

LA INFLUENCIA DEL PAISAJE SONORO EN LA CALIDAD DEL ENTORNO URBANO¹

UN ESTUDIO EN LA CIUDAD DE POPAYÁN
(COLOMBIA)

70

THE INFLUENCE OF SOUNDSCAPE ON URBAN ENVIRONMENTAL QUALITY: A STUDY ON
THE CITY OF POPAYÁN, COLOMBIA

JULIÁN ANDRÉS GRIJALBA OBANDO ²
VALERÍA PAÜL CARRIL ³

- ¹ Este material se desarrolló en el marco del proyecto de Investigación y Desarrollo de la Planificación Urbana Sostenible en el Cauca- Estudio de Caso Popayán, financiado por el Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Gobierno de Colombia y ejecutado por la Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca
- ² Licenciado en Arquitectura
Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca, Centro de Estudios Urbanos, Colombia
Investigador
<http://orcid.org/0000-0001-6179-683X>
juliangrijalba@unimayor.edu.co
- ³ Doctor en Planificación Territorial y Desarrollo Regional
Universidad de Santiago de Compostela Departamento de Xeografía, España
Profesor
<http://orcid.org/0000-0003-3007-1523>
v.paul.carril@usc.es

DOI: <https://doi.org/10.22320/07183607.2018.21.38.06>



El paisaje sonoro urbano se compone de características físicas y perceptuales. Su estudio permite comprender la interacción entre la ciudadanía y el entorno acústico en el que esta vive. El presente trabajo examina el paisaje sonoro del casco histórico de Popayán (Colombia). En tal sentido, se realizaron 121 mediciones de ruido y 50 registros de sonoridad percibida *in situ* con el fin de obtener mapas del paisaje sonoro urbano que permitieron su evaluación integral. Los resultados verifican la dependencia entre los patrones de comportamiento espaciotemporal y sugieren que su variabilidad podría influir en la experiencia sonora de la ciudad latinoamericana. Se concluye que el paisaje sonoro debe ser adoptado durante los procesos de planeamiento urbano. Desde esa perspectiva, cabe tener en cuenta parques urbanos y áreas verdes, no solo por motivos ambientales y de otro tipo ya sobradamente conocidos, sino con el fin de proveer paisajes sonoros más sanos y equilibrados a la ciudad y sus habitantes. Asimismo, se recomienda ampliar la escala en futuros estudios y profundizar en la relación entre el espacio público abierto y su paisaje sonoro resultante.

Palabras clave: paisaje sonoro, ruido urbano, cartografías sonoras, planeamiento urbano, sistemas de información geográfica.

Urban soundscape consists of physical and perceptual characteristics. Its study makes it possible to understand the interaction between citizens and the acoustic environment where they live. This work examines the soundscape of the historic quarter of Popayán, Colombia. 121 measurements of noise and 50 records of perceived loudness *in situ* were made in order to obtain maps of the urban soundscape. These maps enabled the comprehensive assessment of the soundscape in the case-study area. The results verify the dependence of spatial and temporal behavioral patterns and suggest that their variability could influence the Latin American city's sound experience. It can be concluded that soundscape should be considered during the urban planning process. From this perspective, parks and green areas should be taken into account not only for environmental and other well-known reasons, but also to provide healthier and more balanced soundscapes for the city and its citizens. Likewise, for future studies it is recommended the scale be extended, as well as the analysis of the relationship between public open space and its resulting soundscape.

Keywords: soundscape, urban noise, sound cartography, urban planning, geographic information systems.

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación acústica constituye un aspecto de gran importancia en el desarrollo de los asentamientos humanos. Sin embargo, se trata de una cuestión que, desde los años 1960, tan solo se ha incorporado tímidamente en el planeamiento urbano (Raimbault y Dubois, 2005). Ahora bien, resulta evidente que la reducción del ruido, debido a su impacto adverso en el bienestar social de la población (Stanners y Bourdeau, 1995; Berglund, Lindvall y Schwela, 1999; OECD, 2003), forma parte de los debates públicos de muchas ciudades del mundo. Así, distintos campos científicos defienden al día de hoy el potencial de la ecología acústica para mejorar las condiciones del entorno urbano (Rehan, 2016).

Aparentemente, las ciudades latinoamericanas son muy ruidosas (Suárez y Barros, 2014; Quiñones, Bustillo y Mehrvar, 2016), con multitud de eventos sonoros derivados de intensos y variados usos del suelo que se solapan en el espacio público. A diferencia de sus homólogas en Europa y Asia (Lee, Chang y Park, 2008; Nemeth y Brumm, 2009; Arjunan *et al.*, 2014; Pallas, Chatagnon y Lelong, 2014; WHO, 2018), en las ciudades latinoamericanas se ha prestado poca atención investigadora a la cuestión del sonido urbano. En este contexto, el presente trabajo plantea un estudio del paisaje sonoro aplicado a un caso paradigmático: el casco histórico de Popayán (Colombia). La investigación se enmarca en el desarrollo de un proyecto amplio sobre urbanismo y ordenamiento territorial de esta ciudad y su región circundante desde el año 2014, que pretende generar una información de base necesaria para mejorar la toma de decisiones en el departamento del Cauca, situado en la región andina más suroccidental del país.

De este modo, el objetivo planteado aquí consiste en examinar la variabilidad espaciotemporal del paisaje sonoro en la zona antigua de la capital del Cauca. Ello se lleva a cabo a través de una investigación centrada en la experiencia sonora de la ciudadanía. Con este propósito, de entrada, se revisan las contribuciones teórico-conceptuales en el siguiente apartado, con un foco en la bibliografía desarrollada en el contexto específico de Latinoamérica. A continuación, se aportan las consideraciones metodológicas necesarias para explicar cómo se han obtenido los resultados, partiendo de una descripción del área de estudio considerada. El cuarto apartado se expresa sobre todo en forma de cartografías sonoras, repartidas entre factor físico y factor perceptual del paisaje sonoro. En último lugar, y a partir del análisis realizado, se plantea una discusión sobre el papel del paisaje sonoro en los procesos de planeamiento urbano, que conduce a unas conclusiones que incluyen una propuesta sobre futuras líneas de investigación en la materia.

II. MARCO TEÓRICO

La investigación sobre paisajes sonoros urbanos con referencia a Latinoamérica

Tradicionalmente, los estudios urbanos han abordado la cuestión del sonido de forma parcial. Así, han excluido los componentes sensoriales (Agnew, 2011) y se han centrado en el factor físico, en particular mediante la elaboración de mapas de ruido. Estos suelen identificar lugares con excesivos niveles de presión sonora, llamados en inglés *Sound Pressure Level* (SPL) (Can, Leclercq y Lelong, 2008; Stoter, Kluijver y Kurakula, 2008; Tsai, Lin y Chen, 2009; Hao y Kang, 2014; Geraghtya y O'Mahony, 2016). No obstante, la reducción de los niveles físicos de ruido no garantiza *per se* la mejora de la calidad del entorno urbano, puesto que los SPLs no permiten diferenciar las diversas clases de sonido, entre las que se pueden encontrar algunas percibidas de forma positiva (Yang y Kang, 2005; Cerwén, 2016). Como alternativa a estas aproximaciones reduccionistas y/o sesgadas, el enfoque del paisaje sonoro, referido a la percepción del entorno acústico por parte de la ciudadanía, está emergiendo como una herramienta de utilidad en la gestión del ruido urbano (Jennings y Cain, 2013; ISO, 2018).

El concepto de paisaje sonoro se ha aplicado en diversas disciplinas desde que fue divulgado por Schafer (1977). La noción ha sido definida por ISO (2014) como «el entorno acústico percibido, experimentado y/o entendido por una persona o varias personas, en el contexto [en el que se produce]»⁴. En consecuencia, paisaje sonoro se diferencia de entorno acústico en que el primero se refiere a un constructo perceptual y el segundo, a un fenómeno físico. En ese sentido, comprender la respuesta humana hacia el entorno acústico es esencial en la identificación de los valores positivos que configuran un paisaje sonoro en particular (Schaeffer, 1967; Truax, 2006; Hong y Jeon, 2017).

Se han dedicado diversas investigaciones sobre paisaje sonoro a la interacción entre el conjunto de señales acústicas de la ciudad y sus habitantes (Liu y Kang, 2016; Gill *et al.*, 2017; Hermida y Pavón, 2019). Así, el paisaje sonoro no solo se basa en la evaluación física del sonido sino también la de su factor perceptual (Davies *et al.*, 2013; Bruce y Davies, 2014; Kang *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2018). Gozalo *et al.* (2015: 2) afirman que «el enfoque perceptual tiene como objetivo identificar y describir las bases de los procesos psicológicos que subyacen a la evaluación del sonido por parte del ser humano». Por lo tanto, y más allá del factor físico del sonido que resulta insuficiente, es necesario abordar el factor perceptual (Liu *et al.*, 2013; Watts y Pheasant, 2015). Se considera que un trabajo de paisaje sonoro urbano es eficaz si consigue englobar todos los factores concernidos (Leus y Herrensens, 2015).

⁴ La traducción es propia, como la de todas las otras citas en lengua distinta al español.



Figura 1. Unidad de gestión urbanística de Santo Domingo, según el PEMP de Popayán. Fuente: Elaboración de los autores.

La evaluación del paisaje sonoro depende fundamentalmente de la captura de los sonidos producidos por la actividad humana y natural (Raimbault y Dubois, 2005). En esta dirección, Pijanowski *et al.* (2011) sostienen, que las fuentes que producen estos sonidos se pueden agrupar en clases principales y estas, a su vez, en subclases. Algunas de esas clases sugeridas son: la biofonía o conjunto de sonidos biológicos no humanos en un hábitat dado; la geofonía, compuesta de sonidos naturales no biológicos que se originan en el entorno geofísico; y la antropofonía, esto es, los sonidos antropogénicos que, como el propio nombre indica, surgen de acciones realizadas por el hombre. La taxonomía ha tendido a estandarizar esta clasificación en función de dos criterios: en primer lugar, que se pueda aplicar en cualquier entorno acústico y, en segundo, que la nomenclatura de las fuentes sonoras sea seleccionada cuidadosamente para evitar juicios de valor (Brown, Kang y Gjestland, 2011).

En los estudios de paisaje sonoro en espacios públicos abiertos, tales como parques, plazas y vías vehiculares (Ou, Mak, y Pan, 2017; Jeon *et al.*, 2018), cada entorno acústico se valora a partir de indicadores perceptuales del sonido. Los más utilizados en estos casos han sido la sensación de tranquilidad, la variabilidad temporal y la sonoridad percibida.

Por otro lado, poco se ha investigado en Latinoamérica acerca de las afectaciones del paisaje sonoro al entorno urbano.

Maristany, López y Rivera (2016), por ejemplo, llevaron a cabo un trabajo emblemático al abordar el paisaje sonoro mediante encuestas e indicadores psicoacústicos en un estudio de caso en Córdoba (Argentina). En dicha contribución se comprobó que los indicadores obtenidos están estrechamente relacionados con la calidad ambiental del lugar. Otra aportación destacable es la de Szeremeta y Zannin (2009), quienes examinaron el paisaje sonoro en Curitiba (Brasil), mediante un modelo que analizó paralelamente los SPLs y la percepción de los sonidos producidos en sus parques urbanos. El trabajo identificó varias condiciones (usos del suelo, coberturas vegetales, tráfico vehicular y/o tipos de transporte público) que afectaron la percepción del paisaje sonoro. Por último, Sánchez-Gendriz y Rodrigues (2016) proporcionaron la primera descripción del paisaje sonoro submarino cerca de la bahía de Santos en la costa sur de Brasil. Dicha labor permitió evidenciar la presencia tanto de sonido antropogénico como biológico.

III. MÉTODOS

Área de estudio

El análisis realizado se desarrolla en el sector central del casco histórico de Popayán, el cual concentra el mayor valor patrimonial de la ciudad y conserva mejor la morfología y

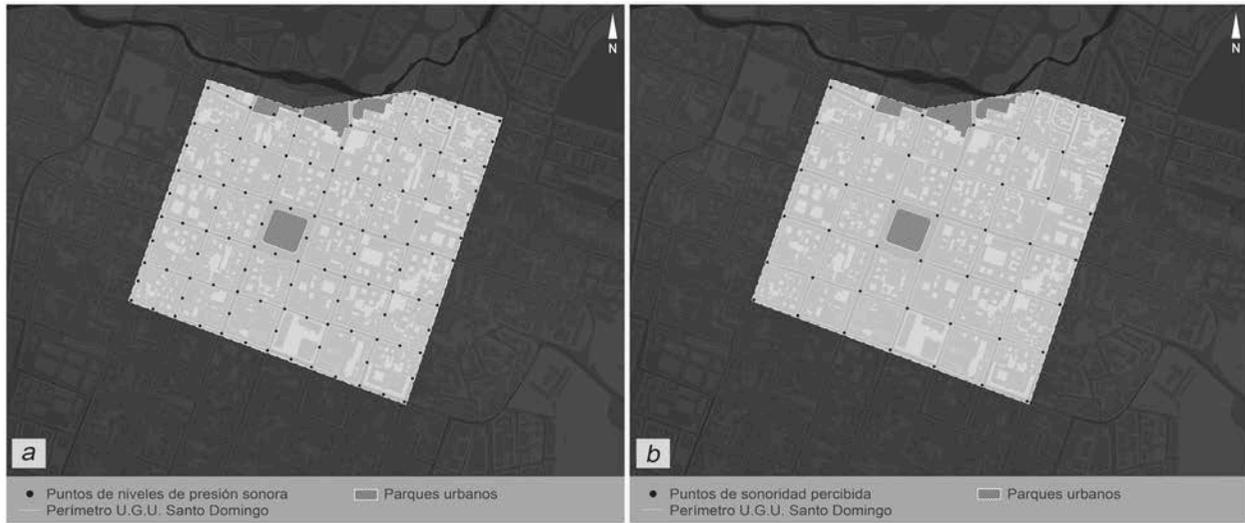


Figura 2. Distribución espacial de los puntos de registro. Fuente: Elaboración de los autores.

los edificios de la época colonial. Se define siguiendo el Plan Especial de Manejo y Protección (PEMP), desarrollado por la Alcaldía del Municipio de Popayán (2010). A partir de lo anterior, se escoge el área que este documento denomina «unidad de gestión urbanística de Santo Domingo», conformada por dos a tres cuadras alrededor de la típica plaza central colonial hispanoamericana, que, en el caso de Popayán, se transformó en parque arbolado a principios del siglo XX (Alcaldía del Municipio de Popayán, 2010: 126); de ahí que hoy se denomine Parque Francisco José de Caldas (Figura 1). El área limita al norte con el río Molino, en cuyo margen se localizan los parques José Hilario López y Arcada de la Herrería. Estos dos ámbitos se disponen de forma contigua y se caracterizan por su densa cobertura vegetal constituida tanto por árboles nativos (sauces y guayacanas, sobre todo) como por algunas especies exóticas, como los urapanes (*ibidem*: 455). Más allá de estos tres sectores con vegetación (los dos ribereños y el Parque Caldas), el paisaje urbano del sector estudiado refleja el patrón esperable de una ciudad colonial hispanoamericana, no solo por la trama ortogonal y la plaza central, sino por la tipología edificatoria bien conservada que se caracteriza por construcciones de bahareque, por lo general de planta baja más una sola altura (dos o más excepcionalmente), que ocupan las fachadas de todas las manzanas y que se articulan en torno a varios patios centrales privados. Por ello cabe considerarlo paradigmático en el contexto latinoamericano.

De acuerdo con el último recuento disponible, la población del área de estudio es de 1.783 habitantes (DANE, 2005). Ahora bien, debe considerarse que se trata del área central de Popayán, cuyas funciones comerciales, de servicios especializados y administrativos de primer rango, motivan que la población se desplace frecuentemente a la misma, por lo que la presencia

de personas no residentes en el sector es muy relevante. DANE (2005) ofrece una población de 252.570 habitantes para el conjunto del área urbana de Popayán. La zona de estudio actúa como lugar central urbano a efectos de ocio y recreación (sobre todo en la ribera del río Molino y el Parque Caldas) y también en un sentido simbólico (manifestaciones, actos públicos, celebraciones, etc.). Además, el turismo en Popayán, nacional e internacional, se concentra aquí, dado su innegable valor patrimonial, tanto material (paisaje urbano, catedral, claustros, iglesias, etc.) como inmaterial (semana santa).

Datos de base recabados

En concreto, se realizaron mallas de muestreo para asegurar la evaluación de los principales factores que conciernen al paisaje sonoro urbano en el área de estudio (Figura 2a-b). En lo relacionado al factor físico, se siguieron las indicaciones de Wei *et al.* (2016) y se optó por una malla de 50 x 50 m, distribuida en 121 puntos de medición (Figura 2a), con un tiempo de registro de 15 minutos por cada punto. Las mediciones se tomaron a una distancia de 1,5 m del suelo con un sonómetro Sound Pro Clase II de bandas de 1/3 de octava y se verificaron mediante un calibrador de precisión AcoustiCal AC-300 (Parlamento Europeo y Consejo, 2002; Zannin *et al.*, 2013). Los indicadores acústicos evaluados fueron el nivel equivalente, el nivel mínimo y el nivel máximo de presión sonora (dB_{Leq} , dB_{Min} , dB_{Max}) en horario diurno (8:00-20:00).

En cuanto al factor perceptual, la taxonomía del paisaje sonoro de Brown, Kang y Gjestland (2011) se ajustó para definir las clases de sonidos evaluadas en este estudio, tal y como se refleja en la Figura 3. Para este caso, se optó por una malla de 100 x 100 m distribuida en 50 puntos de muestreo (Figura 2b). La sonoridad

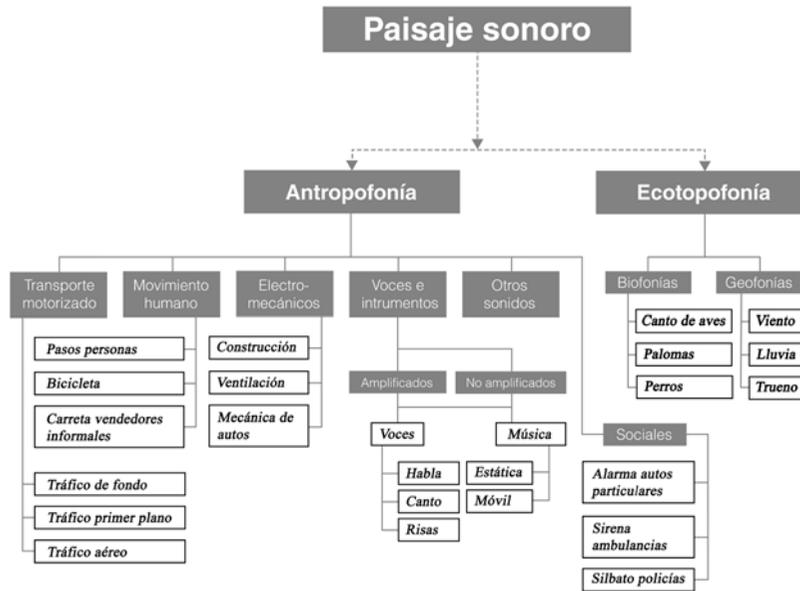


Figura 3. Taxonomía del paisaje sonoro ajustada a Popayán, con la que se realizó la distinción de las clases del paisaje sonoro in situ a través de los registros de sonoridad percibida. Elaboración de los autores a partir de Brown, Kang y Gjestland (2011).

percibida en los puntos seleccionados se registró *in situ* por un grupo de seis observadores sin deficiencias auditivas (cinco estudiantes de arquitectura y un músico), quienes fueron entrenados previamente para realizar la identificación de los diferentes sonidos.

De forma similar a los estudios de Liu *et al.* (2013), los datos perceptuales se recogieron en cinco períodos sucesivos de dos horas de duración por cada punto de registro: 1º período (P1): 8:00-10:00; 2º período (P2): 10:00-12:00; 3º período (P3): 12:00-14:00; 4º período (P4): 14:00-16:00; 5º período (P5): 16:00-18:00. Para cada período se registraron 10 minutos aleatoriamente. Estos se segmentaron en veinte etapas de tiempo secuenciales con duración de 30 segundos cada una, a través de las cuales cada sonido de subclase fue calificado acorde a la sonoridad percibida. Para su determinación, se utilizó una escala lineal de cinco puntos (1=muy bajo; 2=bajo; 3=normal; 4=alto; 5=muy alto).

La sonoridad percibida de las subclases del paisaje sonoro en cada punto de muestreo y periodo dado se calculó sumando las calificaciones obtenidas en las veinte etapas de tiempo (30 segundos), en las cuales fue dividido cada registro (10 minutos). De igual modo, la sonoridad percibida de cada clase principal del paisaje sonoro fue el resultado de la suma de las calificaciones de sus respectivas subclases.

Tratamiento geo-estadístico

Después de clasificar los indicadores acústicos (factor físico) y las calificaciones de sonoridad percibida (factor perceptual) como datos de análisis, se efectuó un tratamiento geo-estadístico. En particular, se siguieron los métodos de regionalización de

las variables sugeridos por Harman, Koseoglu y Yigit (2016), concretamente el de «krigeaje» (interpolación espacial *kriging*). La selección de este método se realizó teniendo en cuenta su alta precisión al procesar datos espaciales.

La ecuación general del «krigeaje» es:

$$N_o = \sum_{i=1}^n W_i N_i$$

En esta fórmula, N_o representa el valor de la variable del paisaje sonoro para la interpolación del punto en (x, y) y W_i los pesos que corresponden a cada N_i en (x, y) usados en el cálculo de N_o . N_i corresponde a los valores de los puntos de referencia empleados en el cálculo y n representa el número de variables utilizadas. Siguiendo estos parámetros, se calcularon modelos experimentales para cada una de las variables del paisaje sonoro. Luego, los modelos experimentales se ajustaron a los modelos teóricos del «krigeaje» (exponencial, gaussiano y esférico) en función del menor índice de error obtenido para cada modelo. De esta manera, se aseguró la imparcialidad en la creación de las superficies de interpolación, necesarias para su posterior mapeo (Goovaerts, 1999). Todos los cálculos mencionados se llevaron a cabo en el programa R Studio.

Mapeo del paisaje sonoro

El mapeo del paisaje sonoro urbano consiste en la visualización de su patrón de comportamiento espaciotemporal. Los mapas se realizaron en el sistema de información geográfica ArcMap 10.3.1, a partir de las superficies de interpolación obtenidas

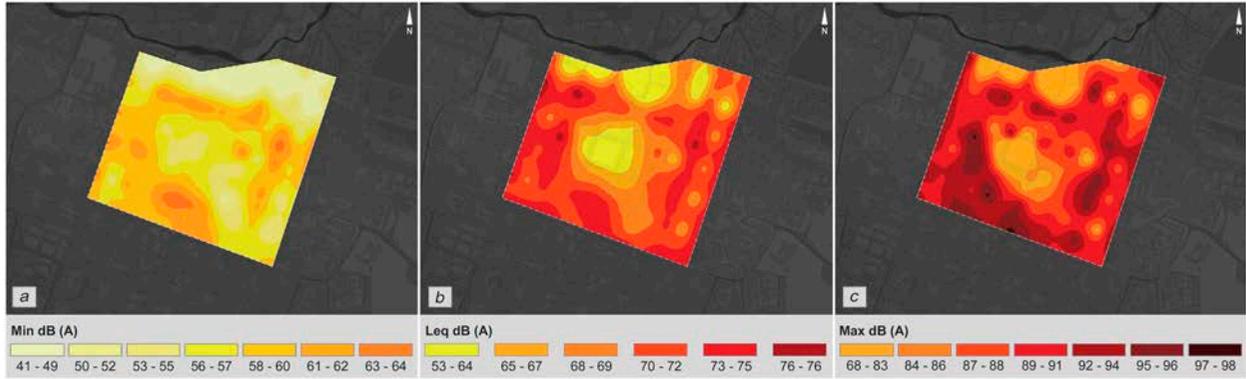


Figura 4a-b-c. Mapas del factor físico del paisaje sonoro. Fuente: Elaboración de los autores.

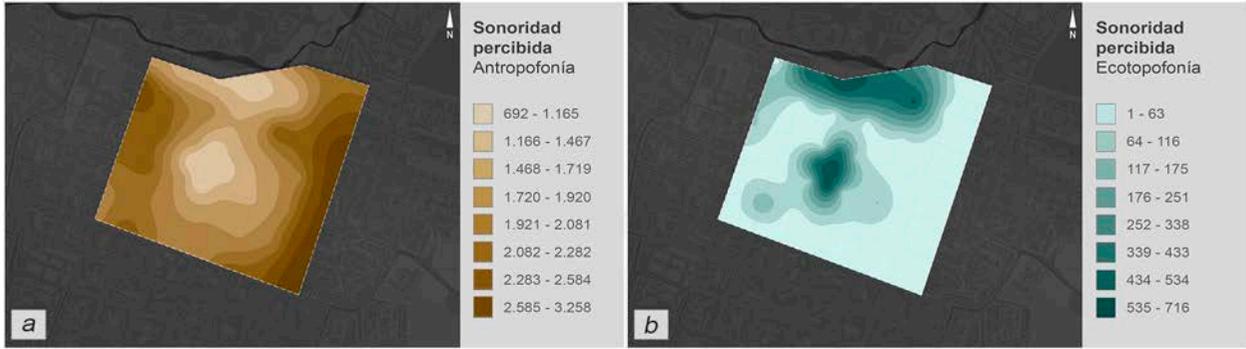


Figura 5a-b. Mapas de antropofonía (a) y ecotopofonía (b). Fuente: Elaboración de los autores.



Figura 6. Elementos que originan la producción de antropofonía. Fuente: Elaboración de los autores.

en el tratamiento geo-estadístico. El presente trabajo opta por cartografiar tanto el factor físico como el perceptual del paisaje sonoro, aunque lo habitual suele ceñirse al segundo. Los resultados que se muestran a continuación se estructuran alrededor de los mapas obtenidos.

IV. RESULTADOS

El factor físico del paisaje sonoro

Los mapas de resultados demuestran que el factor físico del paisaje sonoro presenta un mismo patrón de concentración espacial: los indicadores acústicos más bajos se registran en el Parque Caldas, en el centro, y en los parques del río Molino, en el sector septentrional, mientras que en los otros márgenes del área de estudio que no se ubican en el norte los niveles se incrementan como consecuencia del intenso flujo vehicular y de la actividad comercial. Los rangos son diferenciados para cada indicador acústico, pero se representan con una gama

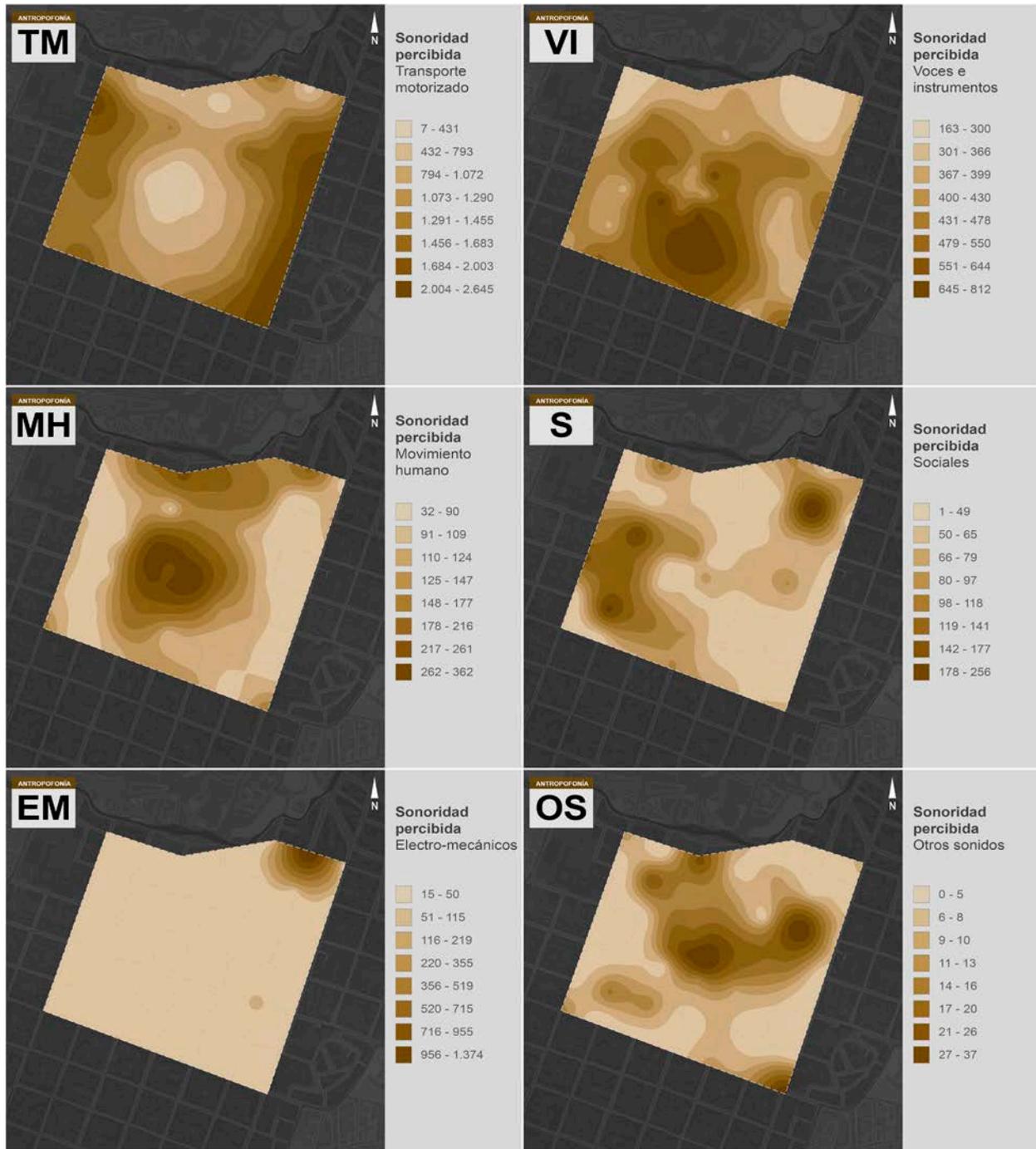


Figura 7. Mapas de subclase de antropofonía. Fuente: Elaboración de los autores.



Figura 8. Elementos que originan la producción de ecotopofonía. Fuente: Elaboración de los autores.

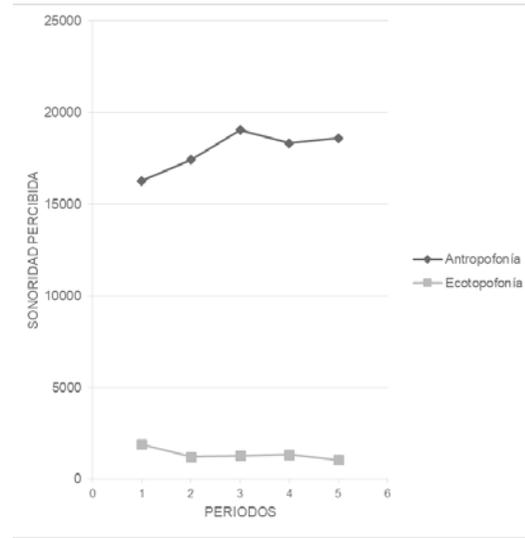


Figura 10. Variabilidad temporal de antropofonía y ecotopofonía. Fuente: Elaboración de los autores.

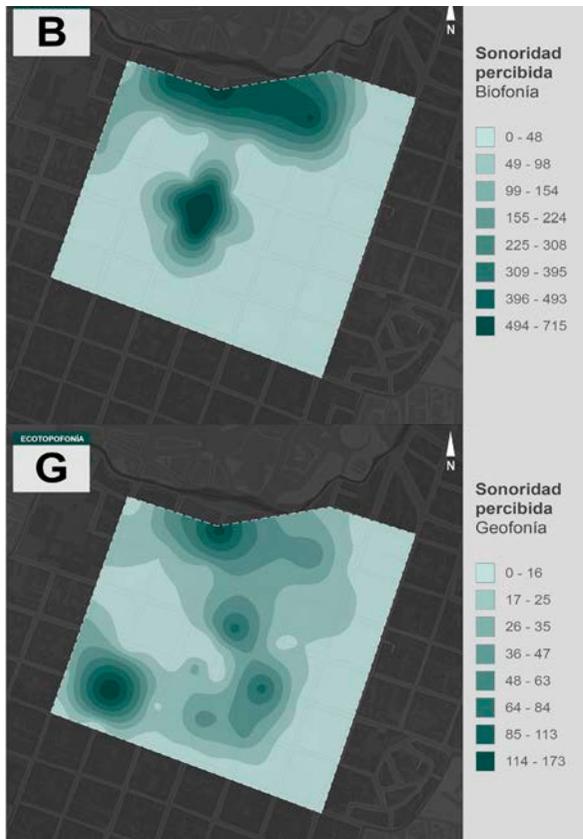


Figura 9. Mapas de subclase de ecotopofonía. Fuente: Elaboración de los autores.

cromática similar, de amarillo pálido (valores muy bajos) a rojo muy oscuro (valores muy altos) (ver Figura 4a-b-c): los niveles mínimos se encuentran entre 41 a 64 dB_{Min} (figura 4a); los niveles de presión sonora equivalente oscilan entre 53 a 76 dB_{Leq} (figura 4b); y los niveles máximos, entre 68 a 98 dB_{Max} (figura 4c).

El factor perceptual del paisaje sonoro

Los mapas de clase principal de antropofonía y ecotopofonía que describen el patrón de comportamiento espacial del factor perceptual del paisaje sonoro pueden observarse en la Figura 5a-b. La antropofonía obtuvo mayor grado de calificación en los márgenes oriental y occidental del área de estudio, de forma parcialmente coincidente con el factor físico (el margen meridional obtiene niveles altos de indicadores acústicos, pero en cambio la antropofonía no es tan alta). Este patrón se produce debido al alto flujo de transporte público y de vehículos privados que se concentra en esas zonas: hacia el este, se trata del eje de la Carrera 3, utilizado como vía de paso del casco antiguo por muchas líneas de buses en dirección al norte; hacia el noroeste, la principal entrada a la zona histórica dirección sur, que coincide, además, con el tramo de mayor pendiente a salvar por los vehículos (Figura 5a). En contraste, la ecotopofonía concentra su sonido en el Parque Caldas y en la ribera del río Molino, a causa, sobre todo, de las aves que se registran en esos lugares (Figura 5b).

La Figura 6 cartografía los diferentes elementos del entorno urbano que contribuyen a la conformación del sonido de antropofonía. La Figura 7, a su vez, muestra los mapas de subclase de antropofonía. El mapa de transporte motorizado

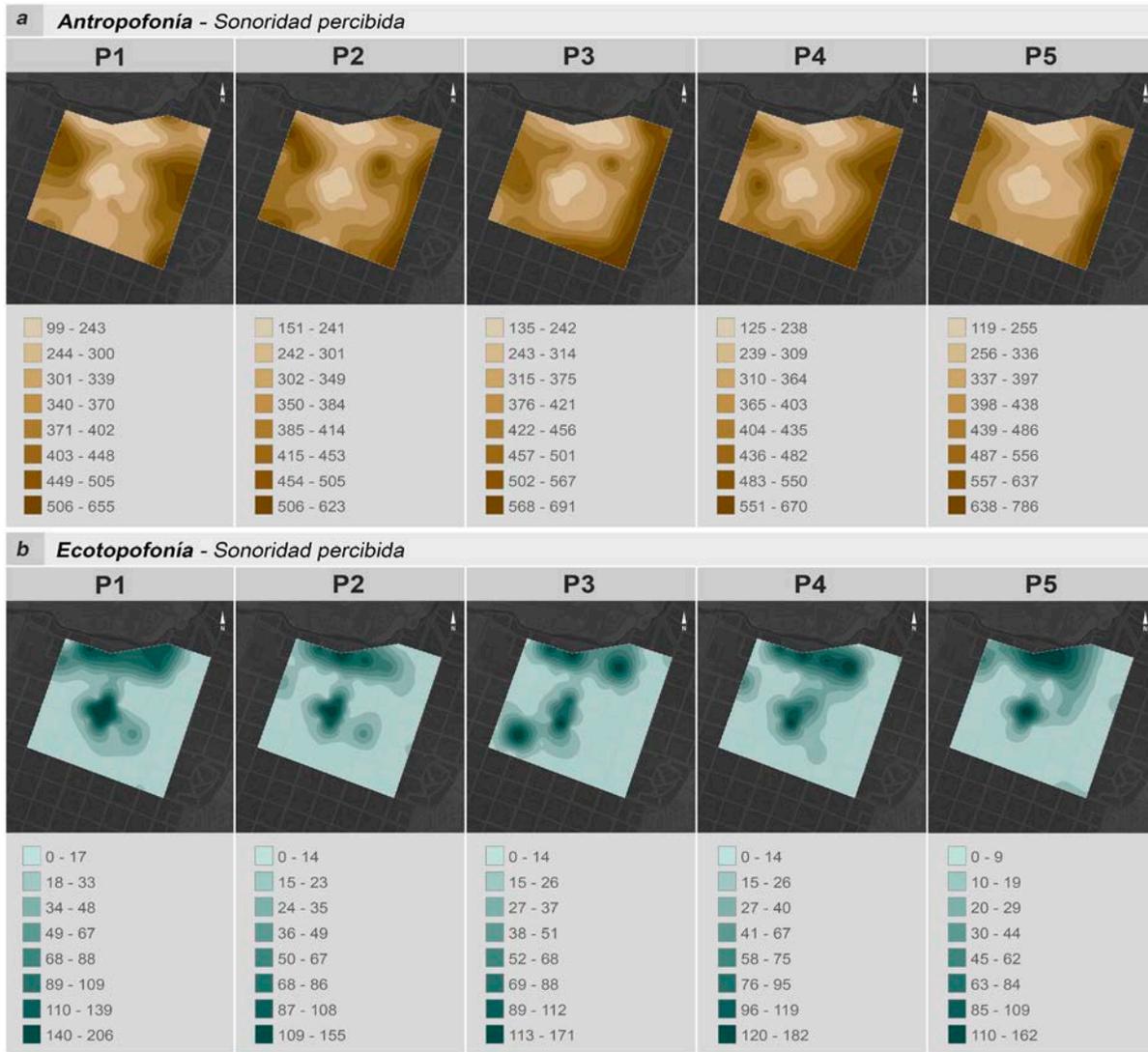


Figura 11a-b. Patrón espaciotemporal de antropofonía y ecotopofonía. Fuente: Elaboración de los autores.

(Figura 7TM) evidencia un patrón espacial muy similar a su clase principal. En efecto, la impresión global del paisaje sonoro de antropofonía resulta dominada en un 63,3% por el transporte motorizado.

Los demás mapas de subclase dentro de antropofonía registran patrones espaciales distintos. En todo caso, su dominancia resulta menor respecto a la configuración final del paisaje sonoro: voces e instrumentos: 22,9% (Figura 7VI); movimiento humano: 7,6% (Figura 7MH); sociales: 3,4% (Figura 7S); sonidos electro-mecánicos: 2,0% (Figura 7EM); y otros sonidos, 0,5% (Figura 7OS). No se observa correlación espacial entre subclases. Los patrones expresados dependen de las siguientes

razones contingentes: VI, las zonas de mayor concentración de comercio informal en la calle; MH, las zonas peatonales (Parque Caldas y ribera del río Molino); S, la presencia de policías de tráfico en intersecciones viarias; EM, obras públicas viarias en el momento del registro; y OS, causas diversas.

A su vez, la Figura 8 señala los principales elementos del entorno urbano que causan la concentración de ecotopofonía en el área de estudio. Los mapas de subclases de ecotopofonía resultantes se exponen en la Figura 9. El mapa de subclase de biofonía (Figura 9B) generado por el canto de las aves demuestra un patrón espacial semejante al de su clase principal, de lo que se infiere que domina la impresión global

del paisaje sonoro de ecotopofonía (en un 83,3%). Por otra parte, el mapa de geofonía (Figura 9G) presenta un patrón de comportamiento espacial difuso, producido por la lluvia y el viento. Esto es reflejo del clima tropical que se manifiesta de forma homogénea en el área de estudio.

En la Figura 10 se muestran las clases principales a lo largo del día. La secuencia temporal de antropofonía indica valores máximos en el tercer período (P3, 12:00-14:00). Este comportamiento refleja la intensidad de desplazamientos en las horas del almuerzo. En tanto, los valores máximos en la secuencia temporal de ecotopofonía se encuentran en el primer período (P1, 8:00-10:00) y tienden a disminuir gradualmente a lo largo del día, hasta el último período de registro (P5, 16:00-18:00).

En la Figura 11a-b se han representado la antropofonía y la ecotopofonía a lo largo del día. Su análisis sugiere que la correlación espaciotemporal entre ambas es inversa. Así, por ejemplo, la biofonía dominante en los parques urbanos deja de percibirse a medida que la actividad humana se incrementa al transcurrir el día.

Conviene recordar que la Figura 4b evidencia que en los parques urbanos se sobrepasa el límite de $55 \text{ dBA}_{\text{Leq}}$ sugerido por la Organización Mundial de la Salud (Berglund, Lindvall y Schwela, 1999) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD, 2003). No obstante, estos lugares están dominados mayormente por biofonías (Figura 9B). En determinados momentos del día (Figura 11b), el paisaje sonoro no cumple con los límites de ruido sugeridos en la normativa internacional mencionada, pero domina la ecotopofonía (producida por las aves o por el movimiento de la vegetación por el viento), lo cual prueba que las mediciones físicas resultan insuficientes para captar la complejidad de un paisaje sonoro urbano.

V. DISCUSIÓN

Al evaluar la variabilidad espaciotemporal del paisaje sonoro urbano, fueron revelados patrones de comportamiento altamente dinámicos. En coherencia con lo postulado por Liu *et al.* (2013), el comportamiento cambiante del paisaje sonoro del sector estudiado en Popayán se debe principalmente a la actividad y percepción humanas. Las cartografías obtenidas en este estudio sugieren que el sonido del transporte motorizado opaca los sonidos naturales, de modo que un paisaje sonoro de calidad depende esencialmente del balance entre sus clases principales.

Los paisajes sonoros dominados por el sonido del transporte motorizado se encuentran en aquellas zonas del centro de Popayán con altos niveles de presión sonora. Este resultado

confirma que el entorno acústico de la ciudad sufre una afectación notable a causa del transporte público y del uso del vehículo particular (Raimbault y Dubois, 2005). En ese sentido, más allá de una evaluación centrada en la ambigua concepción del ruido urbano, la cuestión radica realmente en la acelerada producción de paisajes sonoros dominados por el sonido de los motores.

Las dinámicas cambiantes del paisaje sonoro urbano revelan algunos escenarios positivos para la ciudad. Los planteamientos de Schafer (1977) sobre la búsqueda de experiencias sonoras placenteras se reflejan en los mapas de ecotopofonía. Estos apoyan la idea de que los sonidos del medio natural inciden positivamente en la impresión global del paisaje sonoro. Por ello, mejorar la experiencia sonora de la ciudad depende de la conformación de paisajes sonoros dominados por esta clase de sonidos, ya que son de mayor preferencia respecto al sonido del transporte motorizado (Nilsson y Berglund, 2005).

La disminución de los niveles de presión sonora ha sido el eje principal en la gestión del ruido urbano, acción que no necesariamente está relacionada con la mejora de la calidad ambiental. Los datos de este estudio prueban que algunos sonidos (voces, pasos, risas y otros), a pesar de sobrepasar los niveles establecidos por la Organización Mundial de la Salud (Berglund, Lindvall y Schwela, 1999) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD, 2003), también aportan a la construcción de un paisaje sonoro equilibrado, tal y como ya habían sostenido Raimbault y Dubois (2005). Esto contradice diversos estudios (Can, Leclercq y Lelong, 2008; Stoter, Kluijver y Kurakula, 2008; Tsai, Lin y Chen, 2009; Hao y Kang, 2014; Geraghtya y O'Mahony, 2016), que afirman que, a partir de unos niveles prefijados, ya cabe hablar de problemas de «ruido urbano», sin adentrarse más allá de la mera medición física. Teniendo ello cuenta, el presente trabajo permite matizar las escalas de ruido estáticas fijadas a nivel global, pues estas no se adaptan a situaciones como las que se producen en la ciudad latinoamericana.

Esta investigación también corrobora que los parques urbanos funcionan como elementos ordenadores del paisaje sonoro. En verdad, resultan estratégicos al mejorar la calidad del entorno urbano y proveer de servicios ecosistémicos a la ciudad, entre los que se encuentra la generación de ecotopofonías (Joo, Gage y Kasten, 2011). La evaluación integral de los factores del paisaje sonoro aporta lineamientos para la formulación de planes que gestionen el sonido urbano de forma más acertada. Por ello, la información del paisaje sonoro puede ser de utilidad al implementar prácticas de planificación y diseño urbano que contribuyan al desarrollo de la ciudad (revitalización de parques públicos, recuperación de corredores verdes y áreas libres de tráfico).

VI. CONCLUSIONES

El paisaje sonoro urbano resulta de gran importancia en la gestión de la calidad del entorno urbano. Consecuentemente, el estudio realizado apunta a que su tratamiento debe trascender la evaluación de los niveles de emisión de ruido, que por lo general sobrepasan los niveles permisibles de la normativa internacional en una ciudad como Popayán. En efecto, es necesario comprender la configuración de los diversos patrones de comportamiento del paisaje sonoro para mejorar la calidad de vida de la población.

Las actuaciones urbanas deberían fomentar la construcción integral del paisaje sonoro en momentos y lugares específicos, que respondan a su contexto sociocultural. En particular, se deben preservar áreas de interés ambiental como parques y rondas de río. Estas deben promover, al fin y al cabo, la creación de paisajes sonoros más sanos y menos ruidosos para la ciudadanía. La consideración de lo verde en el planeamiento urbano es una cuestión manida, pero este trabajo le permite añadir una función frecuentemente preterida: la provisión de paisajes sonoros de ecotopofonía. En suma, aquí se contribuye a demostrar que parques y riberas están directamente asociados a la salud ambiental y, por ende, al bienestar social.

Las ciudades necesitan siempre de un diálogo constante entre sus habitantes y el entorno acústico resultante. Un paisaje sonoro excesivamente silencioso no debería considerarse automáticamente un indicador de calidad de vida de la población. La respuesta humana al entorno acústico es mucho más compleja, pues inciden factores físicos, sociales y culturales. Por ello, solo desde una perspectiva integral será posible proveer experiencias sonoras favorables a los usuarios del espacio público abierto. Desde este enfoque, se asume que el paisaje sonoro de una ciudad latinoamericana puede aportar positivamente a la riqueza audible de la ciudad. Estas ciudades, usualmente ruidosas, producen paisajes sonoros que son, en parte, altamente aceptados por la población.

Finalmente, se recomienda que a futuro se amplíe la escala espaciotemporal del estudio, de forma que se involucren áreas urbanas de mayor dimensión, se realicen mediciones en horarios nocturnos y se aborde la relación entre los diferentes tipos de entornos urbanos y su paisaje sonoro resultante. Asimismo, se debieran utilizar entrevistas que profundicen en la comprensión del paisaje sonoro urbano, pues al paisaje cabe aproximarse tanto por la vía cuantitativa como por la cualitativa (Nogué *et al.*, 2010).

VII. AGRADECIMIENTOS

Este material se desarrolló en el marco del proyecto de Investigación y Desarrollo de la Planificación Urbana Sostenible en el Cauca – Estudio de Caso Popayán, financiado por el

Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Gobierno de Colombia y ejecutado por la Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca.

El Centro de Estudios Urbanos de dicha universidad respaldó este trabajo. Por ello, se agradece a todo su equipo de trabajo y, en particular, a su fundador, Francisco Zúñiga, cuya experiencia docente aportó considerablemente a la investigación. Se extienden también sinceros agradecimientos a los directores del proyecto, Germán Chamorro y Andrés Córdoba, por su desinteresado apoyo a este estudio. También deseamos expresar nuestra gratitud a los dos evaluadores anónimos, dado que sus aportaciones fueron sustanciales para la mejora de este artículo, y a la editora de la revista *Urbano*, Ana Zazo por la oportunidad concedida.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGNEW, John. Space and Place. En: AGNEW, John y LIVINGSTONE, David (eds.). *Handbook of Geographical Knowledge*. Londres: Sage, 2011, pp. 316-331.
- ALCALDÍA DEL MUNICIPIO DE POPAYÁN. *Plan Especial de Manejo y Protección del Sector Antiguo de Popayán*. Popayán: Gobierno del Municipio de Popayán, 2010.
- ARJUNAN, Arun; WANG, Chang; YAHIAOUI, Kadda; MYNORS, Diane; MORGAN, Tertia; NGUYEN, Van Bac y ENGLISH, Martin. Development of a 3D Finite Element Acoustic Model to Predict the Sound Reduction Index of Stud Based Double-Leaf Walls, *Journal of Sound and Vibration*, 2014, vol. 333, n° 23, pp. 6140-6155.
- BERGLUND, Birgitta; LINDVALL, Thomas y SCHWELA, Dietrich H. (eds.). *Guidelines for Community Noise*, Geneva: World Health Organization, 1999.
- BROWN, A. L.; KANG, Jian y GJESTLAND, Truls. Towards Standardization in Soundscape Preference Assessment, *Applied Acoustics*, 2011, vol. 72, n° 6, pp. 387-392.
- BRUCE, Neil y DAVIES, William. The Effects of Expectation on the Perception of Soundscapes, *Applied Acoustics*, 2014, vol. 85, pp. 1-11.
- CAN, Arnaud; LECLERCQ, Ludovic y LELONG, Joel. Dynamic Estimation of Urban Traffic Noise: Influence of Traffic and Noise Source Representations, *Applied Acoustics*, 2008, vol. 69, n° 10, pp. 858-867.
- CERWÉN, Gunnar. Urban Soundscapes: A Quasi-Experiment in Landscape Architecture, *Landscape Research*, 2016, vol. 41, n° 5, pp. 481-494.
- DANE [DEPARTAMENTO NACIONAL ADMINISTRATIVO DE ESTADÍSTICA]. *Boletín censo general: Perfil Popayán, Cauca, Colombia*. Bogotá: DANE, 2005.
- DAVIES, William; ADAMS, Mags; BRUCE, Neil; CAIN, Rebecca; CARLYLE, Angus; CUSACK, Peter; HALL, Deborah; HUME, Ken; IRWIN, Amy; JENNINGS, Paul; MARSELLE, Melissa; PLACK, Christopher y POXON, John. Perception of Soundscapes: An Interdisciplinary Approach. *Applied Acoustics*, 2013, vol. 74, n° 2, pp. 224-231.
- GERAGHTY, Dermot y O'MAHONY, Margaret. Investigating the Temporal Variability of Noise in an Urban Environment, *International Journal of Sustainable Built Environment*, 2016, vol. 5, n° 1, pp. 34-45.
- GILL, Sharon; GRABARCZYK, Erin-; BAKER, Kathleen; NAGHSHINEH, Koorosh y VONHOF, Maarten. Decomposing an Urban Soundscape to Reveal Patterns and Drivers of Variation in Anthropogenic Noise, *Science of the Total Environment*, 2017, vol. 599, pp. 1191-1201.

GOOVAERTS, Pierre. Geostatistics in Soil Science: State-of-the-Art and Perspectives. *Geoderma*, 1999, vol. 89, n° 1-2, pp. 1-45.

GOZALO, G. Rey; CARMONA, José Trujillo; BARRIGÓN, Juan Miguel; VILCHEZ-GÓMEZ, Rosendo y GÓMEZ, Valentín. Relationship between Objective Acoustic Indices and Subjective Assessments for the Quality of Soundscapes, *Applied Acoustics*, 2015, vol. 97, pp. 1-10.

HAO, Yiyang y KANG, Jian. Influence of Mesoscale Urban Morphology on the Spatial Noise Attenuation of Flyover Aircrafts, *Applied Acoustics*, 2014, vol. 84, pp. 73-82.

HARMAN, Bilgehan Ilker; KOSEOGLU, Hasan y YIGIT, Cemal Ozer. Performance Evaluation of IDW, Kriging and Multiquadric Interpolation Methods in Producing Noise Mapping: A Case Study at the City of Isparta, Turkey, *Applied Acoustics*, 2016, vol. 112, pp. 147-157.

HERMIDA, Luis y PAVÓN, Ignacio. Spatial Aspects in Urban Soundscapes: Binaural Parameters Application in the Study of Soundscapes from Bogotá-Colombia and Brasília-Brazil. *Applied Acoustics*, 2019, vol. 145, pp. 420-430.

HONG, Joo Young y JEON, Jin Yong. Exploring Spatial Relationships among Soundscape Variables in Urban Areas: A Spatial Statistical Modelling Approach. *Landscape and Urban Planning*, 2017, vol. 157, pp. 352-364.

ISO [INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION]. *ISO 12913-1: 2014. Acoustics—Soundscape—Part 1: Definition and Conceptual Framework*, 2014.

ISO [INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION]. *ISO 12913-2: 2018. Acoustics—Soundscape—Part 2: Data Collection and Reporting Requirements*, 2018.

JENNINGS, Paul y CAIN, Rebecca. A Framework for Improving Urban Soundscapes, *Applied Acoustics*, 2013, vol. 74, n° 2, pp. 293-299.

JEON, Jin Yong; HONG, Joo Young; LAVANDIER, Catherine; LAFON, Jeanne; AXELSSON, Östen y HURTIG, Malin. A Cross-National Comparison in Assessment of Urban Park Soundscapes in France, Korea, and Sweden through Laboratory Experiments, *Applied Acoustics*, 2018, vol. 133, pp. 107-117.

JOO, Wooyeong; GAGE, Stuart y KASTEN, Eric. Analysis and Interpretation of Variability in Soundscapes along an Urban-Rural Gradient, *Landscape and Urban Planning*, 2011, vol. 103, n° 3-4, pp. 259-276.

KANG, Jian; ALETTA, Francesco; GJESTLAND, Truls; BROWN, Lex; BOTTELDOOREN, Dick; SCHULTE-FORTKAMP, Brigitte; LERCHER, Peter; KAMP, Irene van; GENUIT, Klaus; FIEBIG, André; COELHO, Luis Bento; MAFFEI, Luigi y LAVIA, Lisa. Ten Questions on the Soundscapes of the Built Environment, *Building and Environment*, 2016, vol. 108, pp. 284-294.

LEE, Shi-Won; CHANG, Seo Il y PARK, Young-Min. Utilizing Noise Mapping for Environmental Impact Assessment in a Downtown Redevelopment Area of Seoul, Korea, *Applied Acoustics*, 2008, vol. 69, n° 8, pp. 704-714.

LEUS, Maria y HERSENS, Jasmien. The Soundscapes of Antwerp: A Study on the Acoustic Genius Loci, *Energy Procedia*, 2015, vol. 78, pp. 25-30.

LIU, Fangfang y KANG, Jian. A Grounded Theory Approach to the Subjective Understanding of Urban Soundscape in Sheffield, *Cities*, 2016, vol. 50, pp. 28-39.

LIU, Jiang; KANG, Jian; LUO, Tao; BEHM, Holger y COPPACK, Timothy. Spatiotemporal Variability of Soundscapes in a Multiple Functional Urban Area, *Landscape and Urban Planning*, 2013, vol. 115, pp. 1-9.

MARISTANY, Arturo; LÓPEZ, Manuel y RIVERA, César. Soundscape Quality Analysis by Fuzzy Logic: A Field Study in Córdoba, Argentina, *Applied Acoustics*, 2016, vol. 111, pp. 106-115.

NEMETH, Erwin y BRUMM, Henrik. Blackbirds Sing Higher-Pitched Songs in Cities: Adaptation to Habitat Acoustics or Side-Effect of Urbanization?, *Animal Behaviour*, 2009, vol. 78, n° 3, pp. 637-641.

NILSSON, Mats y BERGLUND, Birgitta. Assessment of Outdoor Soundscapes in Quiet Areas, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2005, vol. 117, n° 4, pp. 2592-2592.

NOGUÉ, Joan; PUIGBERT, Laura; SALA, Pere y BRETCHA, Gemma. *Paisatge i participació ciutadana*. Olot/Barcelona: Observatori del Paisatge de Catalunya/Direcció General de Participació Ciutadana del Departament d'Interior, Relacions Institucionals i Participació Ciutadana de la Generalitat de Catalunya, 2010.

OECD [ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT]. *OECD Environmental Indicators. Development, Measurement and Use*. París: OECD, 2003.

OU, Dayi; MAK, Cheuk Ming y PAN, Sensen. A Method for Assessing Soundscape in Urban Parks Based on the Service Quality Measurement Models, *Applied Acoustics*, 2017, vol. 127, pp. 184-193.

PALLAS, Marie-Agnès; CHATAGNON, Roger y LELONG, Joël. Noise Emission Assessment of a Hybrid Electric Mid-Size Truck, *Applied Acoustics*, 2014, vol. 76, pp. 280-290.

PARLAMENTO EUROPEO y CONSEJO. Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, *Diario Oficial*, 2002, n° L 189 (18/07/2002), pp. 12-26.

PIJANOWSKI, Bryan; FARINA, Almo; GAGE, Stuart; DUMYAHN, Sarah y KRAUSE, Bernie. What Is Soundscape Ecology? An Introduction and Overview of an Emerging New Science, *Landscape Ecology*, 2011, vol. 26, n° 9, pp. 1213-1232.

QUIÑONES-BOLAÑOS, Edgar; BUSTILLO-LECOMPTE, Ciro y MEHRVAR, Mehrab. A Traffic Noise Model for Road Intersections in the City of Cartagena de Indias, Colombia, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2016, vol. 47, pp. 149-161.

RAIMBAULT, Manon y DUBOIS, Daniele. Urban Soundscapes: Experiences and Knowledge, *Cities*, 2005, vol. 22, n° 5, pp. 339-350.

REHAN, Reeman Mohammed. The Phonic Identity of the City Urban Soundscape for Sustainable Spaces, *HBRC Journal*, 2016, vol. 12, n° 3, pp. 337-349.

SÁNCHEZ-GENDRIZ, Ignacio y RODRIGUES, Linilson. Underwater Soundscape of Marine Protected Areas in the South Brazilian Coast, *Marine Pollution Bulletin*, 2016, vol. 105, n° 1, pp. 65-72.

SCHAEFFER, Pierre. *La musique concrète*. París: Presses Universitaires de France, 1967.

SCHAFER, Raymond Murray. *The Soundscape: Our Sonic Environment and the Tuning of the World*. New York: Knopf, 1977.

STANNERS, David y BOURDEAU, Philippe. *Europe's Environment: The Dobřiš Assessment*. Luxemburgo: Office for Official Publications of the European Communities, 1995.

STOTER, Jantien; DE KLUIJVER, Henk y KURAKULA, Vinaykumar. 3D Noise Mapping in Urban Areas, *International Journal of Geographical Information Science*, 2008, vol. 22, n° 8, pp. 907-924.

SUÁREZ, Enrique y BARROS, J. L. Traffic Noise Mapping of the City of Santiago de Chile, *Science of the Total Environment*, 2014, vol. 466, pp. 539-546.

SZEREMETA, Bani y ZANNIN, Paulo Henrique. Analysis and Evaluation of Soundscapes in Public Parks through Interviews and Measurement of Noise, *Science of the Total Environment*, 2009, vol. 407, n° 24, pp. 6143-6149.

TRUAX, Barry. Acoustic Space, Architecture and Acoustic Ecology. En: *Proceedings of the Architecture, Music, Acoustics Conference*. Toronto: Ryerson University, 2006.

TSAI, Kang-Ting; LIN, Min-Der y CHEN, Yen-Hua. Noise Mapping in Urban Environments: A Taiwan Study, *Applied Acoustics*, 2009, vol. 70, n° 7, pp. 964-972.

WATTS, Greg R. y PHEASANT, Robert J. Tranquility in the Scottish Highlands and Dartmoor National Park—The Importance of Soundscapes and Emotional Factors, *Applied Acoustics*, 2015, vol. 89, pp. 297-305.

WEI, Weigang; VAN RENTERGHEM, Timothy; DE COENSEL, Bert y BOTTELDOOREN, Dick. Dynamic Noise Mapping: A Map-Based Interpolation between Noise Measurements with High Temporal Resolution, *Applied Acoustics*, 2016, vol. 101, pp. 127-140.

WHO [WORLD HEALTH ORGANIZATION]. *Environmental Noise Guidelines for the European Region*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2018.

YANG, Wei y KANG, Jian. Soundscape and Sound Preferences in Urban Squares: A Case Study in Sheffield, *Journal of Urban Design*, 2005, vol. 10, n° 1, pp. 61-80.

ZANNIN, Paulo Henrique; ENGEL, Margret; FIEDLER, Paulo y BUNN, Fernando. Characterization of Environmental Noise Based on Noise Measurements, Noise Mapping and Interviews: A Case Study at a University Campus in Brazil, *Cities*, 2013, vol. 31, pp. 317-327.

ZHANG, Xu; BA, Meihui; KANG, Jian y MENG, Qi. Effect of Soundscape Dimensions on Acoustic Comfort in Urban Open Public Spaces, *Applied Acoustics*, 2018, vol. 133, pp. 73-81.