúan como filtros removiendo nutrientes y sedimentos.

-El 47% de los contaminantes de la superficie son removidos en los primeros 15 minutos de lluvia. Esto incluye pesticidas, fertilizantes, derivados biológicos y basura.

-10,886 toneladas de tierra es ahorrada en una ciudad con cobertura vegetal de tamaño medio.

7.4.1.4. Control de ruido

- Reducción en 7 db (decibeles) por cada 100 pies gracias a los árboles que absorben y reflejan la energía del sonido. (Las paredes disminuyen el sonido en 15 db). (Coder ,1996)

- Los árboles proveen el sonido "blanco". Sonido de las hojas y ramas en el viento y sonidos asociados. Ellos disimulan el sonido creado por las actividades humanas. (Coder ,1996)

7.4.1.5 Hábitat

La biodiversidad en las áreas con mayor cobertura vegetal aumenta, pues estos árboles y bosques urbanos proveen hábitat para diferentes especies de microorganismos y pájaros (Burden, D. 2006: IDU et al, 2004).

7.4.2 Beneficios Económicos

7.4.2.1 Estabilidad económica

Los árboles y bosques urbanos generan un espacio y un ambiente positivo para la transacción de bienes y propiedades inmobiliarias. Los beneficios relacionados a este aspecto son: Un incremento en el valor de las propiedades, en ganancias, en las ventas, en el trabajo, en la productividad por empleado. (Coder ,1996; Burden, D. 2006)

- Valores de las propiedades- Comparaciones inmobiliarias.

- Limpiar o remover los escombros de un lote vacío es mucho más costoso que preservarlo correctamente con árboles.

- El 6% del valor de la propiedad viene de su cobertura arbórea (\$2,686).

- Las propiedades separadas por menos de 60 metros de un "espacio verde" valen \$ 2,675 más en comparación con propiedades más lejanas de estas zonas. (Coder ,1996)
- Las propiedades pueden tener un incremento del 9% de su valor por la presencia de un árbol en buen estado.
- Las propiedades pueden tener una disminución de \$4.20 por cada pie de lejanía a espacios verdes.

7.4.2.2 Producción de Productos

Los árboles y bosques urbanos producen muchos productos tradicionales utilizados en el mercado (madera de construcción, pulpa de madera, madera de uso ornamental, frutas, nueces, Mulch, materiales para el compostaje, madera para quema.) (Coder ,1996)

7.4.2.3 Preferencias estéticas

- Las diferentes expresiones arbóreas, como diferentes especies, diferentes densidades, etc, tienen todas un efecto positivo en la calidad y en el valor escénico de un lugar.
- Los árboles antiguos presentes en un lugar, son el indicador más importante de atractivo de una comunidad. (Coder ,1996)
- Incrementar la densidad de árboles (53 árboles por acre) y disminuir la densidad de vegetación de un nivel inferior son asociados con una percepción positiva.
- Una densidad adecuada de árboles, disminuye la sensación de encierro y da claridad y seguridad a las personas. (Coder ,1996)
- El adecuado manejo del área del dosel y de la selección de especies, permiten "bloquear líneas de visión", para así ocultar problemas de densidades, ocultar paisajes no deseados y crear la diferencia entre el espacio residencial y el comercial. (Coder ,1996)

7.4.3 Beneficios Sociales

7.4.3.1 Salud Pública

- Los árboles y en general las zonas verdes, han sido asociados a la estabilidad mental y salud de las personas. Se encontró que pacientes psiquiátricos son más sociables y sufren menos estrés cuando el "verde" está visible y se hace presente para ellos. (Coder ,1996)

-Pacientes hospitalizados con vistas naturales desde su habitación tienen una estadía relativamente más corta, piden menos medicina para el dolor y tienen menos complicaciones pos-quirúrgicas.

-Pacientes que sufren de estrés se recuperan en un tiempo menor con tratamientos que involucren mirar imágenes de espacios naturales. Ellos reducen sus emociones negativas e incrementan sus sentimientos positivos (Burden, D. 2006).

-En algunas comunidades, el contacto con la naturaleza se limita a lo natural presente en el lugar, por lo tanto es de vital importancia mantener estos espacios en buena estado (Burden, D. 2006).

7.5 Técnicas de Cuantificación de los Servicios Ambientales

La importancia o el valor de los servicios ambientales puede dividirse en tres tipos: - Valor ecológico, Valor Sociocultural y Valor Económico (De Groot Rudolf, et al.2002).

-El valor ecológico se basa en la importancia de las funciones de regulación y las funciones de hábitat de los ecosistemas y en los parámetros propios de los ecosistemas, como lo son: la complejidad, la diversidad y la rareza (De Groot Rudolf, et al.2002).

-El valor sociocultural se enfoca más que todo en servicios prestados por los ecosistemas para satisfacer necesidades en torno a la salud física y mental de los individuos, necesidades educativas (en torno a la investigación), necesidades con respecto a la diversidad e identidad cultural. También involucra la importancia de los ecosistemas en la concepción de valores espirituales y de muchos otros servicios no materiales. Por lo tanto, la sociedad es el principal actor involucrado en este tipo de valoración (De Groot Rudolf, et al.2002).

- El valor económico puede dividirse en 4 tipos: - valoración directa, valoración indirecta, valoración contingente y valoración en grupo.

- Valoración directa: Esta valoración es más tangible sobre todo en los bienes ambientales para los cuales existe un mercado. Algunos de estos son: La madera, semillas, frutos, hongos, etc. Esta valoración también cubre algunas de las funciones de información y regulación. Un ejemplo para las funciones de información son los ingresos generados por la recreación y el turismo y un ejemplo para las funciones de regulación es el mercado de carbono, que fija un valor por la cantidad de CO₂ fijado.
- Valoración Indirecta: Cuando no existen mercados tangibles para los bienes y servicios ambientales, se deben utilizar otros medios para lograr una valoración. Esta se puede hacer de varias maneras.

1) Evitando costos: algunos servicios ambientales evitan costos en los que se tendrían que incurrir si dichos servicios ambientales no existieran o disminuyeran.

2) Costo de Reemplazo: Es el costo generado por el reemplazo de estos bienes y servicios por infraestructura que cumpla con sus mismas funciones.

3) Factor de Ingresos: Es el ingreso generado indirectamente por la población gracias a los bienes y servicios presentes en un ecosistema.

4) Costos de Viaje: Estos se enfocan principalmente en los gastos que implica viajar de un lugar determinado a otro con el fin de utilizar los servicios prestados por diferentes ecosistemas, ya sea por fines recreativos o de investigación.

-Valoración hedónica: Esta valoración depende de la demanda del servicio en cuestión. Inmuebles con vista al mar tienen un valor mucho más elevado que inmuebles de las mismas características lejos de este recurso.

-Valoración contingente: Esta hace referencia a la disposición en intención de pago por parte de las comunidades frente a escenarios que presten algunos servicios ambientales. Por ejemplo, se puede evaluar la disponibilidad a pagar por la mejora de un acuífero con el fin de utilizar este con fines recreativos, o fines comerciales.

-Valoración en grupo: Este tipo de valoración es un enfoque relativamente nuevo que se basa en teorías políticas y sociales que argumentan que las decisiones no se deben tomar con base en una opinión individual, sino por el contrario, deben tomarse con base en decisiones de un debate público.

7.6 Valor Monetario de los Contaminantes

Para poder estimar el costo monetario de la contaminación removida por los árboles, los costos por emisión o los costos por externalidades fueron utilizados. Estos costos se asocian a la cantidad económica utilizada para contrarrestar los efectos negativos de estos contaminantes, ya sea en la salud pública, en mejoramiento de la estructura urbana, etc (UFORE 2009).

Existen algunos datos en la bibliografía sobre estudios realizados para estimar los valores por cada ton de contaminante. La FAO, el Banco Mundial, el Protocolo de Kyoto, entre otros han realizado estimaciones de estos valores. Para el Center for Watershed Protection, los valores asociados a la remoción de los contaminantes se muestran en la tabla 5. Estos valores resultaron de un estudio realizado en Baltimore ((A) American Forests.2009):

Tabla 5: Valores de 1ton/acre de los diferentes contaminantes atmosféricos.

CONTAMINANTE	VALOR (DOLARES)
CO	10.79
SO ₂	5.77
NO ₂	23.62
O ₃	23.62
PM10	15.75

Fuente: American Forests (2009).

7.7 Modelos para la Cuantificación de los Servicios Ambientales

7.7.1 ¿Qué es el CITYgreen?

7.7.1.1 Descripción general

El *CITYgreen* es una aplicación de SIG que conduce análisis de servicios ecosistémicos. Hace una estimación de los beneficios en términos monetarios (dólares) de los servicios ofrecidos por los árboles y zonas verdes en un área determinada. ((B) American Forests 2009)

Fue creado alrededor de datos y modelos ambientales disponibles de estudios realizados por varias agencias del gobierno y universidades de USA. Toda esta información y modelos han sido utilizados en su formato original a través de varios años, pero las personas interesadas debían dirigirse a cada entidad y aprender a utilizar la información disponible en el lugar. American Forests creó el *CITYgreen* para agrupar esta información (Modelos y datos) en una sola herramienta para facilitar el manejo y utilización de esta información para profesionales del medio y personas ajenas a este campo. ((B) American Forests 2009)

Los modelos utilizados por el *CITYgreen* incluyen:

- *US Forest Service*: Modelo de remoción de contaminantes
- *NOAA* (National Weather Service): Precipitación
- *NRCS* (Natural Resources Conservation Service): modelos de suelos y escorrentía

7.7.1.2 ¿Cómo Funciona?

El *CITYgreen* analiza los beneficios en términos económicos y ecológicos de las coberturas arbóreas y zonas verdes en general. El análisis se basa en un set de datos de paisaje, provistos por el usuario. La fuente del set de datos puede ser derivada de varias fuentes, tales como fotografías aéreas o imágenes satelitales. La imagen debe ser a color, con una resolución de 4 metros o mejor, para poder reconocer fácilmente las características del paisaje. El set de datos debe ser clasificado en diferentes unidades de paisaje, como espacio abierto, superficie impermeable, cuerpos de agua, etc, para que *CITYgreen* pueda correr con el análisis ((B) American Forests 2009).

7.7.1.3 ¿Qué Hace?

- *Unidades de Paisaje*

Del mapa provisto por el usuario, el *CITYgreen* reporta el área para cada unidad de paisaje definida. Estas áreas son reportadas como el número total de acres y como un porcentaje sobre el total del área de estudio. Esto es muy útil cuando las comunidades quieren establecer objetivos específicos con respecto al área de cobertura arbórea o quieren hacer un manejo de más adecuada el uso del suelo ((C) American Forests. 2009).

- *Escorrentía:*

El módulo de análisis de escorrentía estima la cantidad de agua lluvia que corre de un área determinada durante un evento de lluvia, como también el tiempo de concentración y el pico del flujo hídrico. El programa determina el volumen de escorrentía basándose en el porcentaje de cobertura arbórea y de otros tipos de cobertura presentes en el área, digitalizados previamente por el usuario.

El análisis considera también una variedad de información identificada automáticamente por *CITYgreen* o introducida por el usuario, como los patrones de precipitación local, el tipo de suelo y otras características del lugar ((C) American Forests. 2009).

El modelo de escorrentía incorpora procedimientos y formulas desarrolladas por el USDA NRCS (Servicio de Conservación de Recursos Naturales del Departamento de Agricultura de US), antes llamado el Servicio de Conservación del Suelo (SCS), para estimar el volumen de escorrentía así como el porcentaje de cambio en el tiempo de la concentración y el pico del flujo hídrico. El Modelo de Hidrología Urbana para líneas divisoras de agua, referido más comúnmente al TR-55, fue incorporado al *CITYgreen*, para poder determinar los beneficios de los árboles y otro tipo de vegetación urbana con respecto al manejo del agua lluvia ((C) American Forests. 2009).

- *Remoción de contaminantes aéreos.*

El modelo de remoción de contaminantes aéreos fue desarrollado por el Servicio Forestal De Estados Unidos (US Forest Service) y calcula la capacidad de remoción de contaminantes por él

área de cobertura arbórea. A mayor área de cobertura arbórea, mayor cantidad de contaminantes removidos. Esto es una herramienta útil para la comunidad para lograr alcanzar los objetivos propuestos por la EPA, con respecto a la calidad de aire. *CITYgreen* reporta el porcentaje de contaminantes removidos en un año y el valor en términos económicos relacionados con estos servicios. ((C) American Forests. 2009).

- *Captura y almacenamiento de carbono:*

Este modelo fue desarrollado por el Servicio Forestal De Estados Unidos (US Forest Service) y cuantifica el papel del arbolado urbano en la captura y almacenamiento de CO₂.

Para estimar la cantidad de carbono removido y almacenado por la vegetación urbana, el área de estudio, en acres, el porcentaje de cobertura arbórea y la tasa a la cual el carbono es removido de la atmósfera son necesarios.

Los beneficios económicos pueden ser asociados a las tasas de captura, utilizando cualquier método de valoración deseado. Algunos estudios han utilizado el costo de prevenir la emisión de una unidad de carbono, a través de sistemas de control de emisiones o depuradores, como el valor asociado con el servicio de remoción de carbono prestado por bosques urbanos. ((C) American Forests. 2009).

- *Calidad del Agua:*

El modelo de calidad del agua trabaja con el modelo de escorrentía, TR-55, para calcular el efecto de los tipos de cobertura en la cantidad de contaminantes y sólidos suspendidos en la superficie del agua que corre. Al igual que en el *TR-55*, el modelo de calidad de agua se basa en un cálculo de evento de precipitación; esto quiere decir, en como los tipos de cobertura afectan la escorrentía de un evento típico de lluvia de máximo 24 horas. Esta relación entre el tipo de cobertura y la calidad del agua es calculada utilizando el modelo *L-THIA* (Long term hydrologic impact assessment), que fue desarrollado por la Universidad de Purdue y la EPA (Environmental protection agency). El modelo funciona con el TR-55 haciendo uso del sistema de número de curva: juntando a medida que la escorrentía aumenta, la carga del contaminante también. ((C) American Forests. 2009).

- *Modelación de posibles escenarios*

El *CITYgreen* permite analizar posibles escenarios. Partiendo de un mapa del presente, se puede calcular los cambios en el paisaje mucho antes que ocurran, o ver cómo han cambiado las cosas en periodos de tiempo específicos. Esto se convierte en una poderosa herramienta a la hora de tomar decisiones sobre el uso y el manejo del suelo y el paisaje. ((C) American Forests. 2009).

7.7.2 ¿Que es el *i-Tree Tools*?

7.7.2.1 Descripción general

El *i-Tree Tools* es el resultado de una revisión de información y adaptación del modelo UFORE, del USDA Forest Service (Departamento de Agricultura de Estados Unidos/Servicio Forestal de Estados Unidos), que provee herramientas útiles para realizar análisis silviculturales urbanos. Ayuda a todo tipo de comunidades a fortalecer y defender los esfuerzos realizados en los procesos de manejo de bosques urbanos, a través de la cuantificación de los servicios ecosistémicos prestados por los arboles de la comunidad.

Fue desarrollado por el USDA Forest Service y otras entidades, tales como Davery Tree Expert Company, National Arbor Day Foundation, Society of Municipal Arborists y el International Society of Arboriculture (ISA). Quienes aparte de información, han prestado apoyo para poder desarrollar la herramienta como tal.

7.7.2.3 ¿Cómo Funciona?

- *i-Tree Eco*: Provee un acercamiento general al bosque urbano. Está diseñado para utilizar datos de campo, ya sean de censos o muestras de una comunidad, junto con datos meteorológicos y de calidad de aire, para poder cuantificar la estructura, los efectos ambientales y el valor del bosque urbano objeto de estudio.
- *i-Tree Streets*: Se enfoca en los beneficios prestados por los arboles presentes en las calles de una comunidad. Utiliza datos de campo, ya sean de censos o de muestras de una comunidad, para poder cuantificar y asignar un valor monetario a estos beneficios (Conservación de energía, mejoramiento de la calidad del aire, reducción del CO₂, control del escurrimiento y avalúo de propiedades.). Los datos recolectados de estos árboles presentes en las calles, dicen mucho acerca de la estructura de la ciudad, por lo tanto son de suma importancia para la realización de planes de manejo y planeación urbana.

7.7.2.4 ¿Qué Hace?

Aparte de las funciones principales mencionadas anteriormente, el *i-Tree Tools* ofrece una serie de herramientas que permiten facilitar y apoyar la recolección de datos. Entre ellos están los siguientes:

- *i-Tree Vue*: Permite el uso de la información disponible sobre coberturas y mapas nacionales, para poder configurar los estudios de coberturas a menor escala. Esta información disponible incluye Coberturas arbóreas y algunos de los servicios ecosistémicos prestados por el bosque urbano objeto de estudio. La modelación de

posibles escenarios está incluida. Esta herramienta permite entonces producir análisis sobre captura y almacenamiento de carbono, remoción de contaminantes atmosféricos y modelación de crecimiento de los doseles.

- I-Tree Storm: Establece un protocolo y un método estándar para determinar los efectos causados inmediatamente después de una tormenta, en una forma sencilla y eficiente. Ésta metodología se adapta a cualquier tipo de comunidad y provee información y fundamentos para poder actuar ante los daños.

La FEMA (Agencia Federal para el Manejo de Emergencias) sugiere que cada comunidad debe tener un Plan de Manejo de Emergencias y como la remoción de escombros es uno de los principales problemas después de un desastre, el protocolo de esta unidad propone metodologías para poder estimar los siguientes:

- La cantidad potencial de escombros (de vegetación) pre y post tormenta y los costos de su remoción.
- La potencial y actual relación de costos/hora/hombre para la remoción de estos escombros.
- La potencial y actual relación de costos/hora/hombre para la poda de los arboles afectados.
- i-Tree species: Permite que los usuarios puedan hacer una selección adecuada de las especies según las funciones del árbol que más les interesa. Esto es posible, pues las complementa información de otros programas donde las especies ya han sido ordenadas o "renqueadas" según sus características.

El i-Tree species ordena las especies según las siguientes funciones, en una escala de 0-10: Remoción de contaminantes atmosféricos, reducción de la temperatura del aire, reducción de la radiación ultravioleta, almacenamiento de carbono, grado de irritación del polen, Conservación de energía en edificios, reducción de la velocidad del viento y reducción de escorrentía.

El programa contiene valores para aproximadamente 1,600 especies. Así que el usuario solo debe introducir el estado y la ciudad y el programa automáticamente selección las más aptas según las condiciones del lugar. Esta base de datos cubre una gran cantidad de especies nativas, naturalizadas y exóticas que son generalmente plantadas en áreas urbanas.

8. AREA DE ESTUDIO LOCALIDAD PUENTE ARANDA

8.1 Reseña Histórica

Puente Aranda deriva su nombre del puente que atravesaba el terreno cenagoso de don Juan Aranda sobre el río Chinúa, hoy llamado San Francisco, construido por el oidor Francisco de Anuncibay, quien llegó a la Nueva Granada hacia 1573. A partir de esto, se inició la construcción de un camellón hacia el occidente, que atravesó la sabana para facilitar a los viajeros el paso por el inmenso humedal de Aranda y crear así un canal de comunicación con Honda, principal puerto sobre el río Magdalena. Por allí entraban las mercancías provenientes de la costa Atlántica. (Alcaldía Mayor de Bogotá & Jardín Botánico José Celestino Mutis. 2007)

Puente de Aranda existió hasta 1944, fecha en la cual se inició la construcción de la Avenida de las Américas, proyecto promovido por la Sociedad Colombiana de Arquitectos. "Esta Avenida se hizo necesariamente a fin de mejorar la comunicación con el Aeropuerto de Techo, ubicado cerca del monumento que se levantó para dicha ocasión (hoy conocido como banderas).(Alcaldía Mayor de Bogotá & Jardín Botánico José Celestino Mutis. 2007)

Con el desarrollo industrial de Santa Fe de Bogotá, la localidad comenzó a convertirse en la sede de una multitud de pequeñas empresas manufactureras, que, al lado del sector residencial fueron creciendo y ampliándose. La localidad se fortaleció en 1944 con el primer reglamento zonificación, y se consolidó a partir de los estudios de Le Corbusier, del Plan Piloto de Bogotá adoptado en 1951 y de la zonificación de 1963, realizada por el Departamento Administrativo de Planeación Distrital.

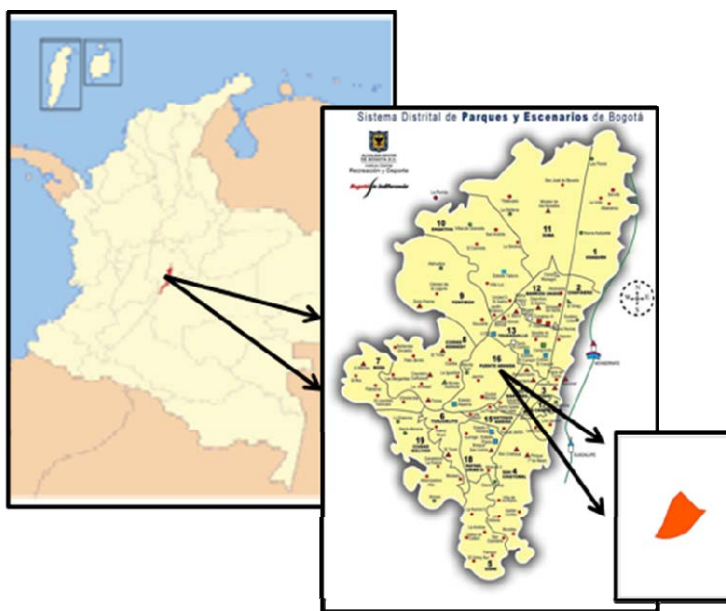
Posteriormente, normas adoptadas en 1968 y el Decreto 159 de 1974 convirtieron a Puente Aranda en un corredor industrial, lo que implicó beneficios para las empresas allí ubicadas. El sector llegó a ser entonces, el epicentro de la actividad industrial de la capital. Diferentes fábricas de plásticos, textiles, químicos, metalmecánica, gaseosas, tabaco, concentrados y alimentos tienen asiento en esta zona. (Alcaldía Mayor de Bogotá & Jardín Botánico José Celestino Mutis. 2007)

Estas características, hacen que Puente Aranda sea una localidad de alta contaminación ambiental y con muy poca presencia de arbolado y zonas verdes. Razón por la cual se debe intensificar su reforestación y ordenar mejor los canales existentes con vegetación de porte arbustivo. (Alcaldía Mayor de Bogotá & Jardín Botánico José Celestino Mutis. 2007)

8.2 Ubicación Geográfica

Se encuentra ubicada en el centro de la ciudad. Limita el Norte con la localidad de Teusaquillo; al oriente con Los Mártires; al sur con Antonio Nariño y Tunjuelito y al Occidente con Kennedy y Fontibón.

Como muestra el mapa 1, tiene forma de escudo y está limitada al Norte con la Avenida de las Américas y la Avenida Ferrocarril de Occidente; Al Sur con La Autopista Sur; Al Oriente por la Avenida Ciudad de Quito, (Carrera 30) y la Avenida Matatigres; y al Occidente con la Avenida Congreso Eucarístico (Avenida 68.) (Alcaldía Mayor de Bogotá & Jardín Botánico José Celestino Mutis. 2007)



Mapa 1. Localidad Puente Aranda: Alcaldía Mayor de Bogotá, Programa Bogotá sin indiferencia; Mapa Político de Colombia.

La cruza el río Fucha, el cual nace en los cerros orientales, se represa a la altura del tanque Vitelma y el tramo comprendido entre la carrera 6ª con calles 13 y 14 Sur y la Avenida Boyacá. Este cuerpo de agua cruza la localidad para continuar su curso hasta su desembocadura en el río Bogotá. De igual manera, la localidad incluye los vallados del río Seco, la Albina y Comuneros, que fueron canalizados. Estos canales reciben la descarga de las industrias ubicadas en la localidad. (Secretaría Distrital De Salud & UNAL ,2005.)

8.3 Caracterización Geográfica

La localidad de Puente Aranda ocupa un terreno plano, con ligero desnivel de oriente a occidente. Se encuentra ubicada en su totalidad sobre áreas que constituyeron humedales. Sus terrenos se encuentran ubicados a una altitud aproximada de 2.600 metros sobre el nivel del mar (msnm).

El principal río de la localidad es el río Fucha, el cual nace en los cerros orientales; a la altura de Vitelma se represa, luego se desliza por la hoya ubicada entre la Escuela de Apoyo de Servicio para el Combate (costado norte) y los barrios La Gran Colombia y San Cristóbal (costado sur). A partir de la carrera 6ª. Con calles 13 y 14 sur, éste es canalizado hasta la avenida Boyacá, en donde termina el canal artificial, y continúa su curso hasta desembocar en el río Bogotá.

De igual manera, esta localidad incluye los vallados de río Seco, Albino y Comuneros, que fueron canalizados. Los anteriores ríos, junto con el caño San Francisco, pertenecen a los ecosistemas de protección hídricos de la ciudad. Su preservación y uso adecuado incide en detener el proceso de deterioro actual del río Fucha y, por ende, del río Bogotá (Alcaldía Mayor de Bogotá.2004.)

Tiene una extensión total de 1.724,5 hectáreas (ha), todas ellas urbanas, de las cuales 39,1 ha corresponden a suelo protegido. Esta localidad no cuenta con terrenos catalogados como suelo de expansión y suelo rural, y es la séptima localidad con menor extensión en el Distrito. (Alcaldía Mayor de Bogotá.2004).

El terreno de la localidad presenta dos tipos de sectores: El primero, que es un corredor industrial y el segundo que es un área residencial y comercial.

El primero, es considerado de mayor tradición e importancia en el país, principalmente por las características topografías de lugar y por el fácil acceso de vías, que facilitan asentamientos de este tipo. El segundo, se ha desarrollado al sur de la Avenida Sexta. (Alcaldía Mayor de Bogotá.2004.).

8.4 Clima

La localidad tiene un clima frío. Tiene 2 temporadas de lluvia, que van desde Abril-Junio y Octubre-Noviembre, con alta precipitación (184 y 307 mm), y 2 secas que van desde Julio-Septiembre y Diciembre-Marzo. Tiene alta humedad relativa, entre 85% y 93% y baja velocidad del viento, entre 2.3 y 2.4 m/seg. La temperatura promedio de 14 °C precipitación promedio de 1000 mm/año (ENDA 2009).

8.5 Problemas Ambientales

8.5.1 Contaminación Atmosférica

Las fuentes de contaminación existentes en la localidad, son clasificadas como estacionarias y móviles; en las estacionarias se incluyen las provenientes de las industrias, las quemas, la demolición y la construcción, mientras que en las móviles se encuentra esencialmente el tráfico vehicular. Todo esto convierte a la localidad en una zona con una gran problemática de tipo ambiental, tanto por la presencia industrial como por la gran cantidad de vías principales y secundarias que la surcan.

Este tipo de contaminación, se da por la presencia de residuos o productos secundarios en el aire, ya sean gaseosos, sólidos o líquidos en suspensión, de origen industrial, domestico o ambiental, y que pueden poder en peligro la salud del hombre y la salud y bienestar de las plantas y animales o atacar a distintos materiales, o también reducir la visibilidad y/o producir olores desagradables. (Secretaría Distrital De Salud & UNAL .2005.)

Los productos que esencialmente se encuentran son las partículas en suspensión y los derivados de la combustión, principalmente si esta es incompleta, entre los que se destacan el monóxido de carbono (CO), el dióxido de carbono (CO₂), los óxidos de nitrógeno (NO₂) y el dióxido de azufre (SO₂). También, aunque de manera esporádica y de origen accidental, se pueden encontrar humos y/o vapores de casi cualquier sustancia de las que se utilizan en los diferentes procesos industriales que se llevan a cabo en la localidad. (Hidrocarburos, gases, éteres, entre otras).

Los niveles de estos contaminantes han sido monitoreados de manera irregular por el Departamento Administrativo Del Medio Ambiente (DAMA) en los últimos años; es importante señalar que antes de la ley 99 –que creó el ministerio del medio ambiente-esta función era desarrollada por la Secretaria Distrital De Salud, organizándose una red de monitoreo, con el apoyo de la Agencia Japonesa De Cooperación (JIAC), la cual fue modelo para Latinoamérica. (Secretaría Distrital De Salud & UNAL.2005.)

8.5.2 Contaminación Auditiva

Un estudio piloto realizado por el DAMA, demuestra que la contaminación auditiva de la localidad, demuestra que los niveles superan los estándares permitidos según los diferentes usos del suelo. La mayor parte de este impacto, proviene de fuentes móviles, debido a su alto tráfico vehicular. (Secretaría Distrital De Salud & UNAL .2005.)

8.5.3 Contaminación Visual

Proviene del Uso de Vallas y anuncios publicitarios, principalmente en el centro de Puente Aranda (Carrera 76), debido a la concentración comercial de la zona. (Secretaría Distrital De Salud & UNAL.2005)

9. METODOLOGIA

9.1 Aspectos Generales

Esta investigación está dividida en 5 fases. La primera y segunda fase, se basan principalmente en revisión bibliográfica de fuentes primarias y secundarias, con el fin de poder obtener la información necesaria para poder cumplir con los objetivos específicos de identificación de variables y procedimientos principales involucrados en los análisis realizados por el *CITYgreen* y el *i-Tree Tools*. La tercera y cuarta fase, permiten ordenar los datos para poder realizar una comparación entre la información que los modelos requieren para su correcto funcionamiento y lo que existe acerca del lugar utilizado como estudio de caso. Por último, la quinta fase, es una comparación entre esta información requerida y la información existente, para así llegar a una identificación de ajustes necesarios de cada modelo para su adecuado funcionamiento en el área de estudio elegida.

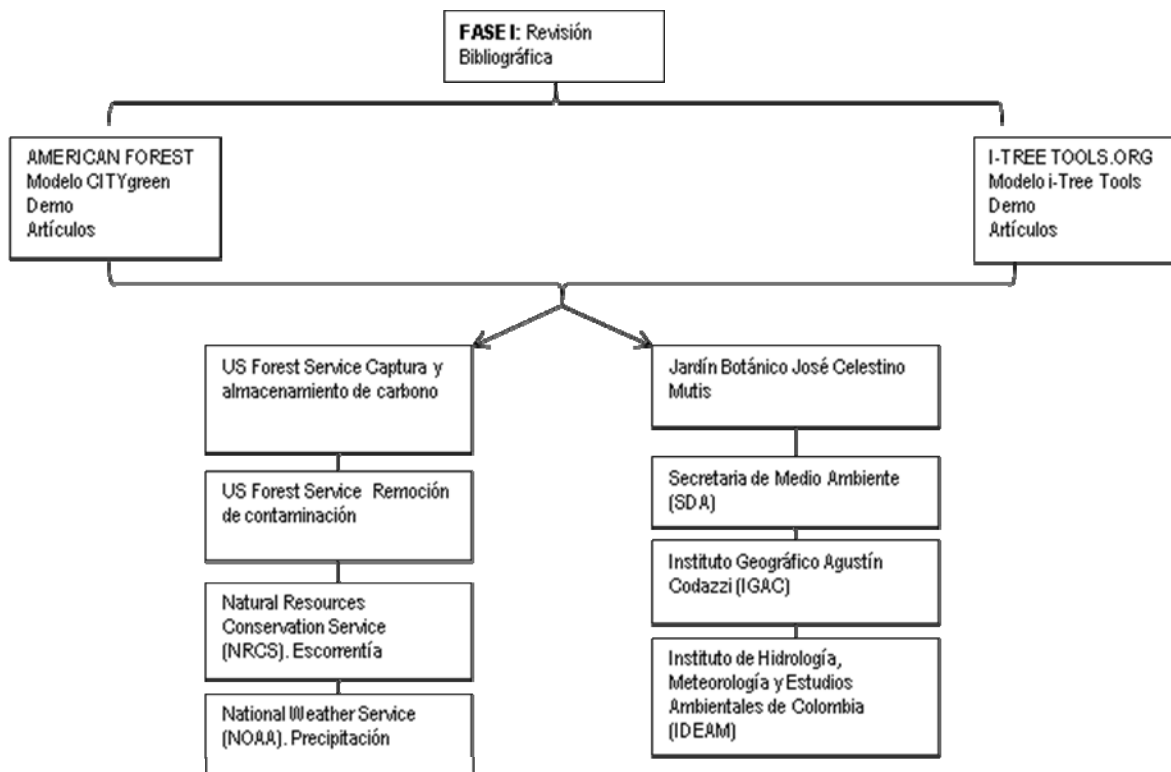


Figura 2. Metodología. Fase I

9.2 FASE I: Revisión Bibliográfica

Durante esta fase se realizó una revisión bibliográfica de la información existente del *CITYgreen* y el *i-Tree-Tools*. Se identificaron las variables y parámetros principales que los constituyen y cómo estas están relacionadas. También se identificaron los algoritmos que están involucrados en los análisis realizados. Se realizó además una comparación entre Instituciones, para ver qué entidad colombiana cumplía una función parecida o igual a las entidades Norte Americanas involucradas en el desarrollo de los modelos y así poder identificar la información disponible.

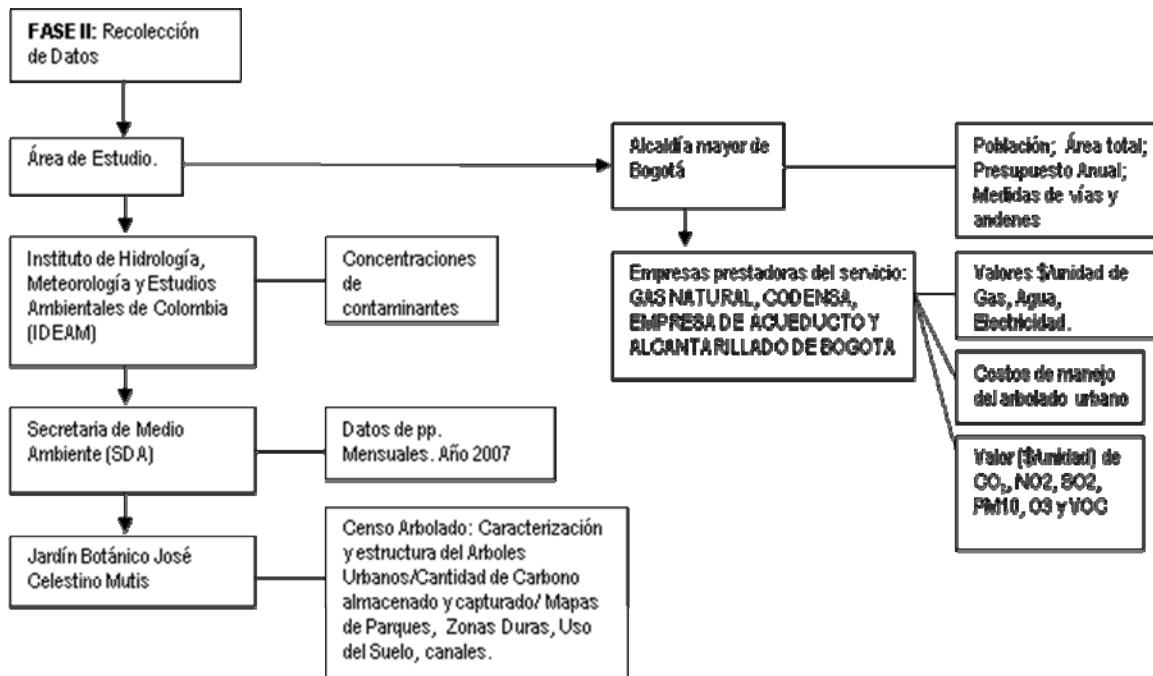


Figura 3. Metodología, Fase II.

9.3 FASE II: Recolección de Datos

Durante esta fase se recolectaron los datos que se identificaron necesarios en la fase anterior de la metodología para poder alimentar los modelos. Se recogieron datos del área de estudio, la concentración de los contaminantes, las mediciones de precipitación y los atributos sobre el arbolado urbano.

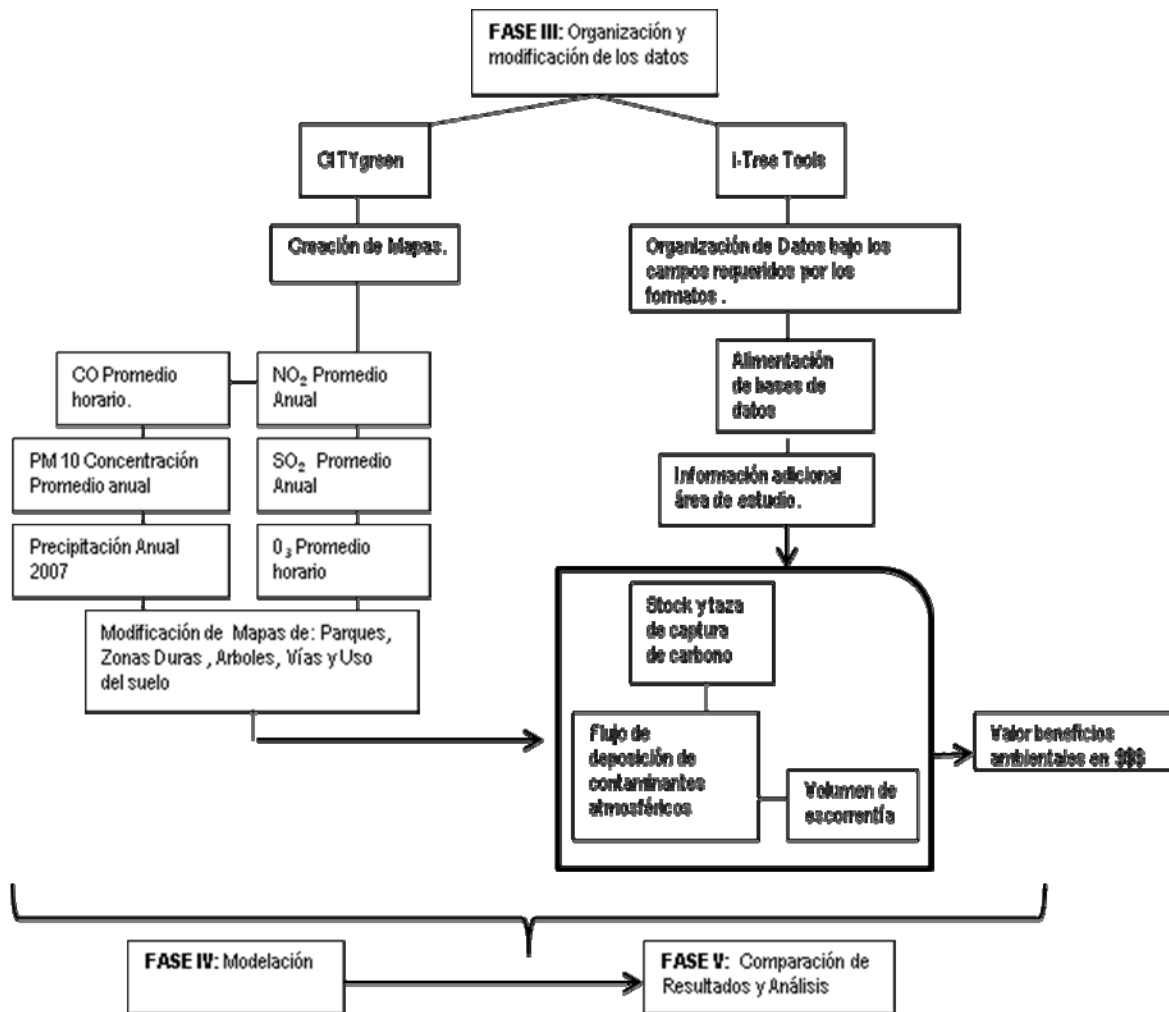


Figura 4. Metodología, Fase III, IV y V.

9.4 FASE III: Organización y Modificación de Datos

Esta tercera fase sirvió para completar el segundo objetivo específico, ya que con los datos obtenidos en la fase anterior, se pudieron realizar las bases de datos, mapas y capas de información necesarios para poder alimentar el *CITYgreen* y el *i-Tree Tools* y así poder homologar adecuadamente los requerimientos de información de estos modelos con los de la realidad del estudio de caso.

9.4.1 CITYgreen

Creación de Capas

- Recolección de concentraciones por cada contaminante.

Para este proceso, se tomo como referencia el Informe Anual de Calidad del aire de la Secretaria Distrital del Medio Ambiente, ya que es la entidad encargada del manejo de este tipo de información.

Como lo muestra la tabla 6, se tomaron y recolectaron las concentraciones de los contaminantes CO, NO₂, SO₂, O₃ Y PM10. Para CO Y O₃, se tomaron promedios horarios y para NO₂, SO₂ y PM10 se tomaron los promedios anuales. Esto dependía de la forma de medir cada contaminante y de la información disponible.

Tabla 6: Concentraciones utilizadas por contaminantes Atmosféricos

CONTAMINANTE	CONCENTRACIONES
CO	Promedio horario del año 2007
NO ₂	Promedio anual del 2007
SO ₂	Promedio anual del 2007
O ₃	Promedio horario del año 2007
PM10	Promedio anual del 2007

- Medidas de precipitación

Como se puede ver en la tabla 7, las medidas de precipitación tomadas fueron la acumulación anual, para el año 2007 del Informe Anual de Calidad del Aire de la Secretaria del Medio Ambiente.

Tabla 7: Mediciones de precipitación

CATEGORIA	MEDICIONES
Precipitación	Acumulación anual del 2007

- Modificación de capas de información

Durante esta fase, se realizó una modificación de las capas de coberturas existentes para la Localidad de Puente Aranda. Estas coberturas, existían ya en la base de datos del Jardín Botánico,

ya que ellos realizaron el plan de Arborización por localidades y realizaron otros estudios de digitalización de la ciudad. Por lo tanto, las capas se cortaron para utilizar solo las de la Localidad escogida. Las capas de información y el procedimiento necesario para obtenerlas se muestra en la siguiente tabla 8:

Tabla 8: Proceso de modificación de capas de información

CAPA ORIGEN	CAPA RESULTADO	MODIFICACIÓN
Parques y Zonas Duras	Arboles	Esta capa fue creada a partir de las capas de parques y zonas duras. Se hizo una unión entre ellas y después se hizo un "symmetrical difference". Esta herramienta calcula una intersección geométrica entre la capa de entrada y las características de actualización que se requieren de esa capa. Las características o porciones de la capa de entrada y de las características de actualización que no se superponen, componen la nueva capa generada. En este caso la capa de entrada fue zonas duras y la actualización requerida fue la información de la capa de parques. Así lo que no se superponía, que eran los arboles generaron la nueva capa.
Capa Usos del suelo	Parques	Se separaron los polígonos, con uso de suelo "parques", para formar esta capa en especial. Esto se hizo por medio de un <i>erase</i> . Esta herramienta básicamente crea una nueva característica o capa mediante la superposición de dos conjuntos de características o capas. En este caso a la capa Zonas duras se le borraron todas las zonas de uso del suelo diferentes a parques.
	Zona Industrial	Se separaron los polígonos, con uso de suelo residencial, para formar esta capa en especial. Esto se hizo por medio de un <i>erase</i> . Esta herramienta básicamente crea una nueva característica o capa mediante la superposición de dos conjuntos de características o capas. En este caso a la capa Zonas duras se le borraron todas las zonas de uso del suelo diferentes a Zonas Industriales.
	Zona Residencial	Se separaron los polígonos, con uso de suelo Industrial, para formar esta capa en especial. Esto se hizo por medio de un <i>erase</i> . Esta herramienta básicamente crea una nueva característica o capa mediante la superposición de dos conjuntos de características o capas. En este caso a la capa Zonas duras se le borraron todas las zonas de uso del suelo diferente a Zonas Residenciales.
	Otros Usos	Se separaron los polígonos, con otros usos del suelo, para formar esta capa en especial. Esto se hizo por medio de un <i>erase</i> . Esta herramienta básicamente crea una nueva característica o capa mediante la superposición de dos conjuntos de características o capas. En este caso a la capa Zonas duras se le borraron todas las

		zonas de uso del suelo diferentes a Otros usos.
Capa Zonas Duras	Vías	Se separaron los polígonos correspondientes a las vías de la localidad. Esto se hizo por medio de un <i>erase</i> de las capas de zonas duras. Después, dependiendo del tipo de vía, se ajustó el tamaño de cada polígono.
	Canales	En la fotografía aérea se digitalizaron los dos canales principales de la zona. Esta fue la única capa que se creó totalmente, pues no existía anteriormente.

9.4.2 *i-Tree Tools*

- Formato de recolección de datos.

El *i-tree* tiene su propio formato de recolección de datos, para el análisis *ECO* y *streets*. Así que en esta etapa, los datos obtenidos a través de los formatos del DAMA, fueron organizados según el formato del *i-tree*. En esta etapa, también se realizó una comparación entre los campos de ambos formatos, para así identificar que campos son homologables directamente, cuales se homologan a través de una inferencia y cuales realmente son totalmente especulativos.

- Información área de estudio.

En el caso de *i-tree streets*, se debe introducir cierta información adicional sobre el área de estudio. La información fue identificada como se muestra en la tabla 9:

Tabla 9: Información del área de estudio. *I-Tree Tools Streets*

CAMPOS	INFORMACION
Nación	Este campo requiere el nombre del País donde se va a trabajar. En este caso es Colombia.
Presupuesto Anual	Se tomo como referencia un informe de la veeduría distrital (2009), con el fin de tener un valor guía del presupuesto anual de la localidad.
Población	Datos obtenidos de la Alcaldía de Bogotá
Área Total /m ²	Datos obtenidos de la Alcaldía de Bogotá.
Promedio de ancho de andenes y	Datos obtenidos de estudio realizado por "ancho de calles". Donde se obtuvo un promedio de estos

calles	valores, ya que el campo solo permite introducir un valor.
Valor de servicio (\$/unidad de Electricidad, gas, agua)	Los valores fueron tomados de las tarifas de las empresas encargadas del manejo y distribución de estos recursos en Bogotá (CODENSA, GAS NATURAL, ACUEDUCTO DE BOGOTA). Se realizo un promedio de los valores por estratos, según el % de cada estrato en al localidad.
Valor (\$/unidad) de CO ₂ , NO ₂ , SO ₂ , PM ₁₀ , O ₃ y VOC	Se tomaron los valores predeterminados por el modelo, como guía, ya que no se cuenta con esta información tan específica para la ciudad.
Costos de manejo del arbolado urbano	El i-tree pide costos muy especificos para ciertas actividades con respecto al arbolado urbano. Esta información no se encontró a ese nivel de detalle, por lo tanto solo se pudieron introducir los costos de actividades realizadas por la localidad.

9.5 FASE IV: Modelación

Teniendo en cuenta que todos los datos y requerimientos de información de cada programa ya están completos, durante esta fase, y con el objetivo de obtener resultados del CITYgreen (Demo, Versión 2008) y el *i-Tree Tools* (Versión 2010), básicamente se siguieron los pasos propuestos por cada programa.

9.5.1 Protocolo del modelo *CITYgreen*.

1. Identificar el Área de estudio
2. Determinar un Límite para esta área de estudio.
3. Añadir la referencia espacial de la imagen. Esta referencia va a ser la misma para todas las capas creadas.
4. Identificar las dos capas principales: "árboles" y "zonas duras" y crear una capa (shapefile) de estas, como se muestra en la figura 5. (Anexo 1)
5. A cada capa darle un nombre en la tabla de atributos. (Ver figura 6a y 6b, Anexo 2)

6. Pasar esas capas, que están en polígonos, a formato raster. Esto se puede hacer por medio del modelo *CITYgreen*, como se ve en la figura 7 (Anexo 3) o por medio del proceso de "Polígono a raster" del *ArcGis*.
7. Configurar el mapa de coberturas obtenido (raster) en el paso anterior. Configurar el raster, significa, darle a cada categoría los atributos y características que se merece, tal y como se muestra en la figura 8 (Anexo 4)
8. Determinar las condiciones específicas del lugar, en cuanto a precipitación, contaminantes, carbono capturado por los árboles, etc. (Ver figura 9) (Anexo 5)
9. Correr el modelo. Este es último paso necesario para realizar acabo el análisis del *CITYgreen*. Como se ve en la figura 10, es necesario determinar el área de estudio, el mapa de cobertura y cargar las bases de datos necesarias para los módulos que se quieren analizar. (Anexo 6)
10. Correr el modelo para escenarios futuros o deseados.

9.5.2 Protocolo del modelo *i-Tree Tools*.

1. Ordenar los la información obtenida según los formatos requeridos.
2. Para el análisis *ECO*, introducir los atributos y valores de cada árbol muestreado.
3. Para el análisis *streets*, crear una base de datos en Excel o Acces (siguiendo los requerimientos del programa) para así importar los datos al proyecto.
4. Para el análisis *streets*, introducir la información necesaria acerca del área estudio.

9.6 FASE V: Análisis

Esta fase consiste principalmente en una evaluación de los resultados arrojados por cada modelo y se realiza de dos formas. Primero se realiza una homologación de las variables de cada modelo con la información existente para el estudio de caso, para ver el % o la cantidad de variables que puede ser aplicada directamente. También se realiza una comparación entre los tres modelos para poder tener una idea general de que variables tiene en cuenta cada uno con respecto al otro.

Segundo, para facilitar la identificación de fortalezas de cada modelo, se dividió el análisis en dos categorías principales. Ventajas y Desventajas de: 1) software (Facilidad de adquisición, instalación, manual, interface, etc) y 2) facilidad de aplicación del modelo de acuerdo al % de variables aplicables de cada uno.

Esta evaluación se realiza con el fin de poder dar una opinión sobre los ajustes que requiere cada modelo para eventualmente decidir si es adecuado o no utilizarlos.

10. RESULTADOS

10.1 Variables y Procedimientos Principales del CITYgreen, i-Tree Tools ECO y i-Tree Tools Streets.

Después de realizar la revisión de los modelos y estudio de caso de la aplicabilidad de estos, se obtuvo una lista de variables (cada una con sus indicadores) y procedimientos involucrados en los análisis realizados por los modelos *CITYgreen*, *i-Tree Tools ECO* y *i-Tree Tools Streets*, para la cuantificación de los servicios ecosistémicos que proveen los árboles y bosques urbanos.

10.1.1 Modelo *CITYgreen*

La tabla 10 contempla todo lo referente al modelo *CITYgreen*. Muestra las 3 variables principales: Captura y almacenamiento de carbono; Remoción de contaminantes atmosféricos y Agua; y a su vez muestra los indicadores y procedimientos que hacen parte de la medición de cada una de estas variables. También muestra que pasos del protocolo mencionado anteriormente pudieron ser llevados a cabo y cuáles no y las razones por las que no se pudieron cumplir.

Tabla 10: Módulos, variables y procedimientos involucrados en el análisis realizado por el CITYgreen

VARIABLE	INDICADOR	PROCEDIMIENTO PRINCIPAL	PROCEDIMIENTO SECUNDARIO
CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO	Carbono almacenado/stock para un Bosque Urbano	Biomasa*0.45	1) Distribución de DAPs 2) Ecuación de distribución de la copa, que fue después convertida en área de la copa. 3) Proporción de especies coníferas y especies maderables. 4) Biomasa seca de especies maderables=60% de la biomasa húmeda 5) Biomasa seca de especies coníferas=46% de la biomasa húmeda

	Carbono almacenado/stock/árbol	Tipos de distribución de la población.	Se identificaron 4 tipos de distribución. Tipo 1: Población joven; Tipo 2: Población con aprox 20.30 años de plantada Tipo 3: Población con igual cantidad de arboles en las diferentes clases de DAPs. Tipo 4: Distribución promedio resultado de una ponderación de los otros tipos de distribución de la población.
		Promedio de cobertura arbórea	Estimaron que el promedio de cobertura arbórea de las ciudades en USA fue de 28%. Regresión entre diferentes % de cobertura y Carbono almacenado.
		Factores por Tipos de población	Combinación de Tipos de población, % de cobertura y carbono almacenado.
		Ton carbono/acre	Factores por tipo de población*% de cobertura arbórea
		Cantidad anual de carbono/acre/en un área determinada	Factores por tipos de población*% de cobertura arbórea
	Taza de captura /árbol	Cantidad de carbono total/año/en un área	t/acre *numero de acres en el área
	Crecimiento y taza de captura en un bosque urbano	Crecimiento anual	1) Crecimiento promedio por clases de DAPs. 2) Biomasa de los arboles en año x+1
		Mortalidad	Tasa de mortalidad, derivada de estudios anteriores.
		Perdida de hojas	1) Biomasa de las hojas 2) Supuesto que el 90% de las hojas de especies maderables y el 25% de especies de coníferas se pierden.
		Carbono neto	Carbono Neto= Carbono capturado por crecimiento - carbono perdido por mortalidad- carbono perdido por perdida de hojas
REMOCION CONTAMINANTES ATMOSFERICOS	Remoción de contaminantes	1) Calculo del flujo de contaminante $F=Vd*C$	Velocidad de deposición (Bibliografía) y concentraciones de cada contaminante.
AGUA	Cantidad de agua de escorrentía en un área	Porcentajes de coberturas de uso del suelo	
		Precipitación	
		Distribución de la lluvia	
		Gradiente	
		Grupo hidrológico	Características de permeabilidad del suelo
Numero de curva			
Ecuación de escorrentía			

		TR-55	longitud del flujo
			Pico del flujo
			Volumen de almacenamiento
			Posible Volumen de agua escorrentía si los arboles fueran removidos.
	Valor monetario	El volumen de agua calculado anteriormente puede ser multiplicado por el valor del pie ³ de construcción de la infraestructura adecuada para control de agua escorrentía.	
Calidad del agua	Relación entre el tipo de cobertura y la cantidad de contaminantes y partículas suspendidas en el agua que pasa por ellas.	TR-55 + L-THIA. Valores ya calculados y tomados como referencia	

Creación de capas y mapas

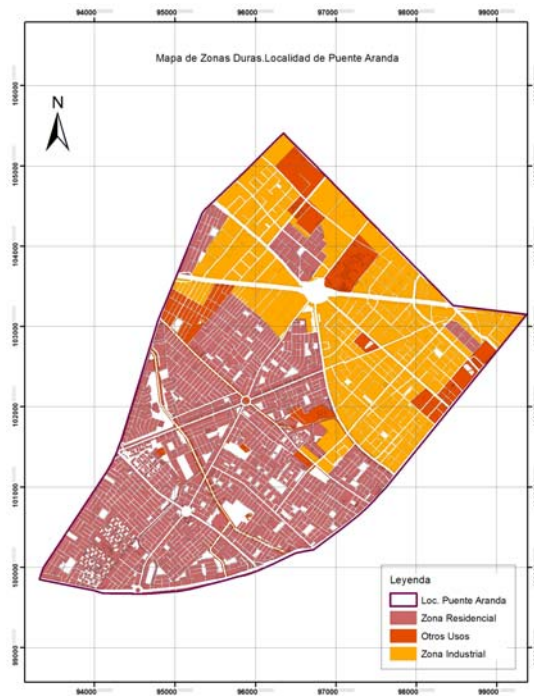
- Capa de árboles



Mapa 2. Mapa de Árboles. Localidad de Puente Aranda

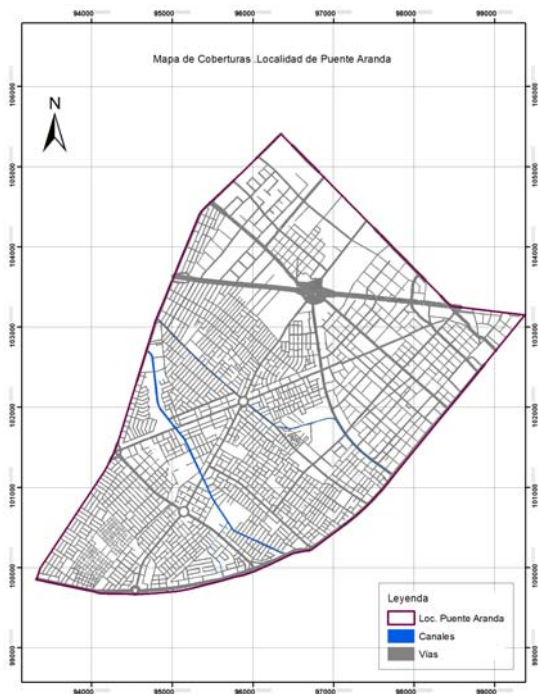
El mapa 2 es el resultado de la capa o shapefile creado en ArcGIS para representar los árboles presentes en la localidad de Puente Aranda.

- Capa de zonas duras.



Mapa 3. Mapa de Zonas Duras. Localidad de Puente Aranda.

El mapa 3 es el resultado de la capa o shapefile creado en ArcGIS para representar las zonas duras presentes en la Localidad de Puente Aranda.



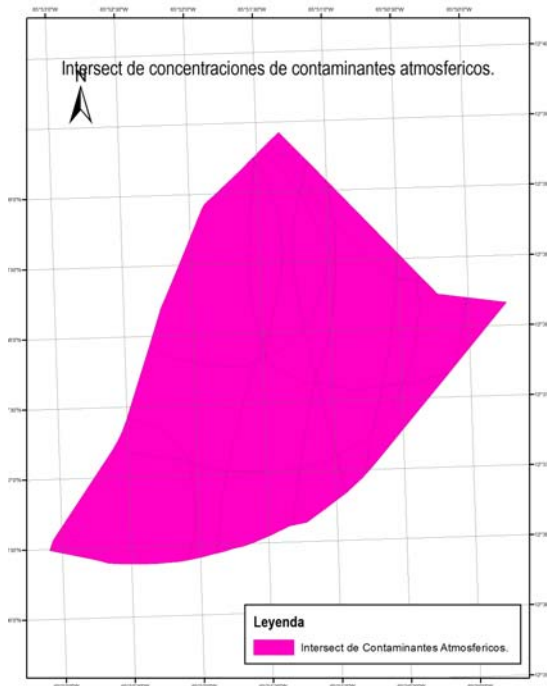
Mapa 4. Mapa de Vías y Canales. Localidad de Puente Aranda.

El mapa 4 es el resultado de la capa o shapefile creado en ArcGIS para representar las vías y canales presentes en la localidad de Puente Aranda.

- Mapas de contaminantes

Fue realizado en ArcGIS. Se realizó un mapa de concentraciones de cada contaminante para la ciudad entera, después una intersección de los contaminantes y se cortó la parte correspondiente a la localidad de Puente Aranda que es el mapa 5. Las concentraciones no cambian mucho dentro de la misma localidad, razón por la cual el mapa luce como un polígono de un solo color.

La realización de este mapa tuvo algunos inconvenientes. Primero, el acceso a la información no fue fácil, pues aunque la información estaba disponible en internet o en la Secretaría Distrital del Medio Ambiente, el protocolo para poder acceder a ella fue un poco largo. Segundo, las estaciones meteorológicas tienen datos incompletos, por lo tanto, se realizó una interpolación de datos para así tener una base de datos más gruesa para realizar el mapa.



Mapa 5. Mapa de concentraciones de contaminantes atmosféricos. Localidad de Puente Aranda.

- Mapa de precipitación

Al igual que el mapa de contaminantes atmosféricos, se realizó un mapa de precipitación y se cortó la parte correspondiente a la Localidad de Puente Aranda. La realización de este mapa tuvo algunos inconvenientes. Primero, el acceso a la información no fue fácil, el protocolo para poder acceder a ella fue un poco largo. Segundo, las estaciones meteorológicas tienen datos incompletos, por lo tanto, se realizó una interpolación de datos para así tener una base de datos más gruesa para realizar el mapa.

- Raster



Mapa 6. Raster de Coberturas. Localidad de Puente Aranda.

El mapa 6 fue creado mediante el proceso de conversión de shapefile a Raster en ArcGIS. Esta conversión tuvo que ser realizada con esta herramienta, ya que el proceso propuesto por el modelo *CITYgreen* no permitió realizar esta acción.

10.1.2 Modelo *i-Tree Tools ECO*

La tabla 11 contempla todo lo referente al modelo *i-Tree Tools ECO*. Muestra las 5 variables principales: Estructura del bosque; Captura y almacenamiento de carbono; Remoción de contaminantes atmosféricos; Emisiones Biogénicas y a su vez muestra los indicadores y procedimientos que hacen parte de la medición de cada una de estas variables.

Tabla 11: Módulos, variables y procedimientos involucrados en el análisis realizado por el *i-Tree Tools ECO*

VARIABLE	INDICADOR	PROCEDIMIENTO PRINCIPAL	PROCEDIMIENTO SECUNDARIO
----------	-----------	-------------------------	--------------------------

ESTRUCTURA DEL BOSQUE	Área y Biomasa de la hoja	Regresión para arboles caducifolios.	<p>1) 54 árboles urbanos fueron seleccionados como objeto de estudio.</p> <p>2) Se recolecto una muestra de 0.4 m3 de hojas de cada uno.</p> <p>3) El área de cada hoja, fue medida con un "leaf-area meter".</p> <p>4) Se secaron las hojas para poder pesarlas.</p> <p>5) El cociente del área de la hoja /m3 de muestra se multiplico por el volumen de la copa de cada árbol para obtener el Área y biomasa de las hojas.</p>
		LAI (Índice de superficie foliar)	$LAI = s/G$ Donde s es el área funcional (verde) de la hoja en el terreno (G)
		Factor de sombra	Valor estándar en bibliografía.
		CLE (Crown light exposure).Exposición de la copa a la luz	Estimación en campo. Rango 1-5
		Ajuste Área de la hoja.	Una vez realizados los cálculos de área y biomasa de las hojas, el área de la hoja se ajusta por medio de un factor de condición del follaje. (% de muerte de la copa)
	Diversidad de especies	Shannon- Wiener	
	Valor estructural	Valor del árbol= Valor Base*área transversal*Clase por Especie*Clase por Condición*Clase por Localización	<p>1) Valor Base: Valor de Reemplazo del árbol/Área del tronco</p> <p>2) Área Transversal: $D^2*0.7854$</p> <p>3) Clase por especie: 1-100 % de acuerdo al aporte de las especies.</p> <p>4) Clase por Condición: Factor que indica el estado de los individuos. 1-100%.</p> <p>5) Clase por Localización: Aporte estético y funcional dentro del paisaje.1-100%.</p>
Efecto en las plagas	Se evalúa el daño potencial del ecosistema por ataque de plagas		
CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO	Carbono Almacenado/Stock	Biomasa seca *0.5	<p>1) Ecuaciones de biomasa "overground" se convierten en biomasa total del árbol por medio de un cociente de 0.26 (Root-to-shoot)</p> <p>2) Biomasa húmeda se convierte en biomasa seca por medio de un factor de género o especie. 0.56 para especies maderables y 0.48 para coníferas.</p>
	Crecimiento y taza de captura de carbono	<p>1) Crecimiento Base/estándar de arboles urbanos.</p> <p>2) Diferencia de Carbono entre el año x y el año x+1 es la cantidad " gruesa" de carbono capturado al</p>	<p>1) Crecimiento estándar (SG): $0.83*(\# \text{ de días sin nieve}/153)$</p> <p>2)Crecimiento base (BG) según CLE ; CLE 0-1 $BG=SG/2.26$; CLE 2-3 $BG=SG/1.78$ CLE 4-5 $BG=SG$</p>

		año.	
REMOCION CONTAMINANTES ATMOSFERICOS	Remoción de contaminantes	1) Calculo del flujo de contaminante $F=Vd \cdot C$	Velocidad de deposición (Bibliografía) y concentraciones de cada contaminante.
EMISIONES BIOGENICAS	Emisiones biogénicas de COVs	Niveles de emisión estándar.	La biomasa de la hoja se multiplica por los factores de emisión específicos para genero/especie. Este resultado es después ajustado por medio de factores de corrección de luz, temperatura y datos climatológicos locales.
	Efecto en la cantidad de energía consumida por los edificios y en las emisiones de plantas de energía relacionadas con este efecto	1) MWh de energía para condicionar en el verano (acondicionamiento) 2) Mbtus y MWh en invierno(calefacción)	Características del árbol, del lugar, del clima están involucradas en estos cálculos.
EDIFICIOS Y CONSUMO DE ENERGIA		Ajuste por condiciones del árbol	Los cálculos estimados anteriormente son ajustados dependiendo de la condición del árbol. Ajuste en energía= $0.5 \cdot (0.5 \cdot \text{condición del árbol})$; Donde la condición del árbol = 1-% de muerte de la copa
		Efectos en el clima local	El efecto en la cantidad de energía es convertido en t CO2 para convertirse en Mbtus y MWh. Después le es asignado un valor monetario según la cantidad de Mbtus y MWh.

10.1.3 Modulo *i-Tree Tools Streets*

La tabla 12 contempla todo lo referente al modelo *i-Tree Tools Streets*. Muestra las 4 variables principales: Estructura; Valor; Necesidades de manejo y Función; y a su vez, muestra los indicadores y procedimientos que hacen parte de la medición de cada una de estas variables.

Tabla 12: Módulos, variables y procedimientos involucrados en el análisis realizado por el i-Tree Tools Streets

VARIABLE	INDICADOR	PROCEDIMIENTO PRINCIPAL
----------	-----------	-------------------------

ESTRUCTURA	Numero de arboles	Censo/Muestreo al azar(estratificado o no estratificado)
	DAP	Medición en campo
	Composición de especies	Lista de sp
	Edad Relativa	Categorización por clases de DAP
	Diversidad	Índice de Shannon-Wiener
	Cobertura del dosel	Procesamiento de imágenes satelitales
	Área de la superficie de la Hoja	Procesamiento de imágenes satelitales
	Clasificación de especies	BD (Broadleaf) Grande (BDL), Mediano (BDM) y pequeño (BDS). BE (Broadleafevergreen) Grande (BEL), Mediano (BEM) y pequeño (BES). C (Conifera) Grande (CL), Mediano (CM), y pequeño (CS).
	Condición	Índice que muestra que tan saludable esta un árbol y su desempeño relativo según las condiciones del lugar donde se encuentra. (1-100%)
	ELECTRICIDAD	Valor /unidad. Precios guías de empresa prestadora del servicio
VALOR	GAS	Valor /unidad. Precios guías de empresa prestadora del servicio
	AGUA	1) Total anual Gastos manejo de infraestructura/Escoorrentía m3 2) Calculo de cantidad de escoorrentía Donde A= Área Total ; Eis = Área total de superficie impermeable= Promedio anual de precipitación $Rd = A \times Eis \times P$
	REDUCCION DE CO2 ATMOSFERICO	El valor de la unidad de CO2 reducido / evitado se calculo con base en un estudio anterior y se tomo igual.
	REDUCCION DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS	El valor de la unidad de los diferentes contaminantes se calculo con base en un estudio anterior y se tomo igual.
PROPIEDAD	% de incremento del valor de la propiedad en venta. Valor base calculado de estudios anteriores. Factor de ajuste de acuerdo a la localización del árbol.	

GASTOS NETOS $C = p + t + r + d + e + s + c + l + a + q$ Donde p=Gastos anuales de plantación= gastos anuales de podar= gastos anuales de remoción y disposición de material vegetal= gastos anuales de control de plagas y enfermedades; e= Gastos anuales de riegos= gastos anuales de control y mitigación de daños a infraestructuras=Gastos anuales de limpieza de material vegetal= Gastos anuales de litigación y resolución de problemas causados por arboles; a= gastos anuales de preparaciones de programas de manejo= Gastos anuales de respuesta y atención a solicitudes por el arbolado.

NECESIDADES DE MANEJO	PODA	Identificación de necesidades básicas de poda
	TALA	Identificación de necesidades básicas de tala
	MONITOREO	Monitoreo adecuado del arbolado urbano
FUNCION	Balance entre entradas y salidas	Equilibrio entre lo que invierte la ciudad en general y lo que le devuelven o lo que representan los arboles en cuanto a este valor. Esta relación se hace con base en los cálculos realizados anteriormente.

La tabla 13, muestra entonces un resumen de las variables principales abordadas por cada modelo. Existen algunas abordadas por los tres modelos, como captura y almacenamiento de carbono y remoción de contaminantes aéreos y vemos que hay algunas exclusivas para cada modelo.

Esto depende de factores como: El objetivo para el cual fue creado el modelo, la población a la que estaba enfocada el modelo y el origen del mismo. Todo esto influye pues crea características especiales que influyen a utilizar ciertas variables por encima de otras.

Tabla 13: Resumen variables principales de los modelos de cuantificación de servicios ambientales.

Variables	CITYgreen	i-Tree Tools ECO	i-Tree Tools Streets
Captura y almacenamiento de Carbono	X	X	X
Remoción de contaminantes atmosféricos	X	X	X
Calidad del agua		X	X

Volumen de escorrentia		X	
Estructura del Bosque	X		
Emisiones Biogénicas			X
Edificios y consumo de energía	X		
Valor			
Necesidades de manejo	X	X	
Función	X	X	

10.2 Homologación de Variables

10.2.1. Información Localidad Puente Aranda

Para poder llegar a decidir la aplicabilidad de las variables y procedimientos de los modelos *CITYgreen*, *i-Tree Tools ECO* y *i-Tree Tools Streets* expuestos anteriormente, se realizó una confrontación con un estudio de caso. Para esto se utilizó La localidad de Puente Aranda y se obtuvo la información que existía acerca de ella.

La tabla 14 muestra un resumen de la información obtenida y las fuentes de esta, para la localidad de Puente Aranda.

Tabla 14: Información de Fuentes de Información. Localidad de Puente Aranda

INSTITUCION	INFORMACION
JBB- Censo Arbolado Urbano	<p>Atributos físicos por especie</p> <p>Estado físico y sanitario de los individuos</p> <p>Observaciones con respecto a la disposición de los individuos.</p> <p>Sistemas de emplazamiento de los individuos</p> <p>*En general, fue al información propuesta por La Secretaria del Medio Ambiente en sus formatos de toma de datos,</p> <p>Capas/Coberturas para SIG.</p>
IDEAM	Datos de precipitación de las diferentes estaciones meteorológicas dispuestas alrededor de la ciudad.

Secretaría del Medio Ambiente/Red de Calidad Del Aire	Concentraciones de contaminantes atmosféricos de las diferentes estaciones de medición de calidad del aire dispuestas por alrededor de la ciudad.
---	---

10.2.2 CITYgreen-Puente Aranda

Una vez recolectada la información necesaria por la Localidad de Puente Aranda, se realizó una confrontación para ver cuales variables del modelo *CITYgreen* eran aplicables a este lugar. La confrontación se realizó a través de la comparación de lo requiere el modelo para su funcionamiento y lo que se tiene sobre el área de estudio. La tabla 15 muestra que variables (con indicadores y procedimientos) del *CITYgreen* son aplicables o no a la Localidad de Puente Aranda y la explicación del por qué.

Tabla 15: Aplicabilidad de variables del CITYgreen a Puente Aranda.

VARIABLE	INDICADOR	PROCEDIMIENTO PRINCIPAL	APLICA A PUENTE ARANDA	EXPLICACION
CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO	Carbono almacenado/stock para un Bosque Urbano	Biomasa*0.45	NO	Este indicador no puede ser aplicado a Puente Aranda directamente como está definido, ya que los cálculos de la biomasa y las constantes derivadas de estos cálculos, están basados en poblaciones con características muy diferentes a las de la Localidad.
	Carbono almacenado/stock /árbol Taza de captura /árbol	Tipos de distribución de la población.	NO	Este indicador no puede ser aplicado a Puente Aranda directamente como está definido, ya que las clases de DAP's están determinadas por características y comportamientos de especies muy diferentes a las de la Localidad.
		Promedio de cobertura arbórea	NO	Este indicador no puede ser aplicado directamente a Puente Aranda, ya que el promedio de cobertura arbórea fue determinado para algunas ciudades de Estados Unidos y debido al desarrollo, a los proyectos de planeación y al tamaño del país y de las ciudades, la cobertura arbórea de la localidad no es igual a la definida para el análisis.
		Factores por Tipos de	NO	Ya que los tipos de población definidos por el programa no son adecuados para la localidad,

		población		tampoco lo son los factores derivados de estos.
		Ton carbono/acre	NO	El valor de este indicador, depende exclusivamente de los resultados obtenidos de los cálculos anteriores, por lo tanto, si los indicadores anteriores no son adecuados para la localidad, este resultados tampoco lo es. Aunque, hay que tener en cuenta, que el único dato real para la localidad es la extensión, que en este caso existe en m ² o en hectáreas.
		Cantidad anual de carbono/acre/en un área determinada	NO	El valor de este indicador, depende exclusivamente de los resultados obtenidos de los cálculos anteriores, por lo tanto, si los indicadores anteriores no son adecuados para la localidad, este resultados tampoco lo es. Aunque, hay que tener en cuenta, que el único dato real para la localidad es la extensión, que en este caso existe en m ² o en hectáreas.
		Cantidad de carbono total/año/en un área	NO	El valor de este indicador, depende exclusivamente de los resultados obtenidos de los cálculos anteriores, por lo tanto, si los indicadores anteriores no son adecuados para la localidad, este resultados tampoco lo es. Aunque, hay que tener en cuenta, que el único dato real para la localidad es la extensión, que en este caso existe en m ² o en hectáreas.
	Crecimiento y tasa de captura en un bosque urbano	Crecimiento anual	NO	Este indicador no puede ser aplicado a Puente Aranda directamente como está definido, ya que los cálculos de la biomasa y las constantes derivadas de estos cálculos, están basados en poblaciones con requerimientos para el crecimiento diferentes a los de las especies presentes en la localidad. Además existen muy pocos o ningún estudio acerca del tema que permita corroborar la información.
		Mortalidad	NO	Este indicador no puede ser aplicado a Puente Aranda directamente como está definido, ya que las tasas de mortalidad dependen de varios factores, que no son los mismos en cada lugar. Además existen muy pocos o ningún estudio acerca del tema que permita corroborar la información.

		Perdida de hojas	NO	Este indicador no puede ser aplicado a Puente Aranda directamente como está definido, ya que los arboles de la localidad, por estar presentes en países con latitudes más bajas, condiciones climáticas diferentes, presentan una tasa de pérdida de hojas diferente a la propuesta por el modelo para el análisis. Además existen muy pocos o ningún estudio acerca del tema que permita corroborar la información.
		Carbono neto	NO	Ya que el carbono neto fijado por un individuo o bosque, depende de la ganancia por crecimiento y pérdida por muerte y pérdida de hojas, no puede ser calculado con las constantes propuestas por el modelo para estos indicadores, pues las condiciones de la localidad hacen que estas tasas y constantes sean diferentes.
REMOCION CONTAMINANTES ATMOSFERICOS	Remoción de contaminantes	1) Calculo del flujo de contaminante $F=Vd \cdot C$	SI	Este indicador puede ser aplicado directamente a la localidad. Este proceso puede ser realizado, ya que se conocen las concentraciones de los contaminantes a evaluar y existe en la bibliografía el valor de la velocidad de deposición de cada uno de ellos.
AGUA	Cantidad de agua de escorrentía en un área	Porcentajes de coberturas de uso del suelo	SI	Esta variable puede ser aplicada, ya que depende estrictamente del % de cada cobertura que exista en el lugar de estudio. Por lo tanto es algo que decide el investigador.
		Precipitación	SI	Esta variable puede ser aplicada, ya que depende estrictamente de las condiciones climáticas del lugar y además puede ser medida fácilmente por las instituciones encargadas.
		Distribución de la lluvia	SI	Esta variable puede ser aplicada, ya que depende estrictamente de las condiciones climáticas del lugar y además existen los patrones de comportamiento de la precipitación de lugar de estudio.
		Gradiente	SI	Esta variable puede ser aplicada, ya que depende estrictamente de las características del relieve del lugar. Además, existen instituciones encargadas de realizar los estudios pertinentes para obtener la

				información.
		Grupo hidrológico	NO	Aunque por inferencia, se puede llegar a decidir el grupo hidrológico del lugar, este indicador no puede ser aplicado directamente como ésta definido, ya que las condiciones de los lugares son diferentes y además son pocos los estudios que corroboren esta información.
		Características de permeabilidad del suelo	NO	Aunque por inferencia, se puede llegar a decidir el grupo hidrológico del lugar, este indicador no puede ser aplicado directamente como ésta definido, ya que las condiciones de los lugares son diferentes y además son pocos los estudios que corroboren esta información.
		Numero de curva	NO	El indicador no puede ser aplicado directamente como está definido, ya que este depende de la cantidad y la distribución del agua lluvia en un lugar. Por lo tanto, al tener un régimen y una cantidad de precipitación diferente, el número de curva definido por el programa no aplica para la localidad.
		Ecuación de escorrentía	SI	El indicador no puede ser aplicado directamente como está definido, ya que este depende de la cantidad y la distribución del agua lluvia en un lugar. Por lo tanto, al tener un régimen y una cantidad de precipitación diferente, el número de curva definido por el programa no aplica para la localidad.
		longitud del flujo	NO	El indicador no puede ser aplicado directamente como está definido, ya que este depende de la cantidad y la distribución del agua lluvia en un lugar. Por lo tanto, al tener un régimen y una cantidad de precipitación diferente, el número de curva definido por el programa no aplica para la localidad.
	TR-55	Pico del flujo	NO	El indicador no puede ser aplicado directamente como está definido, ya que este depende de la cantidad y la distribución del agua lluvia en un lugar. Por lo tanto, al tener un régimen y una cantidad de precipitación diferente, el número de curva definido por el programa no aplica para la localidad.

		Volumen de almacenamiento	NO	Aunque si se conociera la cantidad de agua de escorrentía de la localidad, los precios por unidad propuestos por el programa no son los mismos en Puente Aranda. Por lo tanto, la variable no puede ser aplicada directamente.
	Valor monetario	Posible Volumen de agua escorrentía si los arboles fueran removidos.	NO	El indicador no puede ser aplicado directamente, ya que no se conoce con certeza la cantidad de agua de escorrentía.
	Calidad del agua	Relación entre el tipo de cobertura y la cantidad de contaminantes y partículas suspendidas en el agua que pasa por ellas.	NO	El indicador no puede aplicarse directamente, pues aunque se conoce la distribución y el porcentaje de cada cobertura presente en el lugar, no se conoce con certeza la cantidad de contaminantes y partículas presentes en el agua. Además existen muy poco o ningún estudio sobre el tema para corroborar los resultados.

10.2.3 *i-Tree Tools ECO* – Puente Aranda

Una vez recolectada la información necesaria por la Localidad de Puente Aranda, se realizó una confrontación para ver cuales variables del modelo *i-Tree Tools ECO* eran aplicables a este lugar. La confrontación se realizó a través de la comparación de lo requiere el modelo para su funcionamiento y la información que se tiene sobre el área de estudio.

La tabla 16 muestra que variables del *i-Tree Tools* son aplicables o no a Puente Aranda y la explicación del por qué.

Tabla 16: Aplicabilidad de variables del *i-Tree Tools ECO* a Puente Aranda

VARIABLE	INDICADOR	PROCEDIMIENTO PRINCIPAL	APLICA A PUENTE ARANDA	EXPLICACION

ESTRUCTURA DEL BOSQUE	Área y Biomasa de la hoja	Regresión para arboles caducifolios.	NO	Este indicador no puede ser aplicado a Puente Aranda directamente como está definido, ya que la regresión en la que se basan los cálculos fue determinada para arboles con características diferentes a los de la localidad y aunque algunos árboles presentes en Puente Aranda pueden ser caducifolios, no es una característica constante en la vegetación.
		LAI (Índice de superficie foliar)	NO	El indicador no puede ser aplicado directamente como está definido por el modelo, ya que la información necesaria para realizar los cálculos no existe o está incompleta.
		CLE (Crown light exposure).Exposición de la copa a la luz	NO	El indicador no puede ser aplicado directamente como está definido por el modelo, ya que la información necesaria existe en otros términos (Los datos existen pero bajo conceptos diferentes) o no existe.
		Ajuste Área de la hoja.	NO	Aunque la categorización de la condición del árbol, que es parte de la información necesaria para calcular este indicador existe, los cálculos sobre área y biomasa de la hoja no son acertados para el área de estudio, por lo tanto el indicador no puede ser aplicado directamente a la localidad de Puente Aranda.
	Diversidad de especies	Shannon- Wiener	SI	Este indicador puede ser aplicado directamente, ya que depende estrictamente de la composición de la vegetación de cada lugar.
	Valor estructural	Valor del árbol= Valor Base*área transversal*Clase por Especie*Clase por Condición*Clase por Localización	SI	Este indicador puede ser aplicado directamente, ya que pueden realizarse los cálculos para obtener la información necesaria para su cálculo.
	Efecto en las plagas	Se evalúa el daño potencial del ecosistema por	NO	Este indicador no puede aplicarse directamente, ya que información sobre el tema es desconocida.

		ataque de plagas		
CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO	Carbono Almacenado/Stock	Biomasa seca *0.5	SI	Este indicador puede ser aplicado directamente a la localidad, ya que el cálculo de la biomasa puede realizarse por medio de la metodología que el investigador prefiera y el factor de conversión de 0.5 es un factor estándar definido por una institución encargada del tema (FAO).
	Crecimiento y tasa de captura de carbono	1) Crecimiento Base/estándar de arboles urbanos. 2) Diferencia de Carbono entre el año x y el año x+1 es la cantidad " gruesa" de carbono capturado al año.	NO	Este indicador no puede ser aplicado ya que el procedimiento base para realizar su cálculo se basa en los días con nieve presentes en el lugar y como ese es un factor que no existe en la Localidad de Puente Aranda, cualquier resultado sería inadecuado.
REMOCION CONTAMINANTES ATMOSFERICOS	Remoción de contaminantes	1) Calculo del flujo de contaminante $F=Vd \cdot C$	SI	Este indicador puede ser aplicado directamente a la localidad. Este proceso puede ser realizado, ya que se conocen las concentraciones de los contaminantes a evaluar y existe en la bibliografía el valor de la velocidad de deposición de cada uno de ellos
EMISIONES BIOGENICAS	Emisiones biogénicas de COVs	Niveles de emisión estándar.	NO	Este indicador no puede ser aplicado a Puente Aranda directamente como está definido, ya que se desconoce los factores de emisión por especie presente en la Localidad de Puente Aranda.
	Efecto en la cantidad de energía consumida por los edificios y en las emisiones de plantas de energía relacionadas con este efecto	1) MWh de energía para condicionar en el verano (acondicionamiento) 2) Mbtus y MWh en invierno(calefacción)	NO	Este indicador no puede ser aplicado a Puente Aranda directamente como está definido, ya que los regímenes de acondicionamiento para verano e invierno están bajo conceptos diferentes en los dos lugares. Por lo tanto, sería inadecuado aplicarlo.

EDIFICIOS Y CONSUMO DE ENERGIA		Ajuste por condiciones del árbol	SI	Aunque las condiciones de cada árbol existen, sería inadecuado aplicar el indicador, ya que partiríamos de un valor errado del indicador anterior.
		Efectos en el clima local	NO	Este indicador no puede ser aplicado directamente ya que es calculado con la cantidad de Mbtus MWh calculados por el indicador anterior.

10.2.4. *i-Tree Tools Streets*-Puente Aranda

Una vez recolectada la información necesaria por la Localidad de Puente Aranda, se realizó una confrontación para ver cuáles variables del modelo *i-Tree Tools Streets* eran aplicables a este lugar. La confrontación se realizó a través de la comparación de lo que requiere el modelo para su funcionamiento y lo que se tiene sobre el área de estudio.

La tabla 17 muestra que variables del *i-Tree Tools Streets* son aplicables o no a Puente Aranda y la explicación del por qué.

Tabla 17: Aplicabilidad de variables del *i-Tree Tools Streets* a Puente Aranda

VARIABLE	INDICADOR	PROCEDIMIENTO PRINCIPAL	ESTUDIO DE CASO	EXPLICACION
ESTRUCTURA	Numero de arboles	Censo/Muestreo al azar (estratificado o no estratificado)	SI	Este indicador puede ser aplicado directamente, ya que es una característica única de cada lugar.
	DAP	Medición en campo	SI	Este indicador puede ser aplicado directamente, ya que es una característica única de cada individuo.
	Composición de especies	Lista de sp	SI	Este indicador puede ser aplicado directamente, ya que es una característica única de cada lugar.
	Edad Relativa	Categorización por clases de DAP	NO	Este indicador no se puede aplicar directamente ya que el modelo define

				unas ciertas clase de DAP y no se sabe con certeza si son adecuadas para la clasificación de todas las especies,
	Diversidad	Índice de Shannon-Wiener	SI	Este indicador puede ser aplicado directamente, ya que depende estrictamente de la composición de la vegetación de cada lugar.
	Cobertura del dosel	Procesamiento de imágenes satelitales	NO	El índice no se puede aplicar directamente, ya que imágenes satelitales en tiempo real son difíciles y costosas de obtener.
	Área de la superficie de la Hoja	Procesamiento de imágenes satelitales	NO	El índice no se puede aplicar directamente, ya que imágenes satelitales en tiempo real son difíciles y costosas de obtener
	Clasificación de especies	BD (Broadleaf) Grande (BDL), Mediano (BDM) y pequeño (BDS). BE (Broadleafevergreen) Grande (BEL), Mediano (BEM) y pequeño (BES). C (Conífera) Grande (CL), Mediano (CM), y pequeño (CS).	NO	El índice no se puede aplicar directamente, ya que no se sabe con certeza si las categorías definidas por el programa son adecuadas para categorizar las especies presentes en al localidad. .
	Condición	Índice que muestra que tan saludable esta un árbol y su desempeño relativo según las condiciones del lugar donde se encuentra. (1-100%)	SI	Ese indicador puede ser aplicado directamente, ya que la condición del árbol puede categorizarse al ver cada individuos. Además depende estrictamente de los individuos presentes en el lugar.
	ELECTRICIDAD	Valor /unidad. Precios guías de empresa prestadora del servicio	SI	El indicador puede ser aplicado, ya que los valores por unidad pueden ser obtenidos y calculados

				con facilidad.
VALOR	GAS	Valor /unidad. Precios guías de empresa prestadora del servicio	SI	El indicador puede ser aplicado, ya que los valores por unidad pueden ser obtenidos y calculados con facilidad.
	AGUA	1) Total anual Gastos manejo de infraestructura/Escurrentía m3 2) Calculo de cantidad de escurrentía $Rd = A \times Eis \times P$ Donde A= Área Total ; Eis = Área total de superficie impermeable= Promedio anual de precipitación	NO	Aunque la cantidad de agua puede ser calculada, el valor del manejo de infraestructura no puede ser calculado con certeza. Esto se debe a que no existe información clara y precisa acerca de estos recursos.
	REDUCCION DE CO2 ATMOSFERICO	El valor de la unidad de CO2 reducido / evitado se calculo con base en un estudio anterior y se tomo igual.	NO	Este indicador no puede ser aplicado, ya que depende del resultado de un estudio específico realizado anteriormente.
	REDUCCION DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS	El valor de la unidad de los diferentes contaminantes se calculo con base en un estudio anterior y se tomo igual.	NO	Este indicador no puede ser aplicado, ya que depende del resultado de un estudio específico realizado anteriormente.
	PROPIEDAD	% de incremento del valor de la propiedad en venta. Valor base calculado de estudios anteriores. Factor de ajuste de acuerdo a la localización del árbol.	NO	Este indicador no puede ser aplicado, ya que la información en la que se basa el modelo es muy diferente a la de la Localidad y por lo tanto el resultado no sería certero.
	GASTOS NETOS	$C = p + t + r + d + e + s + c + l + a + q$	NO	El indicador no puede ser aplicado ya que no existe claridad acerca del manejo de los recursos destinados al mantenimiento de los arboles presentes en la Localidad de Puente

				Aranda.
NECESIDADES DE MANEJO	PODA	Identificación de necesidades básicas de poda	NO	El indicador no puede ser aplicado ya que es un indicador que depende de los resultados de indicadores anteriores.
	TALA	Identificación de necesidades básicas de tala	NO	El indicador no puede ser aplicado ya que es un indicador que depende de los resultados de indicadores anteriores.
	MONITOREO	Monitoreo adecuado del arbolado urbano	SI	
FUNCION	Balance entre entradas y salidas	Equilibrio entre lo que invierte la ciudad en general y lo que le devuelven o lo que representan los arboles en cuanto a este valor. Esta relación se hace con base en los cálculos realizados anteriormente.	NO	El indicador no puede ser aplicado ya que es un indicador que depende de los resultados de indicadores anteriores.

11. DISCUSIÓN

11.1 Variables, indicadores y procedimientos de los modelos

11.1.1 CITYgreen

El modelo *CITYgreen* realiza un análisis basado en la medición de 3 variables principales que son: Captura y Almacenamiento de Carbono, Remoción de Contaminantes Atmosféricos y Agua. A su vez estas variables son medidas con base en 8 indicadores de los 4 pertenecen a la variable de captura y almacenamiento de carbono, 1 a la variable de remoción de contaminantes atmosféricos y 3 a agua. A su vez cada indicador requiere diferentes procedimientos para su estimación.

- Captura y Almacenamiento de Carbono:

Esta variable involucra 4 indicadores en su medición. Como se puede observar, el análisis parte de una estimación de % de cobertura arbórea en las ciudades de USA, para calcular la biomasa, la distribución de las poblaciones de acuerdo a su DAP y basados en estos datos poder calcular el stock de carbono capturado por un árbol y la tasa a la que éste es capturado.

La metodología está estrechamente relacionada, ya que cada paso es realizado con el resultado del paso llevado a cabo anteriormente.

- Remoción de Contaminantes Atmosféricos

Esta variable involucra un único indicador en su medición, que es el flujo de los contaminantes atmosféricos del lugar y depende estrictamente de las condiciones del área de estudio.

- Agua

Esta variable involucra 4 indicadores en su medición. Cada indicador a su vez requiere diferentes procesos para su estimación y como en la variable de captura y almacenamiento de carbono hay algunos procedimientos que están estrechamente relacionados y dependen del resultado anterior. Esto pone desde un comienzo unas condiciones pues si hay algún procedimiento que no se pueda realizar, los otros que le siguen tampoco podrán ser llevados a cabo.

11.1.2 *i-Tree Tools ECO*

El modelo *i-Tree Tools ECO* realiza un análisis basado en la medición de 5 variables principales que son: Estructura del bosque; Captura y almacenamiento de carbono; Remoción de contaminantes atmosféricos; Emisiones Biogénicas. A su vez estas variables son medidas en 10 indicadores de los cuales 4 pertenecen a la variable de Estructura del bosque, 2 a la variable de captura y almacenamiento de carbono, 1 a la variable de remoción de contaminantes atmosféricos, 2 a la variable de emisiones biogénicas y una a la de edificios y consumo de energía. A su vez cada indicador requiere diferentes procedimientos para su estimación.

- Estructura del Bosque

Esta variable involucra 4 indicadores en su medición. Como se puede ver, la variable de área y biomasa de la hoja, se basaron en estudios específicos que permitieron después crear una ecuación general para calcular este valor en cualquier área.

El indicador de diversidad, valor estructural y efecto en las plagas puede ser medido directamente en el lugar y cada uno depende de las condiciones del lugar, no depende de ningún otro indicador o resultado para ser calculado.

- Captura y almacenamiento de carbono

Esta variable involucra 2 indicadores en su estimación. El cálculo de la biomasa y el cálculo del crecimiento de los arboles. Las dos pueden ser calculadas para cualquier área específica, pero en el caso del modelo, las constantes derivadas de estas, están basadas en datos de especies con comportamientos y condiciones muy diferentes a las del estudio de caso.

- Remoción de Contaminantes Atmosféricos

Esta variable involucra un único indicador en su medición, que es el flujo de los contaminantes atmosféricos del lugar y depende estrictamente de las condiciones del área de estudio.

- Emisiones Biogénicas

Esta variable involucra 2 indicadores para su medición. En este modulo solo hay un procedimiento a seguir y consiste en utilizar los factores de emisión de COVs y multiplicarlos por la biomasa de la hoja de cada individuo.

- Edificios y Consumo de Energía

Esta variable involucra un indicador en su medición pero requiere de varios procedimientos. El análisis parte de un cálculo de MWh utilizados en invierno y en verano como un primer paso y con base en estos resultados se realizan los siguientes cálculos.

11.1.3 *i-Tree Tools Streets*

- Estructura del arbolado urbano

Esta variable involucra 9 indicadores en su medición. 5 de ellas son indicadores que dependen de las características exclusivas del área de estudio mientras que las otras 4 son índices que dependen de cálculos realizados anteriormente o valores generales calculados previamente.

- Valor

Esta variable involucra 7 indicadores en su medición. Los valores por unidad de electricidad, agua y gas pueden obtenerse de las tarifas de las empresas prestadoras de estos servicios en la ciudad. Los otros indicadores son unidades que se utilizan como constantes pero son resultados de investigaciones realizadas en lugares muy específicos de Estados Unidos.

- Manejo de Necesidades

Esta variable involucra 3 indicadores en su medición. Los 3 indicadores resultan de estudios e información específicas de cada lugar así que pueden ser medibles en le área donde se vayan a utilizar los modelos.

- Función

Esta variable depende completamente de los valores resultantes de la variable de manejo de necesidades. Por lo tanto solo puede ser calculada si estos valores existen.

11.2 Información Localidad Puente Aranda

Como se vio durante el trabajo, la información requerida para poder alimentar la base de datos de los diferentes modelos no viene de una sola parte. Eso es debido a que los modelos fueron creados con el objetivo de unificar la información en una sola herramienta, para que cualquier persona en particular pudiera utilizar estas herramientas sin tener que buscar pedazos de información en diferentes partes.

En el caso de Puente Aranda, las principales fuentes de Información fueron el Jardín Botánico José Celestino Mutis, el IDEAM y la Secretaria Distrital del Medio Ambiente (Red de calidad del aire).

La búsqueda y obtención de información no fue fácil ya que la información que se puede obtener rápidamente no está completa y para conseguirla se requiere un protocolo bastante largo que al final termina desmotivando a las personas que la necesitan y alargando cada vez más los intentos de investigación.

El proceso para conseguir la información completa acerca de la localidad también se vio un poco truncado por las normas de confidencialidad de las instituciones, pues era difícil que permitieran el acceso a la información completa.

11.3 Homologación de Variables

11.3.1 CITYgreen-Puente Aranda

- Captura y Almacenamiento de Carbono

Como se puede ver, la metodología utilizada para poder calcular esta variable está estrechamente relacionada entre sí y cada resultado depende del anterior. Esto demuestra que ninguno de estos indicadores puede ser aplicado directamente a Puente Aranda, ya que todas las constantes que utiliza el modelo son resultado de estudios realizados en Estados Unidos y está claro que las condiciones climáticas, latitudinales, de composición y comportamiento de especies, son completamente diferentes a las de la Localidad y esto es clave a la hora de poder tomar en cuenta los resultados de esta variable.

También es importante tener en cuenta también los valores por tonelada de carbono para poder calcular el valor monetario de este beneficio, ya que aunque hay valores de referencia por Instituciones reconocidas globalmente como La FAO, el NCRS Y otras, el no utilizar siempre los mismos valores puede crear confusión en los verdaderos valores de este módulo.

Es por esto, que podemos decir, que los resultados arrojados por este modelo para la variable de captura y almacenamiento de carbono tienen un 0% de aplicabilidad.

- Remoción de Contaminantes Atmosféricos

El único indicador utilizado para el cálculo de esta variable puede ser aplicado directamente a la localidad. Esto es debido a que se conocen las concentraciones de cada contaminante a evaluar y las velocidades de deposición se encuentran en la bibliografía y porque es la única metodología utilizada para estos tipos de análisis. Es por esto que puede decirse que los resultados arrojados por esta variable tienen un 100 % de aplicabilidad.

Aunque en teoría la información está para la localidad, es importante también tener en cuenta la calidad, la cantidad y la disposición de la información, pues aunque el análisis pueda llevarse a cabo y los resultados arrojados sean adecuados, si no hay información o si está incompleta pues no puede llevarse a cabo el análisis.

- Agua

Los indicadores y procedimientos utilizados para medir esta variable no pueden ser aplicados en su totalidad. Para el indicador de cantidad de agua escorrentía en un área, solo pueden ser aplicados 4 de sus 9 procedimientos principales, esto es un 44% del indicador, mientras que los otros 3

indicadores no pueden ser aplicados a la localidad. Esto se debe, que aunque hay procedimientos que dependen de información del lugar y pueden ser obtenidos directamente, el resto dependen principalmente del modelo TR-55 de escorrentía. Este modelo tiene unas constantes que dependen de estudios muy específicos y además depende de distribución de la precipitación del lugar, que es una característica única de cada región.

Aunque, para poder utilizar los resultados de esta variable, podríamos partir del supuesto que las constantes utilizadas por el TR-55 para áreas urbanas pueden ser aplicadas en las áreas urbanas de cada región, ya que este tipo de cobertura debería tener sino las mismas, unas características muy parecidas en su permeabilidad y comportamiento con el agua de escorrentía.

Entonces aunque en un principio, los resultados arrojados por esta variable podrían tener un 30% aprox de aplicabilidad, si partimos de algunos supuestos podrían llegar a tener un 100% de aplicabilidad.

11.3.2 *i-Tree Tools ECO* -Puente Aranda

- Estructura del Bosque

Para esta variable, 5 de sus 9 indicadores pueden ser aplicados directamente. Los otros como la edad relativa, la cobertura del dosel, el área de la superficie de la hoja y la clasificación de especies dependen de ecuaciones, constantes y clasificaciones realizadas anteriormente para especies de Estados Unidos. Al ser entonces una región con características diferentes a las de la región en donde está localizada la localidad de puente Aranda, los resultados arrojados por estos indicadores estarían desajustados pues estarían alejados de la realidad.

De acuerdo entonces a esta cantidad de indicadores aplicados, puede decirse que los resultados arrojados por esta variable tienen un 55 % de aplicabilidad en la Localidad de Puente Aranda.

- Captura y almacenamiento de carbono

Esta variable depende de dos indicadores. El cálculo de la biomasa y el cálculo del crecimiento de los árboles. El modelo calcula estas dos de acuerdo a datos de especies con comportamientos y condiciones muy diferentes a las de la localidad, por lo tanto ninguna puede ser aplicada directamente. Entonces podría decirse, que los resultados arrojados por esta variable son aplicables en un 0%.

- Remoción de Contaminantes Atmosféricos

El único indicador utilizado para el cálculo de esta variable puede ser aplicado directamente a la localidad. Esto es debido a que se conocen las concentraciones de cada contaminante a evaluar y las velocidades de deposición se encuentran en la bibliografía y porque es la única metodología utilizada para estos tipos de análisis. Es por esto que puede decirse que los resultados arrojados por esta variable tienen un 100 % de aplicabilidad.

Aunque en teoría la información esta para la localidad, es importante también tener en cuenta la calidad, la cantidad y la disposición de la información, pues aunque el análisis pueda llevarse a cabo y los resultados arrojados sean adecuados, si no hay información o si está incompleta pues no puede llevarse a cabo el análisis.

- Emisiones Biogénicas

Esta variable depende de un solo indicador La información existente acerca de este tema es muy general y si se encuentra, no se encuentra para todas las especies o géneros. Al ser además un resultado que depende de la biomasa de la hoja, podría estar errado ya que los cálculos y constantes en los que se basa el modelo para realizar estos cálculos no son apropiados para el área del estudio de caso. Por lo tanto los resultados tienen un 0% de aplicabilidad.

- Edificios y Consumo de Energía

Este modulo depende principalmente de un cálculo de MWh utilizados en invierno y en verano como un primer paso y con base en estos resultados se realizan los siguientes cálculos. Esta variable no es aplicable al caso de estudio ya que la localidad no presenta invierno/verano como el que presenta el lugar de origen del estudio y por lo tanto ese tipo de información no está disponible. Por lo tanto el resultado arrojado por esta variable más que inaplicable es imposible de analizar y comparar ya que no hay estudios de ese tipo para Puente Aranda.

11.3.3 *i-Tree Tools Streets* -Puente Aranda

- Estructura del arbolado urbano

Para el cálculo de esta variable, 5 de sus 9 indicadores pueden ser aplicados directamente a la localidad de Puente Aranda. Estos indicadores pueden ser aplicados ya los valores requeridos son características únicas de cada individuo y por lo tanto eso depende específicamente de la

composición de la vegetación del área de estudio. Los indicadores como clases de DAP y clasificación de especies no aplican ya que su resultado se basa en estudios específicos con especies del lugar y las condiciones y los comportamientos de las especies de estudio de caso son completamente diferentes a las del lugar de origen del estudio. El % de cobertura del dosel y área de superficie de la hoja dependen del análisis de imágenes satelitales, y en el momento imágenes actualizadas no están disponibles, por lo tanto el resultado no puede obtenerse a. Lo mencionado anteriormente, nos permite entonces decir que los resultados de esta variable tienen un 55% de aplicabilidad.

- Valor

En este caso, solo 2 de los 7 indicadores pueden ser aplicados directamente a la localidad de Puente Aranda. Los valores por unidad de electricidad, agua y gas pueden obtenerse de las tarifas de las empresas prestadoras de estos servicios en la ciudad. Los otros indicadores, no son ajustables, pues los precios no corresponden al área de estudio y tampoco existe información similar para poder realizar este cambio. Los indicadores con respecto al valor de la unidad de carbono y de los contaminantes, no existen para el área de estudio, por lo tanto la información no podría ser comparada con nada.

- Manejo de Necesidades

Los 3 indicadores necesarios para calcular esta variable pueden ser aplicados directamente a la localidad, ya que dependen de información sobre el estado y manejo del arbolado urbano del sector. Claro está que para poder obtener resultados 100% aplicables y confiables es necesario contar con información completa y adecuada sobre el estado actual de la vegetación del área de estudio.

- Función

Esta variable depende completamente de los resultados de las variables anteriores, por lo tanto su % de aplicabilidad depende de que tanta información exista sobre el área de estudio.

Con respecto a las tablas 15,16 y 17 y en el análisis anterior, se puede decir entonces que aproximadamente más del 50 % de variables de cada modelo no pueden ser aplicadas directamente a la localidad de Puente Aranda ya que los procedimientos que realizan se basan principalmente en estudios muy específicos de especies de la región templada, por lo tanto no pueden ser utilizadas en regiones ecológicas diferentes, como lo sería nuestra región tropical. Esta falta o debilidad de aplicabilidad de estas variables se debe principalmente a la diferencia de región climática. Las condiciones climáticas y ambientales son completamente diferentes y por lo tanto la composición y comportamiento de las especies también lo son. Esto entonces determinan que cualquier ecuación de crecimiento, de biomasa, de fijación o captura de carbono no puede ser aplicado a una región tropical, ya que los resultados serían inadecuados. Por otro lado, también influye la capacitación y el

equipamiento tecnológico del lugar. En Estados Unidos, región de origen de los modelos, utilizan herramientas tecnológicas sobre las cuales corren los modelos desde etapas muy tempranas de la educación, por lo tanto esto no es una barrera para su utilización, mientras que acá, la utilización de este tipo de modelos se hace por parte de ciertos profesionales o especialistas, limitando la utilización de estas herramientas en la investigación.

11.4 Ventajas y Desventajas de los modelos

Para facilitar la identificación de las ventajas y desventajas de los modelos analizados, se dividieron en 2 categorías principales: - Software (Facilidad de adquisición, instalación, manual, interface, etc) y aplicabilidad de las variables.

11.4.1 CITYgreen

- Software

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> - El manual del usuario está redactado adecuadamente. Esto permite que su instalación sea fácil. - Los usuarios nacionales (Habitantes Americanos), pueden utilizar el modelo sin tener conocimiento o entendimiento previo sobre ArcGIS. - La institución responsable del modelo tiene un servicio de atención al cliente formidable. Las dudas son respondidas en menos de dos días hábiles y las personas detrás del mantenimiento son muy amables. 	<ul style="list-style-type: none"> - El programa tiene un costo, que además varía dependiendo de la persona que lo vaya a adquirir. Es un precio alto - El programa corre en ArcGIS 9.0 o superior, por lo tanto el usuario debe tener previamente el programa. Esto causa que el costo del CITYgreen aumente un poco más. - Los usuarios internacionales deben tener conocimiento previo en ArcGIS para poder realizar las geodatabases adecuadamente. - El usuario debe tener un conocimiento base del Inglés, para poder utilizar, entender y analizar adecuadamente lo resultados arrojados por el modelo.

- Aplicabilidad de las variables

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> -Las bases de datos en las que basa el programa pueden ser alimentadas y manipuladas por el usuario, así que los datos locales pueden ser introducidos mientras estén en los formatos que pide el programa. 	<ul style="list-style-type: none"> - El sistema métrico utilizado por el CITYgreen es diferente al nuestro, por lo tanto, y aunque se realicen las conversiones adecuadas, estos constantes cambios de unidades pueden causar confusión en los usuarios y cambiar o “empañar “la

<p>Esto permite utilizar los datos reales de cada área de estudio y no utilizar constantes que fueron calculadas en lugares con condiciones diferentes.</p> <p>- Los contaminantes escogidos por el CITYgreen para realizar el análisis, son adecuados como representantes de la contaminación urbana, ya que son resultado directo o indirecto de combustión fósil en zonas urbanas e industriales (Lovett M, Gary.1994).</p> <p>-Posee la herramienta para poder crear “posibles escenarios” y analizar el cambio en el paisaje con diferentes % de los diferentes tipos de coberturas y su efecto en el ecosistema.</p>	<p>percepción sobre cantidades y valores/unidad.</p> <p>- Como se pudo ver, los resultados del % de aplicabilidad de las variables de cada módulo a la realidad del área de estudio son bajos. Esto se debe a que en la mayoría de los casos, los estudios en los que los modelos se basan para calcular sus constantes y factores están realizados con especies de comportamiento y condiciones completamente diferentes a las del lugar de estudio.</p> <p>- Los resultados obtenidos no pueden ser comparados con ningún otro estudio del lugar, ya que no existen datos de ese tipo. Para poder realizar una comparación de estos resultados, se debe escoger una ciudad de Estados Unidos con las características más parecidas a Bogotá, ya que es el procedimiento recomendado por el CITYgreen cuando los datos de contaminantes no están disponibles ((B) American Forests. 2009).</p>
--	---

11.4.2 I-Tree Tools ECO y Streets

Para facilitar la identificación de fortalezas y debilidades del *i-Tree Tools Eco y Streets*, se tomaron como un solo modelo, ya que las variables en los dos son muy parecidas, y se dividió en 2 categorías principales: - Software (Facilidad de adquisición, instalación, manual, interface, etc) y aplicabilidad de las variables.

- *Software*

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>- El programa es gratis y de fácil acceso. Razón por la cual cualquier persona interesada puede obtenerlo.</p> <p>- El software es fácil de instalar y de usar. Los manuales están creados para poder realizar cada paso sin ninguna dificultad. Además, existe un capítulo donde están los pasos para solucionar algunas “posibles dificultades.”</p> <p>- No requiere ningún otro programa como base para funcionar.</p> <p>- La institución responsable del modelo tiene un servicio de atención al cliente formidable. Las dudas son respondidas en menos de dos días hábiles y las personas detrás del mantenimiento son muy amables.</p>	<p>-El usuario debe tener un conocimiento base del Inglés, para poder utilizar, entender y analizar adecuadamente lo resultados arrojados por el modelo.</p> <p>-El i-Tree ECO no permite la importación de bases de datos, por lo tanto los datos deben ser introducidos manualmente. Al ser un número mayor de árboles, se vuelve un trabajo muy dispendioso de realizar, además que consume mucho tiempo.</p>

- Base metodológica

FORTALEZAS	DEBILIDADES
<p>- Los contaminantes escogidos por el i-Tree Tools para realizar el análisis, son adecuados como representantes de la contaminación urbana, ya que son resultado directo o indirecto de combustión fósil en zonas urbanas e industriales (Lovett M, Gary.1994).</p> <p>- Permite algunos cambios en cuanto a valores por unidades de combustibles y contaminantes, por lo tanto los usuarios pueden introducir los valores más adecuados al área de estudio.</p> <p>- En cuanto a la variable de estructura, permite un análisis más acertado, ya que permite el ingreso de bastantes atributos que son únicos de cada lugar, por lo tanto los resultados arrojados son más cercanos a la realidad del lugar que cualquier otro.</p> <p>- A diferencia del CITYgreen, el i-Tree Tools tiene en cuenta las especies y sus características.</p>	<p>- Como se pudo ver, los resultados del % de aplicabilidad de las variables de cada módulo a la realidad del área de estudio son bajos. Esto se debe a que en la mayoría de los casos, los estudios en los que los modelos se basan para calcular sus constantes y factores están realizados con especies de comportamiento y condiciones completamente diferentes a las del lugar de estudio</p> <p>- El modelo en general se basa en estudios, ecuaciones y constantes realizadas en un área muy específica, por lo tanto el modelo se termina volviendo específico del lugar de origen y no pueden ser aplicados a lugares con condiciones diferentes.</p> <p>- Esta localización y especificidad, hacen que los resultados arrojados sean imposibles de comparara y/o tener en cuenta como guías para estudios en países tropicales.</p> <p>- Al tener una lista específica de especies por región, las especies y sus atributos que no aparecen en esa lista no entran en el análisis y por lo tanto los resultados son nulos al dar valores sobre un área con datos incompletos.</p>

11.5 Ajustes y Requerimientos de los modelos

Como lo muestra el resultado del primer objetivo específico, el numeral 10.1 la metodología en la que están basados el *CITYgreen* y el *i-Tree Tools* para realizar una cuantificación de los servicios ecosistémicos generados por los árboles y bosques urbanos es bastante y específica para la región templada, donde fueron creados.

Es necesario identificar y crear ajustes los ajustes pertinentes a este tipo de herramientas para que puedan ser utilizados en regiones con condiciones diferentes a las de su lugar de origen. En este caso, los ajustes más importantes giran en torno a la introducción y eliminación de algunas variables involucradas en el proceso. Pero para eso es necesario realizar primer un estudio a fondo para estar seguros que las variables que vamos a introducir y a retirar son las adecuadas.

Se pueden tomar como puntos de partida los siguientes ajustes:

1. Realizar un censo o monitorear un censo ya creado para conocer el estado actual de la vegetación.
2. Establecer la metodología de cálculo de biomasa adecuada para nuestras condiciones.
3. Realizar los estudios necesarios en cuanto a: Identificación de ecuaciones de crecimiento adecuadas para especies con condiciones como las del trópico; Identificar y poder llegar a una regresión adecuada para calcular área de la hoja y poder llegar a tener una o dos ecuaciones promedio para utilizar bajo estas condiciones específicas.
4. Realizar mediciones más completas acerca de la sombra y el efecto de esta en la vegetación, para así poder introducir variables que en los modelos están basados en estos datos.
5. Eliminar variables y procedimientos basados en: Días con o sin nieve; Pérdida completa de las hojas por las estaciones.
6. Introducir variables como: Granizadas, heladas

12. CONCLUSIONES

El *CITYgreen* y el *i-Tree Tools (ECO Y Streets)* son modelos creados con un propósito definido. Acercar a las personas a la ecología y al manejo de recursos sin necesidad de involucrarse en el tema de la investigación del área ambiental.

En general, son una herramienta adecuada para que cualquier persona pueda cuantificar los servicios ecosistémicos prestados por los árboles de su ciudad o lugar de vivienda.

Aunque el *CITYgreen* y el *i-Tree Tools (ECO Y Streets)* tienen una metodología muy completa y muy específica para poder calcular y cuantificar de una forma detallada los beneficios ofrecidos por los bosques urbanos, son modelos que gracias a este nivel de detalle solo pueden aplicarse en regiones templadas, ya que su base metodológica está bajo esas condiciones. La única forma para poder utilizar la base de datos es por medio de una analogía entre las ciudades a estudiar, caso que no sería muy preciso pues se pasarían por alto las características de la ciudad o del lugar objeto de estudio.

En caso tal que los modelos pudieran ser alimentados, la información requerida no está disponible. Ya sea porque no se encuentran investigaciones de ese tipo, o porque está incompleta o porque la institución encargada de su manejo no permite su acceso. Esto revela la necesidad de incrementar y mejorar cada vez la calidad de información en nuestro país.

Aunque los modelos están muy bien planteados y la información que requieren y los resultados que arrojan son adecuados para realizar estudios sobre los servicios ecosistémicos generados por los árboles y bosques urbanos, es adecuado no utilizarlos y crear unos modelos y herramientas propias para nuestra región y para nuestro País. Nos sirven como guía, como modelo a seguir, pues son una prueba que este tipo de herramientas funcionan y sirven para acercar cada vez más a las personas a la ecología y al cuidado del medio ambiente.

Si se tuviera que escoger un modelo para realizar los ajustes pertinentes y utilizarlo, sería el *CITYgreen*, ya que es el único que permite alimentar las bases de datos con los datos locales y es el único que no discrimina datos al realizar los análisis. Los resultados dependen de las capas y mapas creados en ArcGIS y como estas son realizadas con imágenes y fotografías del lugar a estudiar, siempre serán mucho más cercanas a la realidad.

En caso de una eventual aplicación de los modelos, los ajustes más importantes serían con respecto a la variable de captura y almacenamiento de carbono. Se deben especificar las ecuaciones de crecimiento de los árboles y de las áreas de las hojas, para así poder tener un cálculo más acertado. Estos ajustes son con respecto a esta variable, ya que también es la variable más importante en la que se deberían los estudios sobre servicios ecosistémicos en las ciudades.

Es importante que las instituciones encargadas del manejo de la información pertinente al medio ambiente, tengan una mejor atención con respecto al acceso de la información, ya que hay muchas personas interesadas que podrían utilizar la información para investigaciones valiosas.

13. RECOMENDACIONES

Realizar una entrevista a personajes claves en el manejo de silvicultura urbana, para poder entender más a fondo los requerimientos de este tipo de vegetación.

Una vez realizada la entrevista e identificadas las necesidades principales de la vegetación urbana, partir la metodología en módulos y variables, para así poder entender detalladamente los requerimientos y pasos a seguir en cada variable y modulo.

Enfocarse en una variable de estudio, en este caso, la variable de captura y almacenamiento de carbono y realizar los estudios necesarios para empezar a recolectar la información pertinente para los análisis.

Proponer un grupo de trabajo en la universidad, que empiece desde semestres bajos, (6, 7,8) para conocer a fondo los arboles en el campus, sus características y comportamiento. Ser ese ente institucional que impulse estudios e investigaciones de tipo urbanas, para así poder aumentar el conocimiento acerca de estos ecosistemas.

Extender estas investigaciones a otras entidades regionales, para así poder empezar a crear una base de datos propia y poder crear nuestros propios modelos basados en las características de nuestra región.

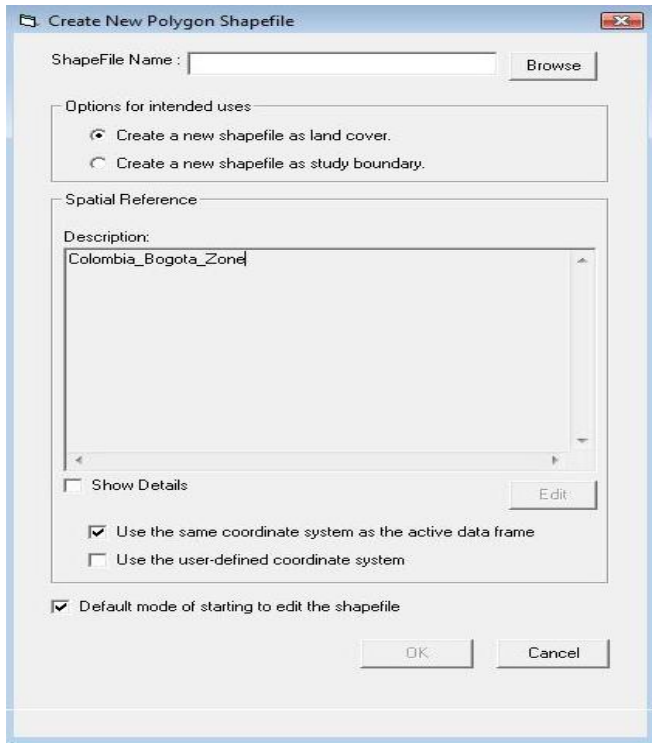
Aprovechar las condiciones de nuestro país para realizar investigación, ya que no debemos esperar épocas "favorables" para poder realizar estudios. Podemos hacerlos durante el año entero.

Realizar una categorización, como el que realizó el Jardín Botánico de Bogotá en el *Manual De Silvicultura Urbana*, en cuanto a los beneficios y daños generados por los árboles urbanos, para así poder llegar a identificar árboles más o menos favorable para plantar de acuerdo a diferentes objetivos de planeación y manejo de este recurso.

14. ANEXOS

Anexo 1. Pasos para crear un shapefile

Figura 5. Creación de un shapefile con sus referencias espaciales.



Anexo 2. Pasos para asignar nombres en shapefiles

Figura 6a. Asignación del nombre en la tabla de atributos. (Zonas Verdes)

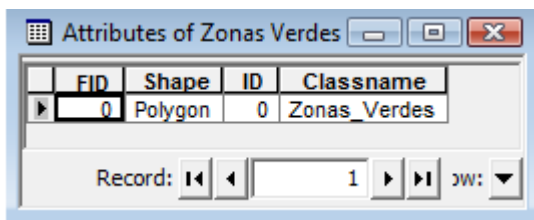
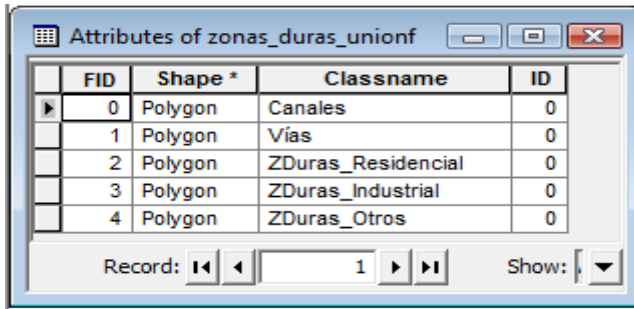


Figura 6b. Asignación del nombre en la tabla de atributos (Zonas NO Verdes)

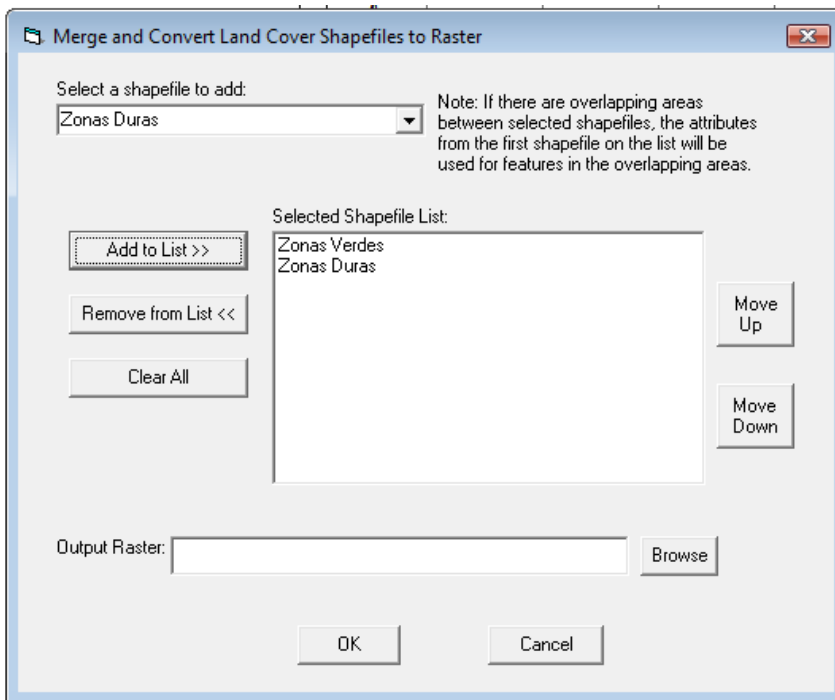


FID	Shape *	Classname	ID
0	Polygon	Canales	0
1	Polygon	Vías	0
2	Polygon	ZDuras_Residencial	0
3	Polygon	ZDuras_Industrial	0
4	Polygon	ZDuras_Otros	0

Record: 1 Show: [v]

Anexo 3. Pasos para configurar un raster.

Figura 7. Conversión de Polígonos a Raster



Anexo 4. Pasos para configurar el mapa de coberturas.

Figura 8. Configuración del mapa de coberturas.

Select Land Cover Data:

Select the Field containing Land Cover Class:

Please Select Land Cover Classes to be Configured:

Old Class Name	New CgFeature Name
▶ Open Space - Grass/Scattered Trees	
Trees	
Urban	
Urban: Industrial	
Urban: Residential	

Choose the corresponding CGFeature to assign to the selected record.
If no CGFeature is selected, the CGFeature and CN_Code will be replaced by the default land cover.

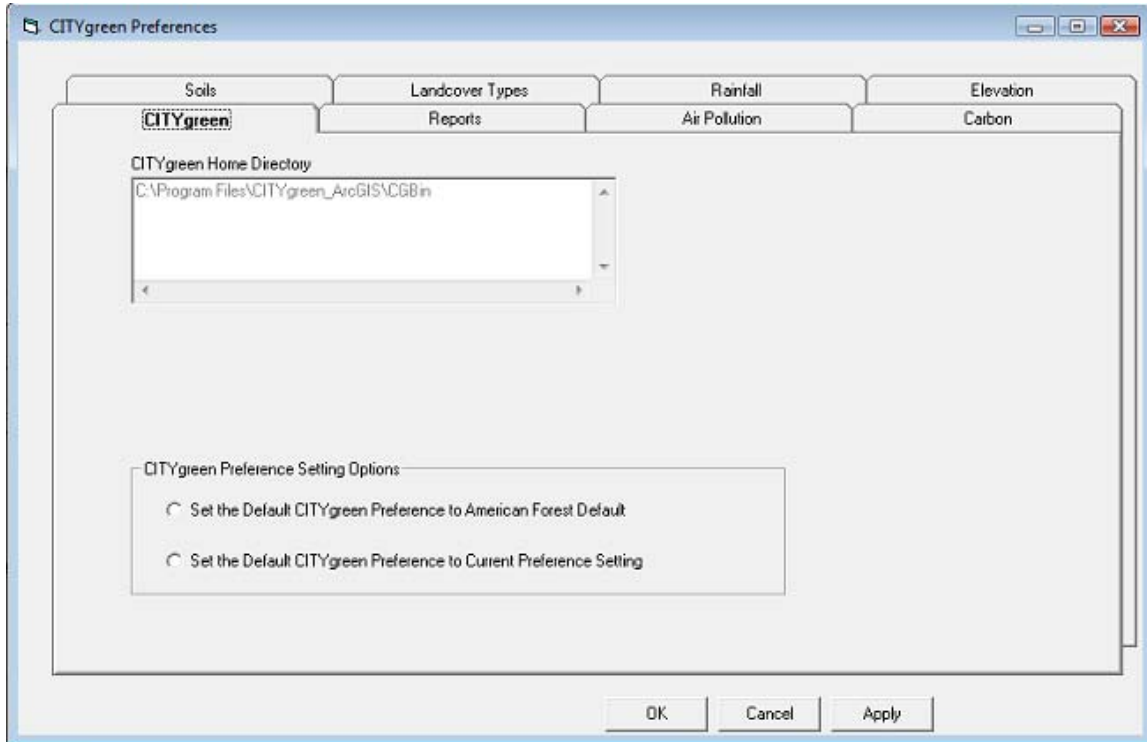
Set Output Extent

Set Output Extent to the Selected Study Boundary:

Output Raster:

Anexo 5 Pasos para determinar y cargar los datos específicos del lugar al modelo *CITYgreen*.

Figura 9. Determinación de las condiciones específicas del lugar.



Anexo 6. Pasos para configurar el análisis final del *CITYgreen*

Figura 10. Análisis del *CITYgreen*

14. BIBLIOGRAFÍA

(A) American Forests.2009.**Regional Ecosystem Analysis. Chesapeake Bay Region and the Baltimore- Washington Corridor.** Documento En línea:
https://www.americanforests.org/downloads/rea/AF_Chesapeake.pdf.

(B) American Forests. 2009. **International User´s Guide for CITYgreen.** Unpublished document

(C) American Forests. 2009. <http://www.americanforests.org/downloads/graytogreen> Visitada por última vez el 1 de Octubre del 2009.

(D) American Forests .2009. <http://www.americanforests.org/productsandpubs/citygreen/school.php>. Visitada por última vez el 14 de Noviembre, 2009.

Alcaldía Mayor de Bogotá. 2004. **Recorriendo Puente Aranda: Diagnostico físico y socioeconómico de las localidades de Bogotá D.C.** Bogotá, Colombia.

(A) Alcaldía Mayor de Bogotá & JBB. 2007. **Plan Local de Arborización Urbana. Localidad de Puente Aranda.** Bogotá. Colombia.

(B) Alcaldía Mayor de Bogotá & JBB.2007.**Proyecto de decreto.** Bogotá, Colombia.

(C) Alcaldía Mayor de Bogotá.2003. Decreto 472/2003.Bogota, Colombia.

Alcaldía Mayor de Bogotá, IDU, DAMA, JBB.2002.Complemento al Manual verde. Complemento al diseño preliminar del manual verde.

Balvanera Patricia & Colter Helena.2007.**Acercamiento al Estudio de los Servicios Ecosistemicos.** Gaceta Ecología, Numero especial 84-85.8:15.Instituto Nacional De Ecología. México.

Baptiste, L.G & Piñeros A.M. 2006. **Protocolo para la identificación y proyección de bienes y servicios ecosistémicos proporcionados por la biodiversidad a los sistemas de producción.** Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de estudios Ambientales y Rurales, Bogotá, Colombia. Documento Sin Publicar

Bedoya, J. 2002. **El Hombre y Su Ambiente. La problemática de la Contaminación Ambiental y Aportes para su Solución.** Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Colombia.

Boydb J & Banzhafa S. 2007. **What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units.** Ecological economics 63: Págs. 616-626.

Burden, D. 2006. 22 Benefits of Urban Street Trees. Glattig Jackson and Walkable Communities, Inc. Documento en línea: <http://www.ufe.org/files/pubs/22BenefitsofUrbanStreetTrees.pdf>

Boukhari, S. 1999. **Los bosques podrían cumplir un papel decisivo en la lucha contra el efecto de invernadero. Una solución controvertida, que ha de manejarse con cautela.** Documento en línea: http://www.unesco.org/courier/1999_12/sp/planete/txt1.htm.

Gordon, A, Bradley.1995.Urban Forest Landscapes, pp: 3-11 en: Gordon, A, Bradley (Ed).1995.**Urban Forest Landscapes: Integrating a multidisciplinary perspectives.** University of Washington Press. United States of America.

Coder, D, Kim.1996.**Identified Benefits of Community Trees and Forests.** University of Georgia. Documento en línea: http://www.marshalltrees.com/upload/articles_files/art_31attached_file.pdf

Constanza et al.1997.**The value of the world's ecosystem services and natural capital.** Nature. Vol 387; Págs 253-260.

Daily Gretchen.1997. **Chapter I: Introduction: What are ecosystem services?** Documento en línea: http://cmhc.ucsd.edu/content/1/docs/Daily_1.pdf

Daily Gretchen, Ed. 1999 **Nature's Services.** Conservation Ecology. (2), 14. Island Press, Washington, DC. Documento en línea: www.consecol.org/vol3/iss2/art14

De Groot Rudolf, et al.2002. **A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services.** Ecological Economics 41; Págs 393-408

Donald B. McNaughton.2009. **Generalization of Eight Methods for Determining R in the Ideal Gas Law.** Documento en línea: <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0711/0711.0740.pdf>

ENDA. 2009. <http://enda.atarraya.org/> Visitada por última vez el 2 de Octubre del 2009.

ESRI. 2009. <http://www.gis.com/content/what-gis> Visitada por última vez el 13 de Noviembre del 2009.

Instituto Distrital para la Recreación y el Deporte (IDRD) 2010. <http://www.idrd.gov.co>

IDU, DAMA & JBB.2004.**Complemento al diseño preliminar del manual verde.** Bogotá, D.C.

Instituto de Investigación de recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). 2007. **Programa de Uso y Valoración.** <http://www.humboldt.org.co/humboldt>

Jardín Botánico de Bogotá.2008. **Manual de Silvicultura Urbana para Bogotá.** Bogotá, D.C.

John F Dwyer et al. 1992. **Assessing the benefits and costs of the urban forest.** Journal of agriculture 18(5); Págs 227-234.

Leal Del Castillo, Gabriel. 2004. **Introducción Al Eco urbanismo: El Nuevo Paradigma**. Bogotá. ECOE Editorial.252 p.

Linares P, et al.2001.**Modelos matemáticos de optimización**. Documento en línea: http://www.gams.com/docs/contributed/modelado_en_gams.pdf

Lovett M, Gary.1994. **Atmospheric deposition of nutrients and pollutants in North America: An ecological perspective**. Ecological applications.4 (4). Págs- 629-650.

McPherson, E. Gregory et al.1994. **Chicago's urban forest ecosystem: results of the Chicago Urban Forest Climate Project Chapter 5: Air Pollution Removal by Chicago's Urban Forests**. General Technical Report. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station: 201 p.

Millennium Ecosystem Assessment, 2005. **Ecosystems and Human Well-being: Synthesis**. Island Press, Washington, DC.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial. 2006. **Resolución 0601 de 2006**.Bogota, Colombia.

Moral García, F.J.2004. **Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales**. Ecosistemas13 (1). Documento en línea: <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?id=167>

Nowak, D, et al. 2002. **Understanding and Quantifying Urban Forest Structure, Functions, and Value**. Documento en línea: <http://www.tcf-fca.ca/cufc5/papers/Nowak.pdf>

Nowak.D, et al. 2008. A Ground-Based Method of Assessing Urban Forest Structure and Ecosystem Services. *Arboriculture and Urban Forestry*. 34(6); Págs 347-358

Observatorio Ambiental. 2009. <http://observatorio.dama.gov.co/>. Consultada por última vez Septiembre 30 del 2009.

Pendergast, D & E. 2003. **The Tree Doctor. A Guide to Tree Care and Maintenance**. USA. Firefly Books .141p.

Rowan A, Rowntree and Nowak, J, David.1991. **Quantifying the role of urban forests in removing atmospheric carbon dioxide**. *Journal of Arboriculture*.17 (10); Págs 269-275.

Rudolf S de Groot et al.2002. **A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services**. *Ecological Economics* 41: 393-408.

Secretaría Distrital de Ambiente. Dirección de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental. Oficina de Control de Emisiones y Calidad del Aire. 2007. **Informe Anual de Calidad Del Aire de Bogotá**.

Secretaría Distrital De Salud & UNAL .2005.**Diagnostico Local con Participación Social. Puente Aranda. Localidad 16.Coleccion: Diagnósticos Locales con Participación Social.** Editorial Gente Nueva.

Smith Robert L & Smith Thomas M.2001.**Ecología.**4ª edición. Pearson Educación S.A.Madrid, España. Pág. 24-25

Tovar, C, G.2006. Manejo del Arbolado Urbano. Revista Colombia Forestal. Vol. 19. (19). Págs: 17-34.

Tunarroza, M. 2002. **Evaluación de la Calidad del Aire de la Pontificia Universidad Javeriana.** Bogotá. Tesis de Ecología. Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. Pontificia Universidad Javeriana.105 p.

Urban Forests. 2005. **New tools for growing more livable communities.** Documento en línea: http://www.fundersnetwork.org/files/Urban_Forests_FINAL.pdf

Wania, C.1997.Participacion Publica en la Arborización Urbana, pp.: 110-138, en: Krishnamurthy L. y J. Rente Nascimento, (Eds.) Áreas verdes urbanas en Latinoamérica y el Caribe. Universidad Autónoma de Chapingo .Chapingo, México.

Páginas web:

Instituto Nacional de Ecología. 2009. <http://www.ine.gob.mx/publicaciones/libros/396/tipos.html> Visitada por última vez 1 de Octubre del 2009.

I-Tree Tools. 2010. <http://www.itreetools.org/resources/why.php>. Visitada por última vez el 3 de Marzo del 2010.

Jardín Botánico De Bogotá. 2009. <http://www.jbb.gov.co/jardinbotanico/.2009>

Secretaria Distrital de Ambiente. 2010. <http://www.secretariadeambiente.gov.co>

UFORE .2009.<http://www.ufore.org/> Visitada por última vez el 12 Noviembre del 2009.

