

INFLUENCIA DE LA VEGETACIÓN EN LOS NIVELES DE RUIDO URBANO

MARTHA ISABEL POSADA*
MARÍA DEL PILAR ARROYAVE**
CARLOS FERNÁNDEZ***

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar la capacidad de la vegetación para mitigar el ruido en el valle de Aburrá. La metodología comprendió dos fases: la primera consistió en la revisión de información secundaria relacionada con dicha función de la vegetación, lo que permitió obtener las bases conceptuales para el posterior desarrollo experimental. En la segunda fase se realizó la medición de los niveles de ruido a 10 m de la fuente sonora (vía de alto tráfico vehicular) en zonas verdes públicas urbanas con diferentes coberturas vegetales (arbórea, arbustiva y arbórea-arbustiva) y sin vegetación. Los resultados no arrojaron diferencias significativas entre los sitios con vegetación y sin ella, lo que permite inferir que en las condiciones del estudio, caracterizadas por contar con unos pocos individuos arbóreos o arbustivos dispersos y poco densos, la vegetación no cumple un papel significativo en la disminución del ruido. Por lo tanto, para su control en zonas urbanas deben tomarse medidas diferentes a la plantación de árboles, o establecer barreras vivas más anchas, largas, altas y densas.

PALABRAS CLAVE: ruido ambiental; vegetación; zonas verdes públicas urbanas; valle de Aburrá.

* Ingeniera Ambiental, EIA. Profesora Auxiliar, programa Ingeniería Ambiental, Escuela de Ingeniería de Antioquia. Grupo Gestión del Ambiente para el Bienestar Social –Gabis– ammapos@eia.edu.co

** Ingeniera Forestal. Ingeniera Forestal. MSc. en Ecosistemas, Eastern Michigan University. Profesora Asociada, programa Ingeniería Ambiental, Escuela de Ingeniería de Antioquia. Grupo Gestión del Ambiente para el Bienestar Social –Gabis– maarr@eia.edu.co

*** MSc. in Mathematics, University of Florida. Profesor Asociado, área de Ciencias Básicas, Escuela de Ingeniería de Antioquia. Grupo de Biotecnología Vegetal (Universidad de Antioquia). pfcafer@eia.edu.co

INFLUENCE OF VEGETATION IN URBAN NOISE LEVELS

ABSTRACT

The objective of the study was to assess the capacity of vegetation to reduce the noise in the Aburrá valley. The methodology comprised two phases: the first was the revision of secondary information related to the role of vegetation and to obtain the conceptual bases for further experimental development. The second phase was the measurement of noise levels 10 m from the sound source (high traffic road) in urban public green zones with different plant coverage (tree, shrub, and a mixture of trees and shrubs) and without vegetation. Results showed no significant differences between the sites with and without vegetation, allowing us to infer that under conditions of the study, characterized by having few individuals of trees and shrubs dispersed, the vegetation does not play a significant role in reducing noise. Therefore, for its control in urban areas measures other than the planting of trees must be taken, or wider, longer, denser, and higher live barriers should be established.

KEY WORDS: environmental noise; vegetation; urban public green areas; Aburrá valley.

INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NOS NÍVEIS DE RUIDO URBANO

RESUMO

O objetivo do estudo foi avaliar a capacidade da vegetação para mitigar o ruído no vale de Aburrá. A metodologia compreendeu duas fases: a primeira consistiu na revisão de informação secundária relacionada com dita função da vegetação, o que permitiu obter as bases conceituais para o posterior desenvolvimento experimental. Na segunda fase se realizou a medição dos níveis de ruído a 10 m da fonte sonora (via de alto tráfico veicular) em zonas verdes públicas urbanas com diferentes coberturas vegetais (arbórea, arbustiva e arbórea-arbustiva) e sem vegetação. Os resultados não arrojaram diferenças significativas entre os lugares com vegetação e sem ela, o que permite inferir que sob as condições do estudo, caracterizadas por contar com uns poucos indivíduos arbóreos ou arbustivos dispersos e pouco densos, a vegetação não cumpre um papel significativo na diminuição do ruído. Portanto, para seu controle em zonas urbanas devem tomar-se medidas diferentes à plantação de árvores, ou estabelecer barreiras vivas mais largas, compridas, altas e densas.

PALAVRAS-CÓDIGO: ruído ambiental; vegetação; zonas verdes públicas urbanas; vale de Aburrá.

1. INTRODUCCIÓN

La vegetación en el ambiente urbano cumple múltiples funciones que mejoran las condiciones ambientales de la ciudad y, por consiguiente, aumentan la calidad de vida de la población. Entre estas funciones se pueden mencionar las de regulación de factores microclimáticos como la temperatura y la humedad, absorción de contaminantes y mitigación del ruido. En este estudio se evaluó la capacidad que tienen diferentes coberturas vegetales establecidas

en las zonas verdes públicas para atenuar el ruido en el valle de Aburrá.

Uno de los factores que contribuyen a deteriorar la calidad del ambiente de las ciudades es el ruido, que aparece como una de las consecuencias del aumento de la población, de los medios de transporte, del desarrollo industrial, entre otros. Por lo tanto, su disminución debe implicar tanto el control de sus fuentes y emisiones, como la implementación de barreras, las cuales pueden ser elementos



artificiales o naturales como árboles y arbustos, con lo que se lograría adicionalmente que las personas encuentren estos espacios más agradables.

Por lo tanto, resulta fundamental estimar cómo intervienen las diferentes coberturas vegetales en el comportamiento de dicha variable y especialmente en el valle de Aburrá, donde la investigación en este tema es aún incipiente.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 Funciones de la vegetación urbana

Las funciones de la vegetación urbana y su aporte al mejoramiento de la calidad ambiental en las ciudades han sido descritas ampliamente en la literatura científica. De acuerdo con Nowak *et al.* (1998), Ochoa de la Torre (1999) y Kurbán *et al.* (2002), la vegetación urbana influye directa e indirectamente en el microclima local y regional mediante la alteración de las condiciones ambientales y atmosféricas, ya que afectan la temperatura del aire local mediante la evapotranspiración, la generación de sombra (variación en la incidencia de radiación solar) y la alteración de la dispersión del aire (velocidad y dirección). Así mismo, la vegetación genera otros efectos no climáticos como la contribución a la sensación de bienestar en el espacio público, el control del ruido urbano, la retención de contaminantes atmosféricos, la prevención de la erosión y la oferta de hábitats para la fauna.

2.2 Mitigación de ruido

La propagación del ruido en exteriores está influenciada por las variables meteorológicas. De acuerdo con Heimann (2003) y Miyara (2005), la propagación del sonido en la atmósfera depende en gran medida del estado de ésta, ya que además de la pérdida de la densidad de la energía sonora debida a la propagación geométrica (divergencia), el nivel de sonido local está determinado por la absorción de la atmósfera, la refracción y la dispersión de la energía

sonora. Estos procesos actúan en combinación con la propagación de las ondas acústicas a través del aire desde la fuente hasta el receptor, conduciendo a un exceso de atenuación (entendida como una atenuación mayor o menor de la dada por la divergencia geométrica), con respecto a la propagación a campo abierto, que puede ser positivo (reduciendo el nivel de sonido para un receptor) o negativo (aumentándolo).

Se hallan estudios sobre la absorción de sonido por parte de la vegetación en condiciones de laboratorio como el realizado por Burns (1979), quien hizo medidas a las ramas y las acículas de pino en una cámara reverberante, y encontró que el factor de mayor contribución en la atenuación del ruido es la absorción termoviscosa de las ramas. Martens y Michelsen (1981) determinaron la atenuación debida a las hojas usando un vibrómetro en laboratorio, con cuatro especies de plantas, y encontraron que, aunque la cantidad de energía sonora absorbida de esta manera por una sola hoja es muy pequeña, este mecanismo puede contribuir de todos modos a la atenuación del sonido por las plantas y las comunidades vegetales, ya que el número de hojas de un árbol adulto puede estar alrededor de 2×10^5 .

En estudios llevados a cabo en campo, Eyring (1946) diseñó un experimento en el que estudió la propagación de sonido en los bosques en Panamá, y para esto colocó una fuente y un receptor (a 1,5 m sobre el suelo, con el fin de que fuese parecido a la altura del oído humano) dentro del bosque. Encontró que la atenuación está relacionada inversamente con la visibilidad (medida como la facilidad de penetración y la distancia a la cual un objeto ajeno al bosque pueda ser visto), es decir, que aumenta el exceso de atenuación cuando hay una menor visibilidad. Así mismo, Wiener y Keast (1959), en su estudio de propagación del sonido a través de un bosque denso, llegaron a resultados similares con respecto a la visibilidad y afirmaron que el exceso de atenuación es causado principalmente por la absorción en el aire, los efectos de refracción de los gradientes de temperatura y el viento, por la turbulencia y los

efectos del terreno y la cobertura del suelo, dominando sobre los efectos de la dispersión.

Con relación a las características y estructura de las franjas de vegetación que actúan como barrera de sonido en las carreteras, Richard Frank en 1971 encontró que los bosques heterogéneos lo atenúan mejor, mientras que las plantaciones no son muy efectivas como barreras para el sonido Tarrero (2002). Ochoa de la Torre (1999) y Tarrero (2002) citan a Cook y Haverbeke (1971) quienes en su estudio sobre el uso de árboles y arbustos para la reducción del ruido, tanto en zonas residenciales como en carreteras, encontraron que los cinturones de árboles permiten reducir los niveles de ruido entre 5 y 10 dB, pero deben ser amplios (20 a 30 m), densos y con al menos 14 m de altura y varios kilómetros de longitud. Tarrero (2002) cita a Martens y Huisman (1986) quienes reportan que los árboles de hoja caduca atenúan más que el césped sin árboles pero menos que los de hoja perenne.

De manera similar, Aylor (1972a, 1972b, 1977) estudió la transmisión del sonido a través de la vegetación y halló que a frecuencias medias y altas la dispersión en los troncos es la principal responsable de la atenuación, mientras que a bajas frecuencias el suelo es el factor principal. También encontró que el follaje atenúa el sonido principalmente por la dispersión y la reflexión, y que las hojas anchas atenúan el sonido mejor que las estrechas, pero dicha atenuación no es directamente proporcional a la cantidad de follaje.

Ochoa de la Torre (1999) presentó su tesis doctoral sobre el estudio de la vegetación como instrumento para el control microclimático. En su revisión de los efectos no climáticos cita el estudio de Meister y Ruhrberg (1959), a su vez citados por Givoni (1989), los cuales encontraron que, según las pruebas realizadas con árboles de 10 a 14 m de altura, para el tráfico urbano la reducción del ruido está en función de la profundidad y altura de la barrera. También, Ochoa de la Torre (1999) mencionó que sólo existen algunas mediciones sistemáticas sobre

la influencia de la vegetación en la atenuación del sonido y que cualitativamente la información reportada no es consistente, y citó a Alessandro, Barbera y Silvestrini (1987) y a Stryjenski (1970), que prueban que la capacidad de absorción acústica de algunas especies vegetales varía con el tamaño de las hojas y la densidad del follaje; sin embargo, esta disminución es válida sólo para frecuencias altas, con valores de atenuación de 1 dB cada 10 m de profundidad, hasta un máximo de 10 dB a 100 m o más, y constatando la influencia de la posición relativa de la barrera respecto a la fuente sonora, ya que la barrera cerca de la fuente es más eficiente que otra junto a la zona que se desea proteger.

Según Fricke (1984) citado por Tarrero (2002), en la atenuación del sonido en los bosques, hay tres fenómenos implicados: 1) la interferencia entre la onda directa y la onda reflejada en el suelo, 2) la dispersión producida por los troncos, las ramas, el suelo y las turbulencias en el aire y 3) la absorción debida a los árboles, el suelo y el aire. Herrington y Brock (1977) encontraron que el patrón de atenuación cerca del suelo es significativamente diferente del patrón a mayores alturas. Estos patrones de atenuación respaldan las teorías de que el suelo es el principal componente que absorbe energía acústica en el bosque, además, también indican que puede haber algo de atenuación en la parte más gruesa de la copa.

En la investigación del efecto en la reducción del ruido por 35 cinturones de árboles perennes del subtrópico en Taiwán realizada por Fang y Ling (2003), se halló una relación logarítmica negativa entre la visibilidad y la atenuación relativa y una relación logarítmica positiva entre la atenuación relativa y la anchura, longitud y altura de los cinturones arbóreos.

En la publicación de Tarrero, González y González (1999) se discute la dificultad de comparar las investigaciones previas a su estudio, dada la inexistencia de un procedimiento adecuado que permita decidir sobre la validez de los resultados y



que en ellas no se precisan con suficiente rigor las condiciones ambientales en que se efectuó el muestreo y, por lo tanto, no se puede evaluar, ni siquiera cualitativamente, su contribución en las medidas experimentales; en consecuencia, los valores obtenidos no pueden considerarse totalmente válidos para ser comparados con los previstos en los modelos. Sin embargo, concluye que los modelos y trabajos teóricos sugieren que a altas frecuencias el efecto directo de la vegetación es significativo; aunque, ya que hay una relación directa entre los árboles y la superficie donde crecen, es difícil evaluar de forma independiente el efecto de los árboles y el del suelo. Además, estos autores señalan que, según lo reportado en la bibliografía consultada, parece ser que la masa arbórea por sí sola no tiene grandes efectos en la atenuación (a no ser que sea muy densa), sino que lo que realmente influye son las condiciones de suelo que origina su presencia.

Ochoa de la Torre (1999) concluye que de los estudios consultados se puede apreciar que el efecto de reducción del ruido debido a la vegetación es más bien pequeño. Sin embargo, ésta tiene un efecto psicológico, sirviendo como pantalla visual entre la fuente de ruido y las personas afectadas. Según Givoni (1989), los árboles plantados a lo largo de las calles tampoco reducen significativamente el nivel de ruido que llega a un edificio, pero pueden reducir el tiempo de reverberación en una calle debido a la absorción de las hojas.

En la publicación de Tarrero *et al.* (2001) se presentó la validación de un modelo de propagación de sonido en exteriores aplicado en el caso del interior de un bosque, que consideró el efecto del suelo, la dispersión del sonido producido por la presencia de los árboles y la absorción atmosférica. Para conseguir este objetivo realizaron ensayos midiendo el nivel del sonido en varios puntos de bosques regulares (donde los árboles están equidistantes y son de hoja caduca), y de bosques irregulares (con los árboles colocados de forma aleatoria, distinta densidad de árboles, distintos diámetros de troncos y de hojas perennes), en dos épocas del año. Se en-

contró una buena concordancia entre las medidas aportadas por el modelo con bosque y los resultados experimentales, con algunas posibles discrepancias que pueden ser debidas a varias razones, una de ellas es que hay que tener en cuenta que el modelo es muy general y se utiliza para tipos de obstáculos muy diferentes, como son las casas y los árboles, y para este último caso no distingue entre árboles con hojas y sin hojas.

En Colombia, y específicamente en el valle de Aburrá, se encuentra el estudio de Cataño y Bonivento (2005) sobre la eficiencia de una cobertura arbórea como barrera atenuadora de ruido vehicular, en el campus universitario de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. La investigación se realizó en una zona cercana a la autopista Norte, la cual tiene una cobertura arbórea del 50%, midiendo el ruido presente a diferentes distancias de la fuente emisora de ruido en cuatro franjas horarias de dos horas de duración cada una, a una altura de 1,2 y 3,0 m, además de la medición de otras variables silviculturales como DAP (diámetro a la altura del pecho), diámetro de copa y área basal. Se encontró que en el área con cobertura arbórea se presentaron niveles medios de ruido (alrededor de 3 dB menos que en la zona sin árboles).

3. METODOLOGÍA

Tras la recopilación y análisis de la información bibliográfica, se diseñó un experimento de campo para la medición del ruido en sitios con diferentes coberturas vegetales, y posteriormente se realizó el análisis estadístico que permitió la comparación de los resultados y la obtención de conclusiones.

Para las mediciones de campo se seleccionaron 40 sitios de muestreo en el Valle de Aburrá, ubicados a lo largo del costado occidental de la Autopista Sur, desde el sitio conocido como Punto Cero (al frente de la Universidad Nacional de Colombia) hasta la calle 10. Esta zona es de uso industrial, comercial y residencial y está caracterizada por un

alto flujo vehicular. Para cada una de las siguientes coberturas vegetales se seleccionaron diez sitios de muestreo:

Tipo 0: Control, con vegetación de pastos bajos.

Tipo 1: Arbórea (especies arbóreas con alturas superiores a 5 m)

Tipo 2: Arbustiva (especies con alturas menores de 5 m y con ramificación desde la base)

Tipo 3: Arbórea y Arbustiva

En cada sitio seleccionado, se ubicó el sonómetro en un trípode a 10 m de la vía (detrás de la cobertura vegetal muestreada), a una altura de 1,5 m del suelo, para simular la altura del oído humano, y se tomaron tres periodos de medición de 10 minutos cada uno, con filtro de ponderación frecuencial A y filtro de ponderación temporal Fast (rápido), en horas de alto tráfico vehicular (7:00 a. m. a 9:00 a. m.), para hallar posteriormente el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado en el período T, medido en decibeles A, $LA_{eq,T}$, según la ecuación 1 (Resolución 0627 (MAVDT, 2006)).

$$LA_{eq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \sum t_i 10^{L_i/10} \right] \quad (1)$$

Donde:

L_i : nivel sonoro

t_i : tiempo de observación durante el cual el nivel sonoro es $L_i \pm 2$ dBA.

T: periodo evaluado.

El sonómetro empleado fue un Datalogger 840013 marca Sper Scientific Ltd., tipo 2, con un rango de frecuencias entre 31,5 Hz y 8 KHz, rango de niveles de medición entre 30 y 130 dB, con filtros de ponderación A/C, filtro de ponderación temporal Fast (125 ms) and Slow (1s), micrófono de 0,5 pulgadas, resolución de 0,1 dB, precisión de $\pm 1,5$ dB (bajo condiciones de referencia).

Las mediciones se realizaron siguiendo la recomendación del artículo 20 de la Resolución 0627 (MAVDT, 2006) sobre ruido y ruido ambiental, donde se señala que las mediciones de los niveles equivalentes de presión sonora ponderados A ($LA_{eq,T}$) deben efectuarse en tiempo seco, no debe haber lluvias, lloviznas, truenos o caída de granizo y los pavimentos deben estar secos.

Para la caracterización de la vegetación en cada sitio de muestreo se recolectó la siguiente información: nombre común y científico, altura total, altura fustal, DAP y diámetro de copa.

3.1 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los datos experimentales se utilizó el software Statgraphics Centurion, versión XV. Para la comparación entre los diferentes tipos de coberturas vegetales se empleó el análisis de varianza (ANOVA) que permite determinar si las medias de varios conjuntos de datos numéricos son significativamente distintas, basándose en la varianza global de los grupos de datos.

4. RESULTADOS

4.1 Descripción de las coberturas vegetales

Cobertura arbórea. En los sitios de muestreo correspondientes a esta cobertura se encontraron individuos principalmente de las siguientes especies: acacia amarilla (*Caesalpinia peltophoroides*), mango (*Mangifera indica*), guayabo (*Psidium guajava*) y flor de reina (*Lagerstroemia speciosa*). En promedio se encontraron 5 individuos en 100 m². El diámetro promedio fue de 18,50 cm y la altura de 8,70 m.

Cobertura arbustiva. En los sitios de muestreo correspondientes a esta cobertura se encontraron principalmente las especies habano (*Nerium oleander*), cerezo del gobernador (*Flacourtia indica*), azuceno (*Tabernaemontana coronaria*), entre otras. En general,



los individuos de estas especies se encontraron en hileras, formando setos vivos. En promedio se encontraron 8 individuos en 100 m². El diámetro promedio fue de 7,07 cm y la altura promedio de 3,28 m.

Cobertura arbórea-arbustiva. En estos sitios de muestreo se encontraron individuos más que todo de las especies suribio (*Zygia longifolia*), búcaro (*Erythrina fusca*) y chirlobirlo (*Tecoma stans*). En promedio se encontraron 6 individuos en 100 m². El diámetro promedio fue de 7,63 cm y la altura promedio de 4,35 m.

Control. Se seleccionaron sitios con cobertura de pastos bajos, sin presencia de individuos de porte arbóreo o arbustivo.

4.2 Medición del ruido

En la figura 1 se presentan los resultados de las mediciones en cada punto de muestreo para cada cobertura vegetal evaluada. Como se puede observar, la mayoría de los datos para cada tratamiento se encuentra en el rango de 74-76 Leq, y no se evidencia una tendencia a la reducción de los niveles de ruido por parte de ninguna cobertura específica.

Al conjunto de los datos obtenidos de cada intervalo de medición se le hallaron el $LA_{eq,T}$ promedio y la varianza, la desviación estándar, el mínimo y el máximo, como se presenta en la tabla 1.

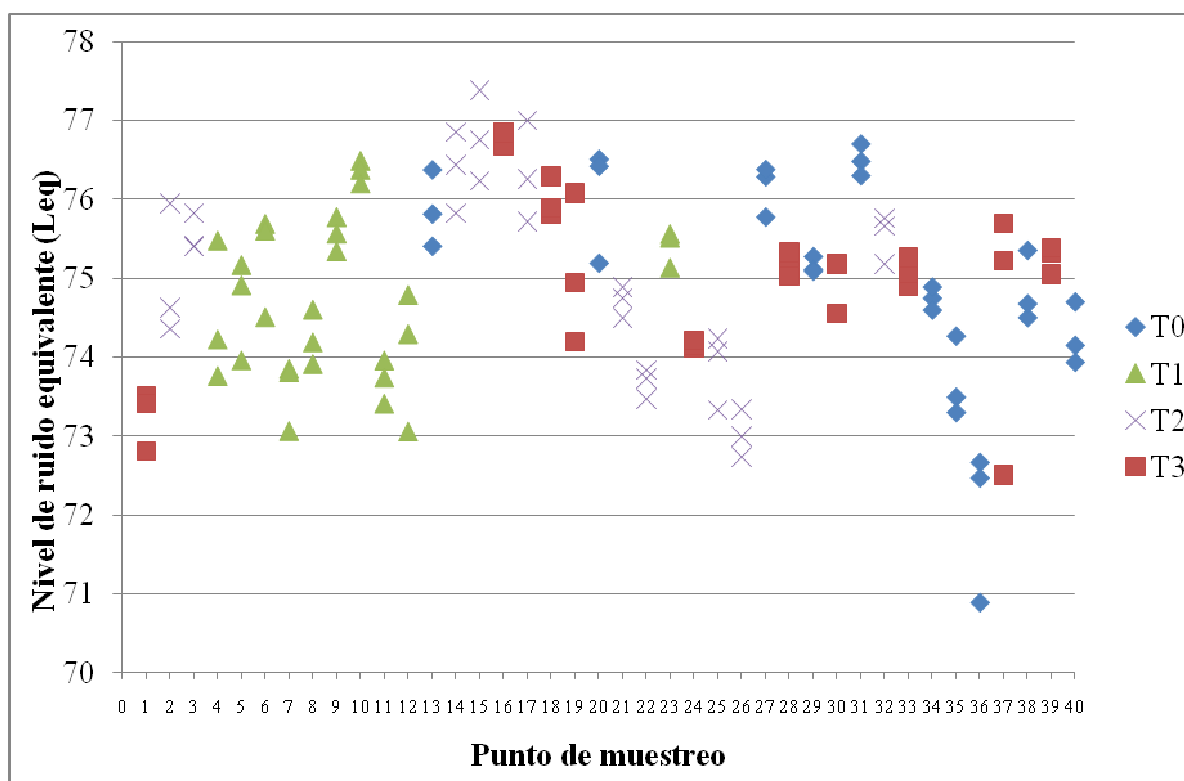


Figura 1. Niveles equivalentes de ruido registrados en cada punto muestreado

Tabla 1. Resumen estadístico

Tipo	Recuento	Promedio Leq (dB)	Varianza	Desviación estándar	Mínimo dB	Máximo dB
T0: Control	30	74,929	1,900	1,378	70,891	76,706
T1: Arbórea	30	74,737	0,951	0,975	73,064	76,494
T2: Arbustiva	30	75,084	1,644	1,282	72,731	77,385
T3: Arbórea y arbustiva	30	75,014	1,161	1,077	72,506	76,850
Total	120	74,941	1,395	1,181	70,891	77,385

4.3 Análisis estadístico

Una mirada al resumen estadístico (tabla 1) conduce a pensar que no hay diferencias significativas entre los niveles equivalentes de ruido encontrados para los cuatro tipos de cobertura vegetal. Para confirmarlo, los datos fueron comparados mediante una prueba de análisis de varianza (ANOVA) que arrojó los resultados que aparecen en la tabla 2.

De acuerdo con los resultados del ANOVA (con un nivel de significación $\alpha=0,05$), se concluye que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los niveles de ruido encontrados para los cuatro tipos de cobertura vegetal estudiados (valor-p = 0,699). Se verificó el cumplimiento de los supuestos del ANOVA sobre normalidad, varianzas iguales e independencia.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De conformidad con los valores del nivel sonoro continuo obtenidos para cada tipo de cobertura vegetal muestreada y para las condiciones del sitio evaluadas, no es posible afirmar que la vegetación cumpla con la función de reducción del ruido ambiental generado por el tráfico vehicular.

Se esperaría que las coberturas arbóreas-arbustivas hubieran sido las de mayor protección contra el ruido, sin embargo, no se encontraron diferencias significativas con respecto a las demás coberturas ni al control.

Es de anotar que dichas coberturas no cumplen con los tamaños (ancho, largo y alto) de las barreras vegetales recomendadas en la literatura

Tabla 2. Resultados del ANOVA

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2,023	3	0,674	0,48	0,699
Intragrupos	164,015	116	1,414		
Total (Corr.)	166,038	119			



para la mitigación del ruido, sino que la distribución de los árboles y arbustos es dispersa y su densidad es muy baja. La masa vegetal no conforma una barrera impermeable que permita reducir el ruido.

Estos resultados son diferentes a los encontrados por Cataño y Bonivento (2005) quienes reportan una reducción de aproximadamente 3 dB en coberturas arbóreas comparadas con la zona sin árboles. Es importante anotar las diferencias en la estructura de la vegetación de los dos sitios de estudio, siendo mucho menos densa y compleja en el presente estudio.

En general, en las zonas urbanas el establecimiento de estas barreras se dificulta, ya que por razones de seguridad no se desea que la infraestructura (residencias, locales comerciales e industrias) esté completamente aislada sin que se tenga algo de visibilidad.

En el diseño experimental utilizado, las mediciones de ruido se realizaron a 10 m de la fuente sonora, dado que en varios sitios de muestreo la infraestructura estaba localizada a esta distancia, a la cual se considera que, por parte de la vegetación arbórea, solo los troncos de los árboles inciden en la mitigación del ruido, no el follaje que sí puede influir a distancias mayores.

6. CONCLUSIONES

Según la información reportada en los estudios consultados, la vegetación urbana y a lo largo de las carreteras puede generar grandes beneficios ambientales y sociales, entre ellos la mitigación del ruido, lo que depende de las características, estructura y densidad de la vegetación.

De acuerdo con los resultados de la revisión de literatura, la mitigación considerable del nivel de ruido por parte de la vegetación se logra con el uso de barreras de árboles heterogéneas, de por lo

menos 20 m de anchura y 14 m de altura, tupidas, de árboles con hojas anchas, densas y perennes, con troncos gruesos y que se ubiquen cerca de la fuente de emisión del ruido. En estas barreras el suelo influirá en las frecuencias bajas, y las ramas, la corteza o el tronco, en las frecuencias altas.

En las condiciones analizadas del presente estudio, las diferentes coberturas vegetales no tuvieron un efecto significativo en la mitigación del ruido generado por fuentes móviles. Se considera que las características de la vegetación, la densidad y los patrones de distribución de los individuos de las especies generalmente utilizados en la ornamentación de los espacios públicos verdes del valle de Aburrá no son los apropiados para cumplir con esta función. En este sentido, son prioritarios los criterios de seguridad a la población y a la infraestructura.

La investigación sobre las funciones que cumple la vegetación urbana en el mejoramiento de la calidad ambiental en la ciudades debe fortalecerse, de manera que se convierta en una herramienta para la planificación y el manejo de la arborización y las zonas verdes. Esto permitirá que la toma de decisiones para las intervenciones en el espacio público y privado sean más acertadas y se encaminen cada vez más a mejorar el ambiente y a aumentar el bienestar de la comunidad.

AGRADECIMIENTOS

A la Escuela de Ingeniería de Antioquia, por apoyar y financiar este proyecto mediante la convocatoria de proyectos de investigación de menor cuantía. A los estudiantes de Ingeniería Ambiental, integrantes del Semillero de Investigación en Biodiversidad, que apoyaron durante la elaboración del proyecto y el trabajo de campo: Alberto Bolaño Ennis, Juliana Idárraga Giraldo, Marcela López Serna, Melina Pacheco Jaramillo. A la ingeniera ambiental Adriana María Molina Giraldo, por su apoyo permanente en el desarrollo del proyecto.

REFERENCIAS

1. Alessandro, S.; Barbera, G. e Silvestrini, G. (1987). *Stato dell'arte delle ricerche concernenti l'interazione energetica tra vegetazione de ambiente costruito*. Palermo: 1987. CNR, IEREN 13.
2. Aylor, D. E. (1972a). "Noise reduction by vegetation and ground". *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 51, No. 1B, pp. 197-205.
3. Aylor, D. E. (1972b). "Sound transmission through vegetation in relation to leaf area density, leaf width, and breadth of canopy". *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 51, No. 1B, pp. 411-414.
4. Aylor, D. E. (1977). "Some physical and psychological aspects of noise attenuation by vegetation". *Proceedings of the Conference on Metropolitan Physical Environment*. G. Heisler and L. P. Herrington (eds.). General Technical Report NE-25. Upper Darby, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station [online], pp. 229-233 [consultado el 23 de abril de 2008]. Disponible en <http://nrs.fs.fed.us/pubs/gtr/gtr_ne25/gtr_ne25_229.pdf>
5. Burns, S. H. (1979). "The absorption of sound by pine trees". *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 65, No. 3, pp. 658-661.
6. Cataño, G. R. y Bonivento, M. J. (2005). *Eficiencia de una cobertura arbórea como barrera atenuadora del ruido vehicular*. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias.
7. Cook, D. I. and Haverbeke, D. F. V. (1971). *Trees and shrubs for noise abatement*. University of Nebraska College of Agricultural Experimental Station Bulletin, RB246.
8. Eyring, C.F. (1946). "Jungle Acoustics". *Journal of the Acoustics Society of America*, vol. 18, No. 2 (October 1946), pp. 257-270.
9. Fang, C.F. and Ling, D.L. (2003). "Investigation of the noise reduction provided by tree belts". *Landscape and Urban Planning*, vol. 63, No. 4 (May 2003), pp. 187-195.
10. Frank, R.A. (1971). *The effectiveness of plants for highway noise abatement*. Master Thesis.
11. Fricke, F. (1984). "Sound attenuation in forests". *Journal of Sound and Vibration*, vol. 92, No. 1 (January 1984), pp. 149-158.
12. Givoni, B. (1989). *Urban design in different climates*. Report WMO/TD-No. 346, World Meteorological Organization, Geneva.
13. Heimann, D. (2003). "Influence of meteorological parameters on outdoor noise propagation". *Euronoise 2003*, S. paper ID: 113-IP-Euronoise 2003 (Napoli, Italy), May 19-21, 2003. <http://www.pa.op.dlr.de/acoustics/113.pdf> [consultada el 25 de abril de 2008].
14. Herrington, L.P. and Brock, C. (1977). "Propagation of noise over and through a forest stand". *Proceedings of the Conference on Metropolitan Physical Environment*. (1977) G. Heisler and L.P. Herrington (eds.). Gen. Tech. Rep. NE-25. Upper Darby, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. 226-228. http://nrs.fs.fed.us/pubs/gtr/gtr_ne25/gtr_ne25_226.pdf [consultado el 23 de abril de 2008].
15. Kurbán, A.; Papparelli, A.; Cúnsulo, M.; Montilla, E. y Herrera C. (2002). "Aporte de la forestación al control del clima urbano en zona árida". *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol. 6, No. 1 (2002), pp. 43-48.
16. Martens, M. J. M. and Huisman, W. H. T. (1986). *Eco-system acoustics research, proceedings of the workshop on sound propagation in forested areas and shelterbelts*. M.J.M. Martens (eds.). Fac Sciences, Nijmegen. pp. 13-24.
17. Martens, M. J. M. and Michelsen, A. (1981). "Absorption of acoustic energy by plant leaves". *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 69, No. 1 (January 1981), pp. 303-306.
18. Meister, F. J. and Ruhrberg, W. (1959). *The influence of green areas on the propagation of noise*. Larmbekämpfung.
19. Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). (2006). *Resolución 0627 del 7 de abril de 2006: por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental*. Bogotá, Colombia.
20. Miyara F. (2005). Modelización del ruido del tránsito automotor: curso dictado en la Universidad Austral de Chile, en Valdivia. Modelos físicos determinísticos y estadísticos. *Laboratorio de Acústica y Electroacústica, Escuela de Ingeniería Electrónica, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario. Argentina* [en línea], 2005 [consultado 11 de septiembre de 2009]. Disponible en: <http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/~acustica/biblio/MRT/MRT.htm>
21. Nowak, D. J.; McHale, P. J.; Ibarra, M.; Crane, D.; Stevens, J. C. and Luley, C. J. (1998). "Modeling the effects of urban vegetation on air pollution". *Air pollution modeling and its application XII*. Proceedings of



- the Twenty-Second NATO/CCMS International Technical Meeting (Clermont-Ferrand, France), June 2-6, 1997. Gryning, S.-E.; Chaumerliac, N. (eds.), Plenum Press. New York. pp. 399-406. ISBN: 978-0-306-45821-7.
22. Ochoa de la Torre, J. M. (1999). *La vegetación como instrumento para el control microclimático* [en línea]. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña [consultada el 11 de abril de 2008]. Disponible en: http://www.tdx.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0425107-095813
23. Stryjenski, J. (1970). *L'acoustique appliquée à l'urbanisme*. Les éditions techniques, Genève.
24. Tarrero, A. I. (2002). *Propagación del sonido en bosques. Análisis comparativo de las medidas in situ, en laboratorio y de los valores predichos por un modelo* [en línea]. Tesis Doctoral. Universidad de Valladolid [consultado el 11 de abril de 2008]. Disponible en: <http://www.cervantesvirtual.com/FichaObra.html?Ref=10811>
25. Tarrero, A. I.; González, J.; Machimbarrena, M.; Arenal, M. y Martín, M. A. (2001). *Propagación del sonido en bosques: validación de un modelo* [en línea]. XXXII Congreso Nacional de Acústica -TECNIACÚSTICA 2001- y Encuentro Ibérico de Acústica (Logroño) [consultado el 11 de abril de 2008]. Disponible en: <http://www.sea-acustica.es/publicaciones/4328en006.pdf>
26. Tarrero, A. I.; González, J. y González, P. (1999). *Contribución al estudio de la propagación del sonido en medios con vegetación* [en línea]. XXX Jornadas Nacionales de Acústica, TecniAcústica 99, y Encuentro Ibérico de Acústica, Avila [consultado el 11 de abril de 2008]. Disponible en: <http://www.sea-acustica.es/publicaciones/4328en003.pdf>
27. Wiener, F.M. and Keast, D.N. (1959). "Experimental study of the propagation of sound over ground". *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 31, No. 6 (June 1959), pp. 724-733.