



Tomado de: <https://pixabay.com/es/ciudad-coches-el-tr%C3%A1fico-veh%C3%ADculos-1284489/>

Contaminación por ruido en carreteras de acceso a la ciudad de Chihuahua

Noise pollution in access roads to the city of Chihuahua

Cecilia Olivia Olague-Caballero*

Gilberto Wenglas-Lara

José Guillermo Duarte-Rodríguez

Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ingeniería, Campus Universitario II, Circuito Universitario S/N Chihuahua., México, C.P. 31100.

*Autor para correspondencia:

cecilia.olague@gmail.com

Fecha de recepción:

30 de septiembre de 2014

Fecha de aceptación:

7 de abril de 2016

RESUMEN

La contaminación por ruido es un problema de continua preocupación pública, por lo que se dedican esfuerzos importantes para controlarlo. El tráfico vehicular es la mayor fuente de contaminación acústica en las áreas urbanas. Las principales variables que inciden en el ruido urbano son el tráfico rodado y su impacto según el uso de suelo colindante. El objetivo de esta investigación fue determinar el nivel de ruido que se genera en tres vías de alto tráfico vehicular en la ciudad de Chihuahua, Chihuahua, México: Chihuahua a Hermosillo, Sonora; Chihuahua a Ciudad Juárez, Chihuahua; y Chihuahua a Delicias, Chihuahua. Para ello, se seleccionaron 64 puntos de estudio. El nivel de ruido fue medido durante los periodos de máxi-

ma demanda vehicular. El índice utilizado fue el nivel de presión sonora continuo equivalente (Leq dB [A]), y la unidad de medida fue el decibelio (dB). Los resultados muestran que el nivel de ruido varió de 67.7 dB (A) a 75.5 dB (A), valores que se encuentran por arriba de los niveles de ruido permisibles, de acuerdo a los estándares internacionales. Se sugiere el uso de bermas, la optimización de la superficie de rodamiento y barreras de sonido como alternativas que se consideran adecuadas para mitigar el ruido en cada punto en que se exceden los niveles permitidos máximos en el día.

PALABRAS CLAVE: tráfico vehicular, mitigación de ruido urbano, ruido urbano, ruido de autotransportes.

ABSTRACT

Noise pollution is a problem of continuous public concern; major efforts are devoted to trying to abate it. Vehicular Traffic is a major source of noise pollution in urban areas. The main variables that influence the urban noise are the vehicles and the adjacent land use. The aim of this research was to quantify the noise level in three high traffic volume ways in Chihuahua city, Chihuahua, México: Chihuahua to Hermosillo, Sonora; Chihuahua to Ciudad Juárez, Chihuahua; and Chihuahua to Delicias, Chihuahua. For this 64 points of analysis were selected. The noise level was measured during peak hours. The index used was A-weighted equivalent continuous sound pressure level (Leq dB [A]), and the measurement unit was the decibel (dB). The results show that noise level ranged between 67.7 dB (A) and 75.5 dB (A), which are above the permissible noise levels according to international standards. Using of berms, optimization of road surface, and sound barriers are suggested as adequate alternatives to mitigate the noise level at each point that exceed the maximum permitted levels during daytime.

KEYWORDS: vehicular traffic, urban noise abatement, urban noise, transportation noise.

INTRODUCCIÓN

El ruido medioambiental de las áreas urbanas de todo el mundo suele rebasar la norma de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (WHO, 1999), establecida en 55 dB (A) para el día y en 50 dB (A) para la noche. Li y col. (2004) y Gökdağ (2012), reportaron que los altos niveles de ruido estaban asociados con altos volúmenes de tráfico vehicular. El ruido causado por el tráfico vehicular representa en la actualidad una de las principales fuentes de contaminación acústica en las áreas urbanas (Zannin y col., 2002; Murthy y col., 2007; Chaaban, 2008; Oyedepo y Saadu, 2008; Ausejo y col., 2009; Nejadkoorki y col., 2010; Ebrahim-poush y col., 2012). La preocupación por el efecto que causa en la salud y bienestar de la población no es reciente, uno de los prime-

ros estudios de ruido urbano producido por el tráfico vehicular se realizó en Nueva York en 1930 (Fletcher y Galt, 1950); en tanto que en Europa, en 1960, se hicieron estudios de ruido en Toulouse, Francia y Dormunt, Alemania (García, 1988). Recientemente, en Calcuta, India, se realizó un estudio que permitió establecer que el ruido vehicular estaba por encima de los límites permisibles, y se obtuvo un mapa acústico de la ciudad (Chakrabarty y col., 1997).

Europa ha sobresalido en la atención al problema del ruido vehicular en áreas urbanas y su impacto medioambiental. En España, en 1996, se publicó el Informe Dobrís, en el que se manifiesta la preocupación por la contaminación acústica; y en 2010, en el informe CNOSSOS-EU, se describe un marco metodológico común para elaboración de mapas de ruido, basados en la Directiva de ruido Medioambiental (2002/49/EC). También es importante destacar, que desde el 2007, se conmina a los países de la comunidad europea a que una vez que se tengan los mapas de ruido de las vialidades principales, ferrocarriles, aeropuertos y aglomeraciones en áreas urbanas, se elaboren planes de acción para reducir la contaminación acústica (Kephalopoulos y col., 2012).

En México los niveles de ruido por tráfico vehicular no han sido evaluados de forma extensiva, sin embargo, existen algunos estudios básicos importantes que datan de 1985, por ejemplo, cuando la extinta Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología de México (SEDUE) realizó un estudio en diversas ciudades, de las cuales, 25 resultaron con problemas de contaminación por ruido emitido por el tráfico vehicular (Jiménez, 2001). En otro estudio de la SEDUE, elaborado en 1985, en 25 sitios del sur de la Ciudad de México, de 3 km² de área, el ruido vehicular se mantuvo constante de las 7:00 horas a las 21:00 horas, encontrándose niveles de ruido superiores a 55 dB (A) en el 86 % de los sitios, y superiores a 70 dB (A) en el 60 % de los sitios, rebasándose la normatividad de la OMS, que indica 55 dB (A) como nivel máximo permitido en áreas habitacionales (Jiménez, 2001).

En 1986, la SEDUE efectuó un estudio de ruido en la Ciudad de México, en intersecciones de la Delegación Benito Juárez, detectando valores de 74 dB (A) a 100 dB (A) (Jiménez, 2001). El Instituto Mexicano del Transporte (IMT), en el año 2000, inició una línea de investigación respecto a la generación de ruido en algunas de las carreteras más importantes de la República Mexicana, con objeto de medir los niveles de ruido, realizar diagnósticos y establecer criterios de regulación del mismo (Damián y col., 2001; Flores y col., 2002a; Flores y col., 2002b; Flores y col., 2005; Flores y col., 2006). En 2003, el IMT, publicó una propuesta de normatividad mexicana para regular el ruido que genera la operación del transporte carretero, donde se proponen una serie de medidas para disminuir los niveles de ruido vehicular (Torras y col., 2003).

Las personas expuestas al ruido generado por el tráfico vehicular, aún a bajos niveles, presentan molestias y trastornos del sueño (Bluhm y col., 2004), afectando también la actividad productiva y el bienestar en general (Boullosa y Pérez, 1987; German, 2008; Al-Mutairi y col. 2009; Cravioto y col., 2013; Zamorano y col., 2015), así como el nivel de atención escolar en estudiantes de nivel básico (Campuzano y col., 2010). Se ha establecido que la exposición a altos niveles de contaminación acústica por periodos prolongados aumenta el riesgo de padecer importantes trastornos fisiológicos, sensación de malestar y fatiga crónica, e incluso pérdida de audición en casos severos (Babisch, 2011; Welch y col., 2013).

Existen diferentes esfuerzos para reducir la contaminación acústica ocasionada por el tráfico vehicular. Dursun y col. (2006) y Banerjee y col. (2009), realizaron trabajos de investigación, en los que mostraron que un Sistema de Información Geográfica (SIG) es una herramienta efectiva para evaluar la contaminación por ruido en áreas urbanas y hacer mapas de ruido que permitan acciones de planeación e incluso correctivas.

En Suecia, la Universidad de Chalmers emitió una serie de recomendaciones para reducir el

ruido, que incluye pavimentos con textura y granulometría más cerrada (Kropp y col., 2007). Al respecto, el Departamento de Transporte del Estado de Washington (WSDOT, por sus siglas en inglés), realizó un estudio sobre la interacción neumático-pavimento, en carreteras con concreto asfáltico, usando cemento portland, estableciendo que el ruido depende más de la textura del pavimento que del tipo de pavimento. El pavimento con agregado grueso produjo 7 dB (A) más que el pavimento de textura lisa (WSDOT, 2005).

El crecimiento en las áreas de urbanización y el tráfico vehicular obligan a las autoridades a tener una planeación sustentable y racional, que permita un adecuado control de la contaminación sonora (Chandioa y col., 2010).

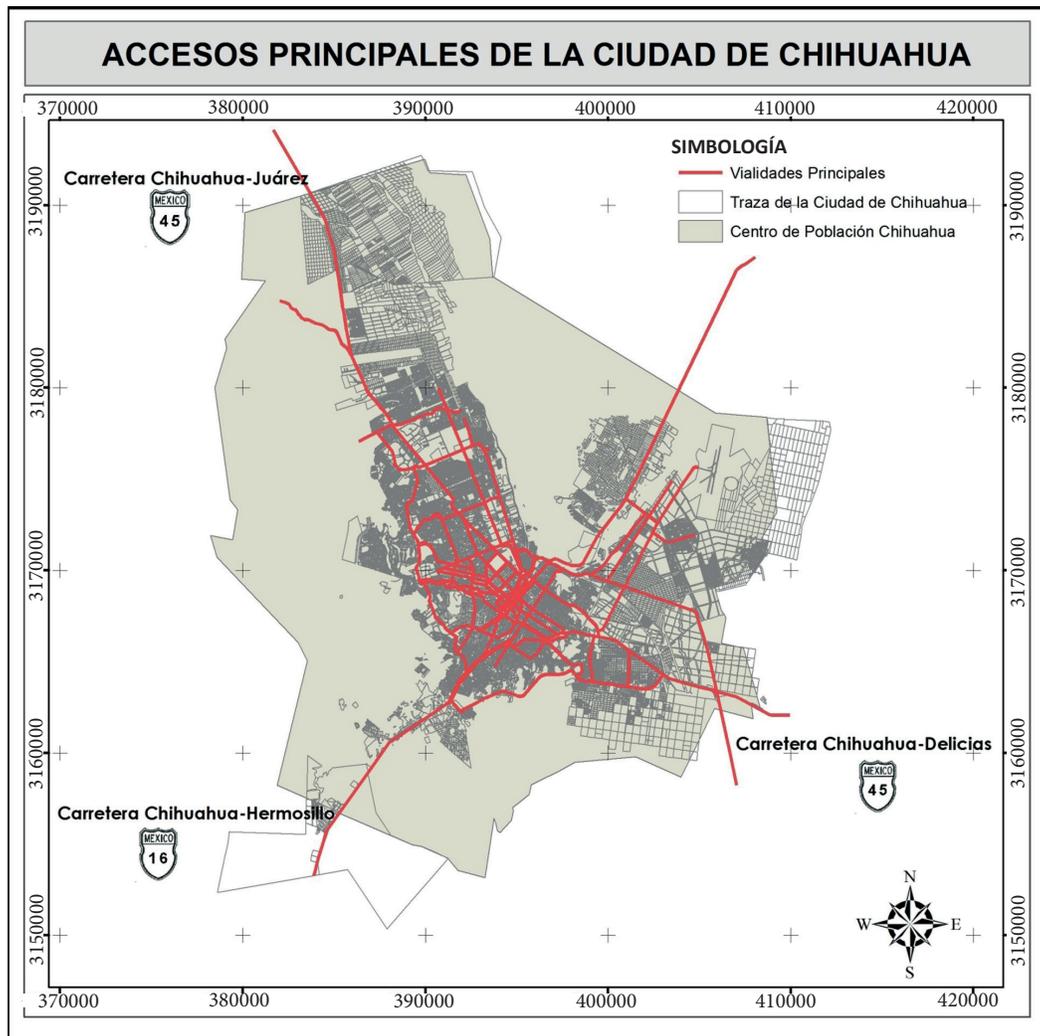
El objetivo de la presente investigación fue evaluar el nivel de ruido proveniente de los vehículos automotores, en tres importantes vialidades de acceso a la ciudad de Chihuahua, así como establecer recomendaciones de mitigación o eliminación del efecto de la contaminación acústica proveniente de los vehículos automotores, basándose en los niveles internacionales permisibles de ruido.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en las principales vías de acceso de la ciudad de Chihuahua, Chihuahua, México: Chihuahua a Hermosillo, Sonora; Chihuahua a Ciudad Juárez, Chihuahua; y Chihuahua a Delicias, Chihuahua (Figura 1). El trabajo se dividió en tres partes básicas: caracterización de la zona de estudio, medición del ruido vehicular y asignación de medidas de mitigación.

Caracterización de la zona de estudio

Se estudiaron las características urbanas, geométricas y de tránsito vehicular. Para el estudio de las características urbanas se realizó un análisis urbano para cada acceso, en conformidad con lo señalado en el Plan de Desarrollo Urbano del Centro de Población Chihuahua 2040 (PDU 2040, 2013), en su última actualización de octubre del 2013. Esto permitió identificar los pun-



■ Figura 1. Ubicación de carreteras de acceso a la ciudad de Chihuahua que fueron estudiadas. Las coordenadas se indican en unidades UTM.

Figure 1. Location of access roads to Chihuahua City that were studied. Coordinates are indicated in UTM units.

tos más vulnerables o mayormente afectados, como sectores densamente poblados, zonas habitacionales, templos, hospitales, áreas recreativas, guarderías, zonas escolares, zonas comerciales o de servicios, entre otros. Además, se determinaron las características geométricas de cada acceso carretero, tales como: derecho de vía, ancho de corona, ancho de calzada, acotamiento, banquetas, número de carriles de circulación, dimensiones de faja separadora central, pendiente del camino, tipo de pavimento y estado de conservación.

Para la determinación de las características del tránsito vehicular se realizaron aforos vehicula-

res, utilizándose un aforador marca Metro Count, modelo 5600, Series RSU, fabricado en Australia Occidental, complementándose la información con aforos manuales en cada uno de los accesos estudiados.

Los estudios de ingeniería de tránsito se desarrollaron de acuerdo a los procedimientos que se indican en el Manual de Ingeniería de Tráfico del Instituto de Ingenieros en Transporte de Estados Unidos (ITE, 2009). Para cada acceso se obtuvo el tránsito diario promedio anual (TDPA), volumen de la hora de máxima demanda (VHMD), hora pico, la composición vehicular y las velocidades de punto. La composición vehicular se

midió en porcentaje de vehículos tipo A, B, C y especiales. Los vehículos tipo A se definieron como vehículos ligeros, que incluyen principalmente a los automóviles particulares. Los vehículos tipo B estuvieron conformados por autobuses. Los vehículos tipo C fueron camiones pesados de dos y tres ejes, y por último se consideraron los vehículos especiales, que no quedaron encasillados en ninguna de las categorías anteriores.

Medición del ruido vehicular

Para la ubicación de los puntos de medición del ruido vehicular se aplicó la combinación de los criterios de selección de puntos críticos, por conveniencia y aleatoriamente. Los puntos críticos se consideran colindantes con los usos de suelo: equipamiento de salud, como hospitales y clínicas, equipamiento educativo, equipamiento de asistencia social, como asilos o guarderías, equipamiento recreativo y zonas habitacionales, de acuerdo a lo estipulado en el PDU 2040 (2013).

Los puntos por conveniencia se seleccionaron considerando los usos de suelo actualmente en operación en la zona, usos existentes. Adicionalmente, un número de puntos fue determinado aleatoriamente. Los puntos se denominaron bajo una nomenclatura de referencia de acuerdo a los sentidos de circulación de los tramos de estudio, seguido de un número que indica el punto de medición. La nomenclatura se muestra en la Tabla 1. La ubicación de los puntos medidos se muestra en las Figuras 2a,

2b y 2c. En todos los casos, los puntos de medición fueron seleccionados de manera que estuvieran alejados de cualquier fuente fija u otro tipo de fuente de ruido, distinta del tráfico vehicular de la vía, que podría haber alterado la medición.

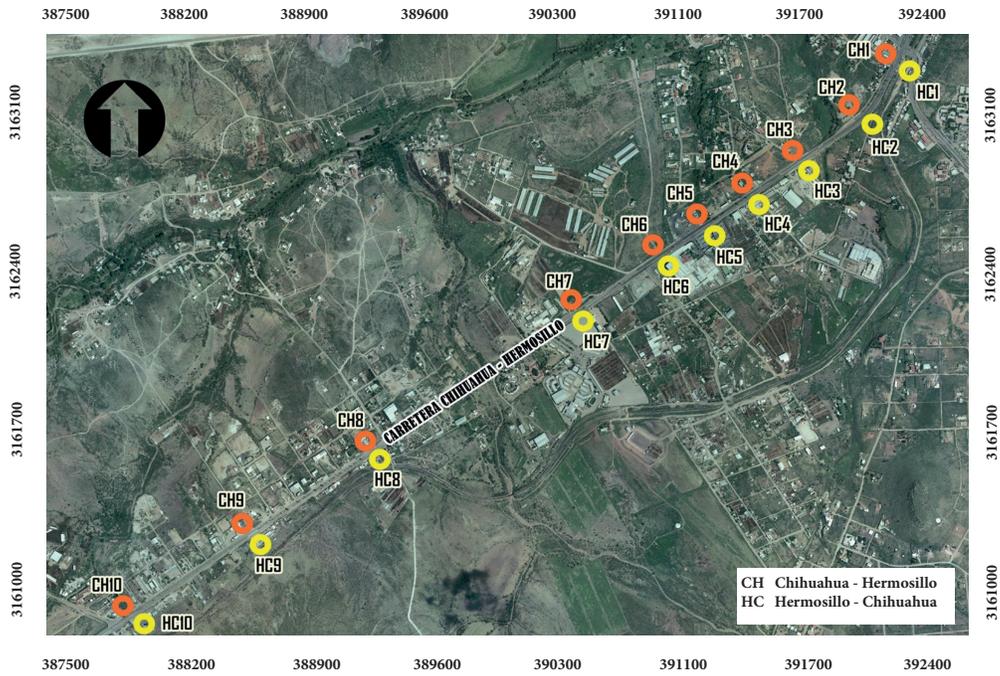
El tiempo de medición de ruido en los tramos de estudio fue de dos semanas continuas, incluyendo días hábiles y fines de semana. Se contemplaron 10 d hábiles, de lunes a viernes y 4 d de fin de semana, durante los meses de enero, febrero y marzo de 2012, exceptuando días feriados. La toma de lecturas de niveles de ruido fue durante la hora pico correspondiente al sentido de circulación de la carretera, con un intervalo de tiempo entre lecturas de nivel de ruido de 2 min. Las condiciones meteorológicas, tales como, temperatura y velocidad de viento, fueron tomadas en el momento de la medición de cada punto.

La medición del ruido vehicular se realizó con un sonómetro integrador tipo II, Sound Level Meter Nicety SL821, número de serie ST 023900 (margen error ± 1.5 dB), fabricado en Guangdong, China. Antes de efectuar cada grupo de mediciones se calibró el sonómetro, y se verificó que cumpliera con las exigencias señaladas en las normas IEC 61672-1: 2002 (IEC, 2013); éste equipo es utilizado para mediciones en estudios de campo. Cuenta con dos curvas de ajuste A y C, rangos de medición de 30 dB a 130 dB, rango de frecuencia de 31.5 Hz a 8 KHz, ponderación de tiempo lento/rápido,

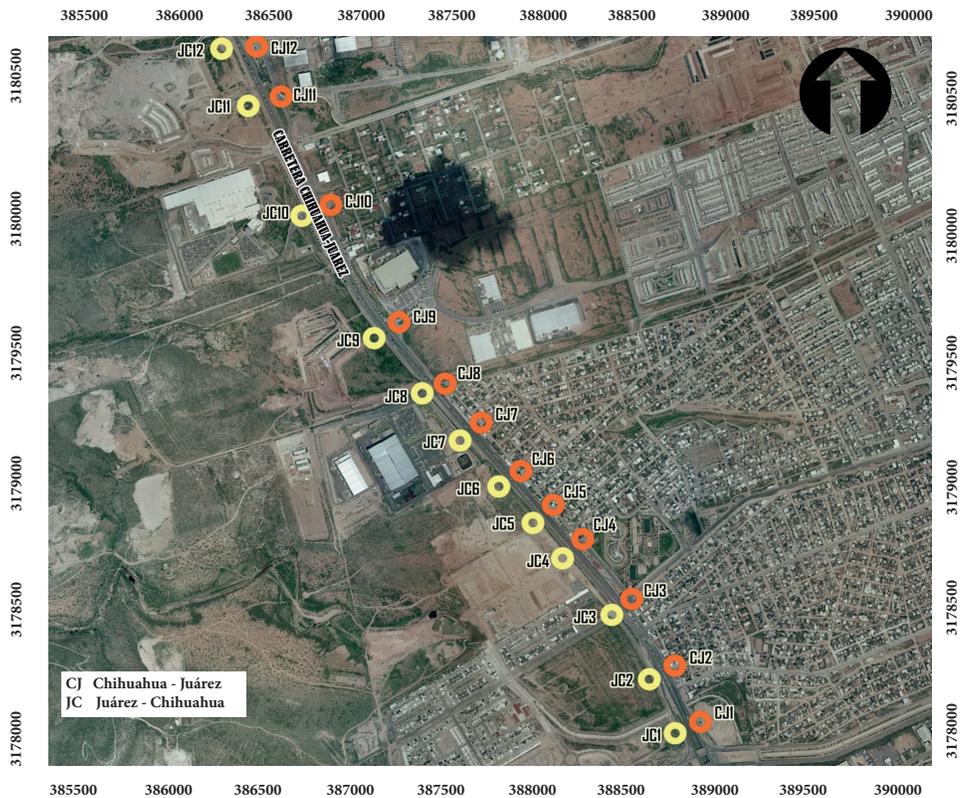
■ Tabla 1. Ubicación y nomenclatura para la identificación de puntos de medición de ruido.

Table 1. Location and nomenclature for identifying noise measurement points.

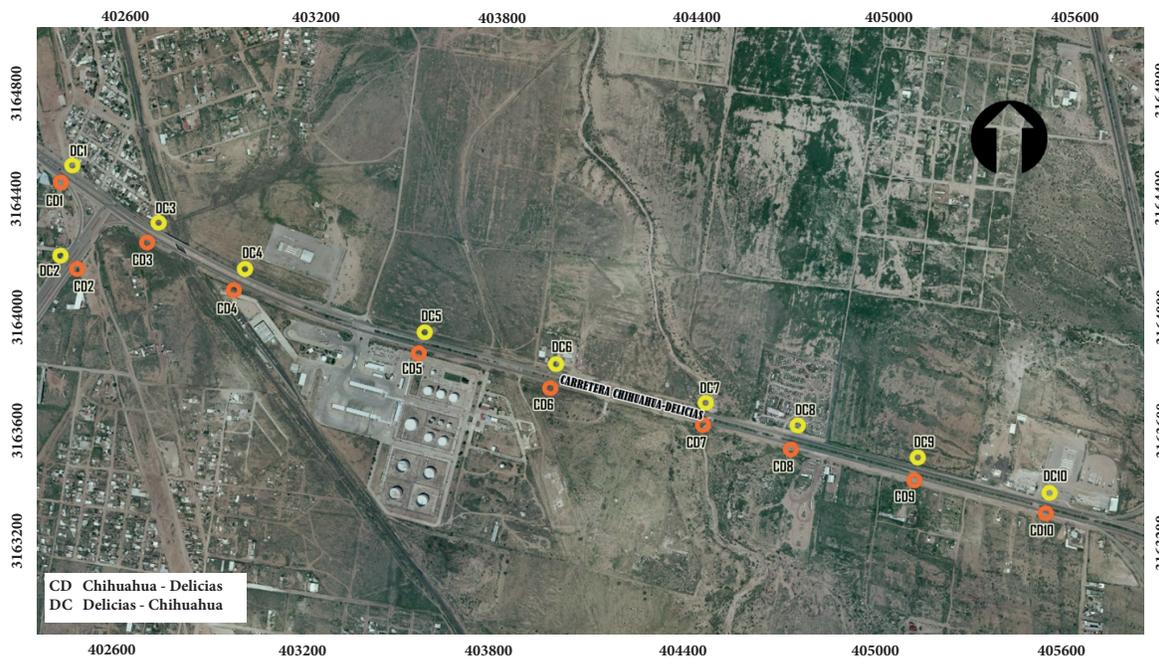
Tramo carretero	Nomenclatura ID	Total de Puntos
Carretera 16, sentido Chihuahua a Hermosillo	CH1 a CH10	10
Carretera 16, sentido Hermosillo a Chihuahua	HC1 a HC10	10
Carretera 45, sentido Chihuahua a Juárez	CJ1 a CJ12	12
Carretera 45, sentido Juárez a Chihuahua	JC1 a JC12	12
Carretera 45, sentido Chihuahua a Delicias	CD1 a DC10	10
Carretera 45, sentido Delicias a Chihuahua	DC1 a DC10	10



■ Figura 2a. Ubicación de puntos de medición, carretera Chihuahua a Hermosillo. Las coordenadas se señalan en unidades UTM.
 Figure 2a. Location of measurement points, road Chihuahua to Hermosillo. Coordinates are indicated in UTM units.



■ Figura 2b. Ubicación de puntos de medición, carretera Chihuahua a Ciudad Juárez. Las coordenadas se señalan en unidades UTM.
 Figure 2b. Location of measurement points, road Chihuahua to Ciudad Juárez. Coordinates are indicated in UTM units.



■ Figura 2c. Ubicación de puntos de medición, carretera Chihuahua a Delicias. Las coordenadas se señalan en unidades UTM.

Figure 2c. Location of measurement points, road Chihuahua to Delicias. Coordinates are indicated in UTM units.

con parámetros de medición: nivel de presión de sonido (L_p), nivel continuo equivalente de sonido (L_{eq}), nivel de presión de sonido máximo (L_{max}), nivel de exposición de sonido (LE) y nivel pico de sonido (LC_{peak}).

Se utilizó un filtro de ponderación A de tiempo lento, que simula la respuesta del oído humano. El indicador empleado fue el nivel de presión sonora continuo equivalente L_{eq} dB (A), expresado en decibelios, que es el más usado y el que utilizan las legislaciones sobre ruido urbano (López y col., 2009; Aparecida y col., 2014). El ruido producido por el tráfico vehicular es variable, y el indicador más utilizado es el “ L_{eq} ”, el cual representa la media de la energía sonora percibida por un individuo en un intervalo de tiempo. Desde el punto de vista físico, la unidad de medición es la presión del sonido, dada en Pascales (Pa). La presión real del sonido se dividió entre la del umbral auditivo, seguida de una transformación logarítmica. El decibel es la unidad de medida resultante de la relación entre la cantidad medida y un nivel de referencia que emplea el umbral mínimo de audición de

$20 \mu Pa$. La “A” significa que el nivel de ruido es captado por un micrófono que lo filtra y ajusta de la misma forma que lo hace el oído humano. Se registró la variación de ruido en periodos de aproximadamente una hora durante el máximo flujo vehicular (hora pico). El tiempo de medición se dividió en intervalos constantes, obteniendo su correspondiente nivel de presión sonora. Para determinar la respuesta humana, ante los distintos niveles de ruido, se utilizaron los percentiles de la distribución porcentual acumulada de cada medición, con el fin de describir a qué nivel de ruido y durante cuánto tiempo, se exponían los receptores afectados. Los percentiles usados con mayor frecuencia son el L 50, L 10 y el L 90. El percentil L 50 fue usado como cuantificador del nivel sonoro del medio ambiente, el percentil L 10 como cuantificador de los niveles sonoros altos, y el percentil L 90 para cuantificar niveles sonoros bajos, que son excedidos el 90 % del tiempo total y se considera como cuantificador del ruido de fondo.

El equipo se instaló sobre un tripie a 1.50 m de altura, respecto al hombro del camino, a una dis-

■ **Tabla 2. Criterios para selección de alternativas de mitigación del ruido urbano.**

Table 2. Selection criteria of alternatives for urban noise mitigation.

Medida de Mitigación	Rango de disminución de ruido dB (A)
Construcción de bermas de tierra	0 a 3
Optimización superficie rodamiento	3 a 5
Construcción de barreras acústicas	5 a 10

tancia mínima de 2 m de fachadas de edificaciones y estructuras reflectantes y a no más de 7.5 m al hombro del camino. El micrófono condensador eléctrico de 1/2 pulgada, se orientó de manera horizontal a 0° respecto al suelo, hacia el sentido de circulación vehicular. Se programó el equipo bajo la curva de ponderación A, rango de medición 50 dB (A) a 100 dB (A), y con el indicador nivel de presión sonora continuo equivalente Leq dB (A). La información recolectada se procesó mediante el software Excel y Minitab 15.

Se utilizó un geoposicionador marca Magellan modelo Triton 1500, fabricado en San Dimas, California, Estados Unidos, para la ubicación de los puntos distribuidos en los tramos de estudio, obteniendo sus coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator). El geoposicionador trabaja mediante 12 canales de recepción y con una precisión de ± 4 m.

Asignación de medidas de mitigación

En la Tabla 2 se muestran las medidas de mitigación que fueron seleccionadas de acuerdo a la literatura revisada, considerando las de más amplia aplicación: bermas, que reducen de 0 dB

(A) a 3 dB (A); optimización de la superficie de rodamiento, que reduce de 3 dB (A) a 5 dB (A); y barreras de sonido, que reducen de 5 dB (A) a 10 dB (A) (OECD, 1995; FHWA, 2011; Freitas y col., 2012; Praticò y Anfosso-Lédée, 2012).

Un análisis geoestadístico de la información de los niveles de ruido permitió elaborar el mapa de sonido correspondiente para cada acceso y asignar medidas de mitigación, de acuerdo a: niveles de ruido que exceden a la normatividad, usos de suelo de la zona adyacente, características geométricas de la carretera, planta topográfica y condiciones de tránsito vehicular.

La referencia para determinar el número de decibeles que exceden la normatividad fueron las establecidas por la OMS, que son de 55 dB (A) para el día (WHO, 1999). Para determinar el número de decibeles que exceden a la normatividad por tipo de uso de suelo del área colindante a la carretera, se decidió seguir el criterio que marca la Administración Federal de Carreteras (FHWA, 2011) (Tabla 3), en virtud de que en México no se cuenta con una normatividad al respecto. Para revisar los excedentes de ruido, en cada punto,

■ **Tabla 3. Número de decibeles máximos permitidos por uso de suelo colindante a una carretera recomendados por la Administración Federal de Carreteras (FHWA, 2011).**

Table 3. Maximum number of decibels allowed by type of adjoining land use to road recommended by the Federal Highway Administration (FHWA, 2011).

Uso de suelo y Áreas de Actividad	Leq dB (A)
Residencial urbano	67
Hospital, biblioteca, escolar	67
Comercial	72
Industrial	72
Mixto	72

se consideró adicionalmente, la norma oficial mexicana (NOM-081-SEMARNAT-1994), que si bien es para fuentes fijas, resulta más conservadora que la norma para fuentes móviles (NOM-080-SEMARNAT-1994).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 4 se muestran los principales resultados de los estudios relativos a las características del tránsito vehicular en los tres accesos viales de la ciudad de Chihuahua, en ambos sentidos de circulación. En la carretera Hermosillo a Chihuahua fue donde se registró el volumen vehicular máximo para la hora de máxima demanda (VHMD), el cual fue de 1 267 veh/h. El máximo tránsito diario promedio anual (TDPA) fue de 11 842 veh. La composición vehicular medida en porcentaje de vehículos más alta fue la de tipo A (vehículos ligeros como automóviles

particulares) con 80.86 %; seguida de la de tipo B (conformados por autobuses) con 4.42 %; tipo C (camiones pesados de dos y tres ejes) con 14.22 %; y vehículos especiales (que no quedan encasillados en ninguna de las categorías anteriores) con 0.5 %.

La Tabla 5 muestra las velocidades de punto y de operación registradas en cada acceso carretero estudiado para ambos sentidos de circulación. Las velocidades de operación están definidas en función del proyecto geométrico de cada carretera y tienen carácter normativo. Las velocidades de punto son velocidades promedio reales a las cuales circulan los vehículos en el sitio estudiado. La velocidad de punto promedio a la que circularon los vehículos en los puntos de estudio fue de 73.5 km/h. El alto nivel de ruido obtenido en las vías estudiadas estuvo aso-

■ Tabla 4. Resultados de volúmenes de tráfico para la hora de máxima demanda por cada acceso carretero en sus dos sentidos de circulación.

Table 4. Results of traffic volume during peak hours per access road on both traffic directions.

Tramo Carretero	Características de tránsito								
	Hora pico			VHMD veh/h	TDPA veh	Composición Vehicular (%)			
	Lunes a Viernes (horas)	Sábado (horas)	Domingo (horas)			A	B	C	Esp
Carretera 16 Chihuahua a Hermosillo	07:45 a 08:45	09:15 a 10:15	14:45 a 15:45	1 244	11 627	79.56	6.23	13.68	0.53
Carretera 16 Hermosillo a Chihuahua	18:15 a 19:15	14:15 a 15:15	11:45 a 12:45	1 267	11 842	80.86	4.42	14.22	0.50
Carretera 45 Chihuahua a Cd. Juárez	07:45 a 08:45	08:45 a 09:45	15:00 a 16:00	1 027	9 599	73.90	11.54	13.68	0.88
Carretera 45 Cd. Juárez a Chihuahua	18:30 a 19:30	14:30 a 15:30	12:00 a 13:00	968	9 047	81.25	3.52	14.52	0.71
Carretera 45 Chihuahua a Delicias	07:15 a 08:15	09:00 a 10:00	15:15 a 16:15	798	7 458	80.78	6.53	12.04	0.65
Carretera 45 Delicias a Chihuahua	17:00 a 18:00	14:45 a 15:45	12:15 a 13:15	803	7 505	81.01	5.19	12.79	1.01

ciado con la alta velocidad de circulación de los vehículos (Marathe, 2012).

En el análisis estadístico de las mediciones de ruido efectuadas, se encontró que el nivel máximo de ruido medido fue de 75 dB (A), por encima del máximo permitido en la NOM-081-SEMARNAT-1994, el cual es de 68 dB (A), y es rebasado en la mayoría de los sitios estudiados. En el caso de la carretera Chihuahua a Hermosillo se rebasa la norma en el 45 % de los casos, en la carretera Chihuahua a Ciudad Juárez y en la Chihuahua a Delicias se rebasa en el 100 % de los sitios estudiados.

Es importante destacar que el 100 % de los puntos analizados en este estudio, rebasaron el máximo de los niveles permisibles de ruido establecidos por la OMS (55 dB [A]) (WHO, 1999). Este mismo comportamiento ha sido reportado en otras ciudades altamente pobladas de diferentes países, en las que se exceden dichos niveles, como Buenos Aires, Argentina, donde se obtuvieron valores de 108 dB (A) a 129 dB (A) en 2001 (Bonello y col., 2002); en Llorin Metrópolis, Nigeria, se tomaron medidas de ruido en: paraderos de autobuses (91.5 dB [A]), estacionamientos de vehículos ligeros (87.8 dB [A]), zonas industriales (110.2 dB [A]), y zonas residenciales (84.4 dB [A]) (Oyedepo y Saadu, 2008); en Yazd, Irán, los niveles de ruido oscilaron de 61.3 dB (A) a 75.1 dB (A) (Nejadkoorki y col., 2010; Ehrampoush y col., 2012).

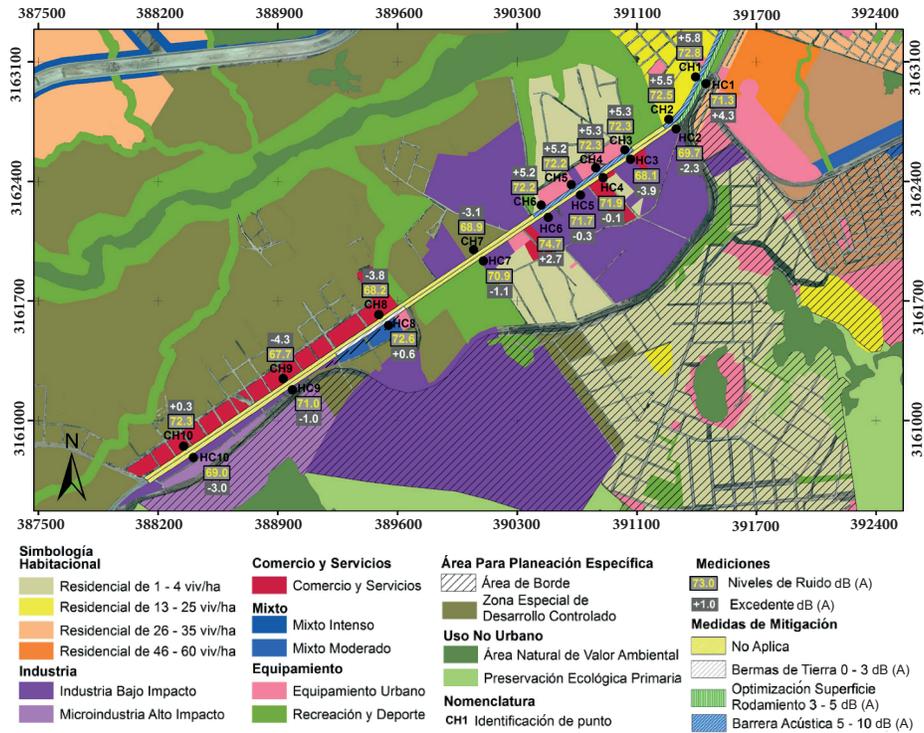
La asignación de medidas de mitigación consistió en la determinación de la diferencia de decibeles por sitio estudiado, de acuerdo al criterio de la Tabla 3. Los resultados se muestran en las Figuras 3a, 3b y 3c. El signo positivo indica el número de decibeles en que se rebasa la normatividad (FHWA, 2011), y el signo negativo el número de decibeles por debajo de la norma. Estos puntos constituyen una capa temática de información del sistema de información geográfica implementado para el análisis del ruido en las carreteras de acceso a la ciudad de Chihuahua. Otra capa temática constituye los usos de suelo en las áreas colindantes a los sitios estudiados, de acuerdo al código de colores definido en la zonificación secundaria del Plan Urbano para la ciudad de Chihuahua (PDU 2040, 2013). Se consideró el uso de suelo del área adyacente a la carretera en la asignación de medidas de mitigación, de acuerdo al criterio de la FHWA (2011), puesto que se requieren medidas de mitigación más severas en el caso de usos de suelo residenciales, de equipamiento educativo y hospitales. A los usos de suelo de industria y comercio y servicios, se consideró no asignar ninguna de las medidas de mitigación aplicadas a la vía pública, en virtud de que los edificios en este caso pueden ser aislados acústicamente como parte de la inversión privada, en caso de que se requiera.

Finalmente, se procedió a la asignación de medidas de mitigación, basados en las capas temáti-

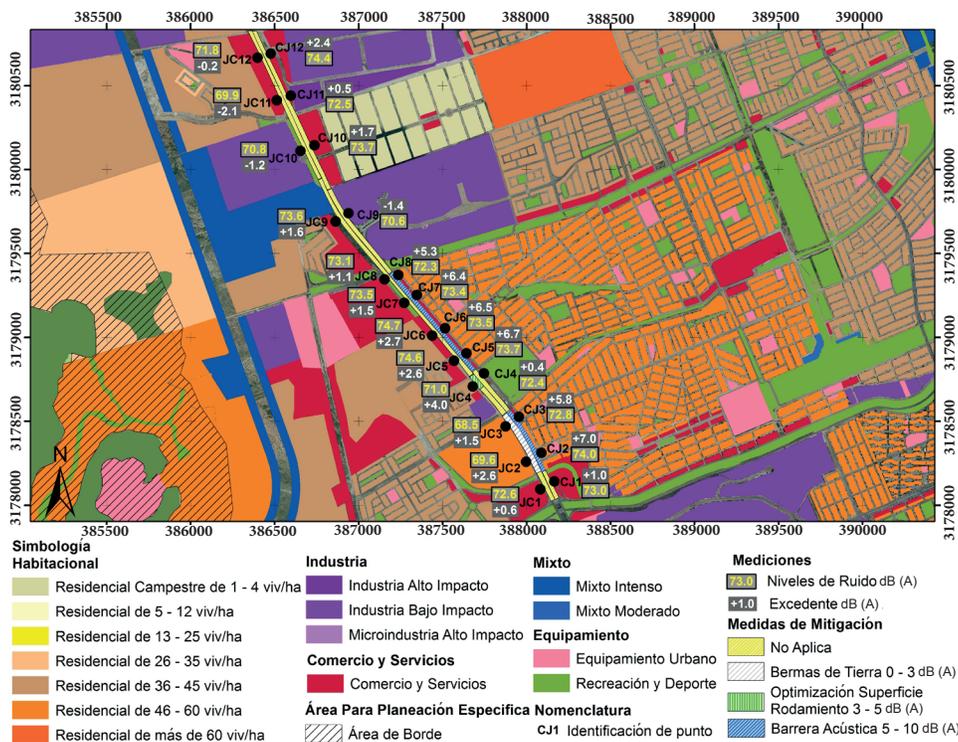
■ **Tabla 5. Velocidades de punto por acceso carretero y por sentido de circulación.**

Table 5. Point speed per road Access and by direction of traffic.

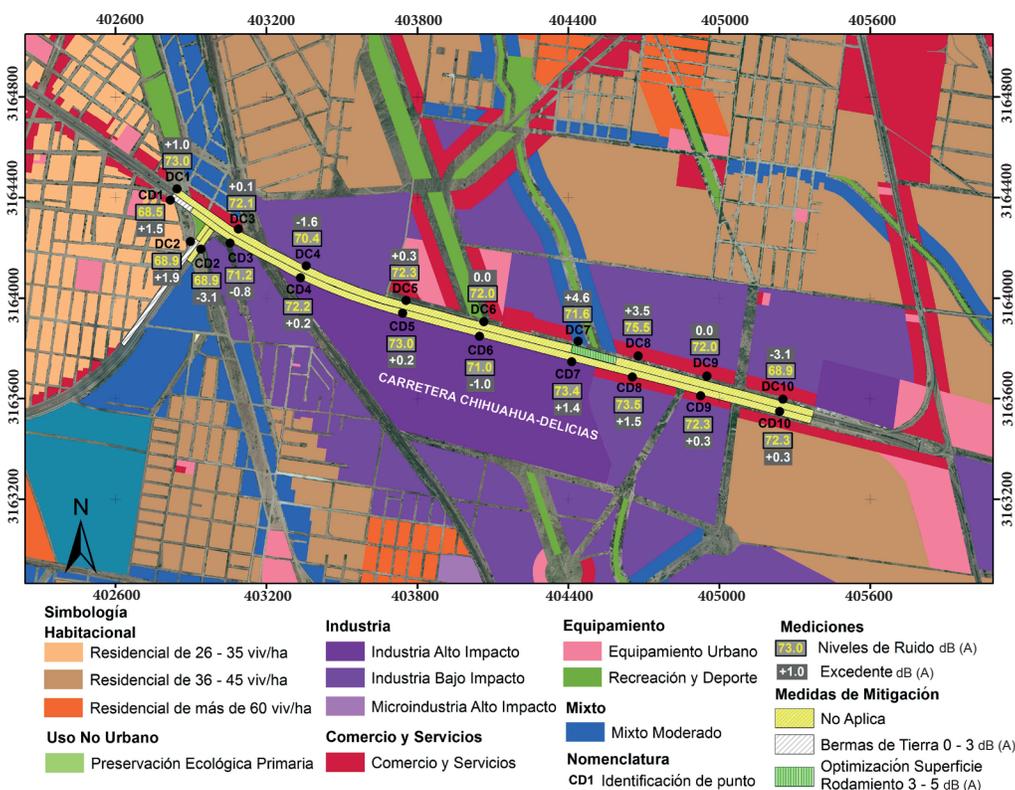
Tramo Carretero	Velocidad (Km/h)	
	De punto	De operación
Carretera 16 sentido Chihuahua a Hermosillo	66.73	50 a 70
Carretera 16 sentido Hermosillo a Chihuahua	76.24	50 a 70
Carretera 45 sentido Chihuahua a Ciudad Juárez	72.31	70
Carretera 45 sentido Ciudad Juárez a Chihuahua	70.52	70
Carretera 45 sentido Chihuahua a Delicias	75.81	60
Carretera 45 sentido Delicias a Chihuahua	79.20	60



■ Figura 3a. Asignación de medidas de mitigación del ruido producido por el tráfico vehicular en la carretera Chihuahua a Hermosillo. Las coordenadas se señalan en unidades UTM.
 Figure 3a. Allocation of noise mitigation caused by vehicular traffic on the road Chihuahua to Hermosillo. Coordinates are indicated in UTM units.



■ Figura 3b. Asignación de medidas de mitigación del ruido producido por el tráfico vehicular en la carretera Chihuahua a Ciudad Juárez. Las coordenadas se señalan en unidades UTM.
 Figure 3b. Allocation of noise mitigation caused by vehicular traffic on the road Chihuahua to Ciudad Juárez. Coordinates are indicated in UTM units.



■ Figura 3c. Asignación de medidas de mitigación del ruido producido por el tráfico vehicular en la carretera Chihuahua a Delicias. Las coordenadas se señalan en unidades UTM.

Figure 3c. Allocation of noise mitigation caused by vehicular traffic on the road Chihuahua to Delicias. Coordinates are indicated in UTM units.

cas de: uso de suelo, características geométricas, topográficas, así como condiciones de tránsito vehicular y el número de decibeles en que se rebasaba la normatividad por sitio estudiado. Para ello, se utilizó la arquitectura propia del sistema de información geográfica. En las Figuras 3a, 3b y 3c, se puede observar la sección transversal de cada acceso carretero, pintada con el código de colores que señala la medida de mitigación del ruido carretero recomendada según el procedimiento propuesto. En el caso de la carretera Chihuahua a Hermosillo, se requiere barrera acústica en el 30 % de los puntos medidos, optimización de la superficie de rodamiento en el 5 %, bermas de tierra en el 5 % y el 60 % restante no requiere medida de mitigación.

Para la carretera Chihuahua a Ciudad Juárez, resultó un 25 % de barrera acústica, optimización de la superficie de rodamiento en un 4.2 %, bermas de tierra en un 8.3 %, y el 62.5 % restante

no requiere de mitigación del ruido. La carretera Chihuahua a Delicias requiere de optimización de la superficie de rodamiento en un 5 %, bermas de tierra en un 10 %, y el resto no requiere de medidas de mitigación. En virtud de que los niveles de ruido que exceden la norma fueron menores a 5 dB (A) y el uso de suelo adyacente predominante es preservación ecológica e industrial no se requieren barreras de sonido. En cuanto al criterio de la OMS (máximo de 55 dB (A) durante el día), donde el 100 % de los sitios estudiados rebasaron los 10 dB (A), la atenuación del ruido requeriría de emplear una combinación de medidas de mitigación a fin de poder abatir el ruido.

Los resultados obtenidos en el presente estudio pueden ser útiles como referencia para los gobiernos e instituciones encargadas del control y legislación de la contaminación sonora en el estado, permitiéndoles establecer accio-

nes que contribuyan a la solución de este tipo de contaminación (CE, 2005; 2008).

CONCLUSIONES

El nivel de ruido ambiental que genera el tráfico vehicular en los tres accesos viales de la ciudad de Chihuahua rebasó la normatividad establecida por la Organización Mundial de la Salud, provocando molestias que pueden perturbar la tranquilidad y la salud de las personas afectadas. Además, se rebasó el número de decibeles por tipo de uso de suelo del área colindante a

la carretera de acuerdo al criterio que marca la Administración Federal de Carreteras. Estos resultados indicaron que es necesario establecer medidas para la mitigación del ruido en las vialidades estudiadas, tales como bermas, tratamiento de la superficie de rodamiento y barreras de sonido.

AGRADECIMIENTOS

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chihuahua, Campus 2.

REFERENCIAS

- Al-Mutairi, N., Al-Rukaibi, F., and Koushki, P. (2009). Measurements and model calibration of urban traffic noise pollution. *American Journal of Environmental Sciences*. 5(5): 613-617.
- Aparecida, T., Ghislain, J., and Maldonado, F. (2014). Analysis of airport noise through L Aeq noise metrics. *Journal of Air Transport Management*. 37(1): 5-9.
- Ausejo, M., Recuero, M., Asensio, C., Pavón I., and López, J. M. (2009). Study of precision, deviation and uncertainty in the design of the strategic noise map of the macrocenter of the city of Buenos Aires, Argentina. *Environmental Modeling and Assessment*. 15(2): 125-135.
- Babisch, W. (2011). Cardiovascular effects of noise. *Noise and Health*. 13(52): 201-204.
- Banerjee, D., Chakraborty, S. K., Bhattacharyya, S., and Gangopadhyay, A. (2009). Appraisal and mapping the spatial-temporal distribution of urban road traffic noise. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 6(2): 325-335.
- Bluhm, G., Nordling, E., and Berglind, N. (2004). Road traffic noise and annoyance-An increasing environmental health problem. *Noise and Health*. 6(24): 43-49.
- Bonello, O. J., Gavinowich, S. D. y Ruffa, F. (2002). Protocolo de mediciones para el trazado de mapas de ruido normalizados. [En línea]. Disponible en: <http://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/protoc-fiuba.pdf>. Fecha de consulta: 3 de agosto de 2011.
- Boullousa, R. R. and Pérez, S. J. (1987). An exploratory study of community noise levels in Mexico City. *Applied Acoustics*. 22(4): 271-280.
- Campuzano, M. E., Bustamante, L. P., Karam, M. A. y Ramírez, N. (2010). Relación entre ruido por carga vehicular, molestia y atención escolar en estudiantes de nivel básico de la ciudad de Toluca 2004. *Ciencia Ergo Sum*. 17(1): 46-50.
- CE, Comisión Europea (2005). Manual del profesional para la elaboración de planes de acción contra el ruido en el ámbito local SILENCE. [En línea]. Disponible en: http://www.silence-ip.org/site/fileadmin/SP_J/E-learning/Planners/SILENCE_Handbook_ES_-_LR.pdf. Fecha de consulta: 12 de noviembre de 2011.
- CE, Comisión Europea (2008). Política futura de lucha contra el ruido, en *Libro verde de la Comisión Europea*. [En línea]. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:1996:0540:FIN:ES:PDF>. Fecha de consulta: 12 de noviembre de 2011.
- Chaaban, F. B. (2008). Quality Air, in *Arab Environment Future Challenges*. [En línea]. Disponible en: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/rome2007/docs/Arab_Environment_Future_Challenges.pdf. Fecha de consulta: 3 de agosto de 2011.
- Chakrabarty, D., Santra, S. C., Mukherjee, A., Roy, B., and Das, P. (1997). Status of road traffic noise in Calcutta metropolis, India. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 101(2): 943-949.
- Chandioa, I. A., Brohi, K. M., and Memon, M. A. (2010). Managing road traffic noise pollution, through sustainable planning approach. *International Journal of Chemical and Environmental Engineering*. 1(2): 117-121.

- Cravioto, J., Yamasue, E., Okumura, H., and Ishihara, K. N. (2013). Road transport externalities in Mexico: estimates and international comparisons. *Transport Policy*. 30(1): 63-76.
- Damián, S. A., Flores, M. A., Flores, M. y Téllez, R. (2001). *Estudio del ruido generado por la operación del transporte carretero. Caso II, Jalisco. Publicación técnica 187*. México: Instituto Mexicano del Transporte. 140 Pp.
- Dursun, S., Ozdemir, C., Karabork, H., and Kocak, S. (2006). Noise pollution and map of Konya city in Turkey. *Journal of International Environmental Application and Science*. 1(5): 63-72.
- Ehrampoush, M. H., Halvani, G. H., Barkhordari, A., and Zare, M. (2012). Noise pollution in urban environments: a study in Yazd city, Iran. *Polish Journal of Environmental Studies*. 21(4): 1095-1100.
- FHWA, Federal Highway Administration (2011). Highway Traffic Noise: Analysis and Abatement Guidance. USA: *Office of Environment and Planning*. 75 Pp.
- Fletcher, H. and Galt, R. H. (1950). The perception of speech and its relation to telephony. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 22(2): 89-151.
- Flores, M. A., Rascón O. A., Mendoza, J. F. y Téllez, R. (2006). *Evolución del ruido carretero del estado de Nuevo León 2002 a 2006. Publicación Técnica 296*. Sanfandila, Qro., México: Instituto Mexicano del Transporte. 100 Pp.
- Flores, M. A., Téllez, R., Mendoza, J. F. y Rascón, O. A. (2005). *Evolución del ruido carretero en el Estado de Querétaro 2000-2005. Publicación Técnica 280*. Sanfandila, Qro., México: Instituto Mexicano del Transporte. 79 Pp.
- Flores, M. A., Torras, S. y Téllez, R. (2002a). *Estudio del ruido generado por la operación del transporte carretero. Caso III, Nuevo León. México. Publicación técnica 193*. Sanfandila, Qro., México: Instituto Mexicano del Transporte. 129 Pp.
- Flores, M. A., Torras, S. y Téllez, R. (2002b). *Estudio del ruido generado por la operación del transporte carretero. Caso IV, Veracruz, México. Publicación técnica 194*. Sanfandila, Qro., México: Instituto Mexicano del Transporte. 135 Pp.
- Freitas, E., Mendonça, C., Santos, J. A., Murteira, C., and Ferreira, J. P. (2012). Traffic noise abatement: How different pavements, vehicle speeds and traffic densities affect annoyance levels. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 17(4): 321-326.
- García, A. (1988). *La contaminación acústica*. Valencia: Universitat de Valencia, Servicio de Publicaciones. 198 Pp.
- German, M. (2008). Analysis and evaluation of noise reaction in open public spaces in Mexico City, J. *Acoustical Society of America*. 123(5): 3820-3820.
- Gökdag, M. (2012). Study of the road traffic noise in Erzurum-Turkey. *Iranian journal of environmental health science and engineering*. 9(1): 1-4.
- IEC (2013). Electroacoustics sound level meters. [En línea]. Disponible en: https://webstore.iec.ch/preview/info_iec61672-1%7Bed2.0%7Db.pdf. Fecha de consulta: 2 de junio de 2016.
- ITE, Institute of Transportation Engineers (2009). *Traffic Engineering Handbook, 6Th Edition*. Washington, D.C.: ITE. 717 Pp.
- Jiménez, B. E. (2001). Contaminación por ruido. En B. E. Jiménez (Ed.), *La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada* (pp. 58-600). México: Limusa.
- Kephalopoulos, S., Paviotti, M., and Anfosso-Lédée, F. (2012). Common noise assessment methods in Europe (CNOSSOS-EU). European Commission, in *JRC Reference Reports*. [En línea]. Disponible en: http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/111111111/26390/1/cnossos-eu%20jrc%20reference%20report_final_on%20line%20version_10%20august%202012.pdf. Fecha de consulta: 12 de agosto de 2011.
- Kropp, W., Kihlman, T., Forssén, J., and Ivarsson, L. (2007). Reduction potential of road traffic noise, a pilot study. Sweden: *Chamber University of Technology*. 54 Pp.
- Li, B., Tao, S., and Dawson, R. W. (2004). Evaluation and analysis of traffic noise from the main urban roads in Beijing. *Applied Acoustics*. 63(10): 1137-1142.
- López, M. G., Mendoza, J. F. y Tellez, R. (2009). *Desarrollo de una propuesta de modelo e indicador de ruido generado por la operación del transporte carretero en México. Publicación técnica 324*. México: Instituto Mexicano del Transporte. 58 Pp.
- Marathe, P. D. (2012). Traffic noise pollution. *International Journal of Environment and Development*. 9(1): 3-68.
- Murthy, K. V, Majumder A. K., Khanal, S. N., and Subedi, D. P. (2007). Assessment of traffic noise pollu-

tion in Banepa, a semi urban town of Nepal. *Journal of Science Engineering and Technology*. 3(2): 12-20.

Nejadkoorki, F., Yousefi, E., and Naseri, F. (2010). Analyzing street traffic noise pollution in the city of Yazd. *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 7(1): 53-62.

NOM-080-SEMARNAT-1994 (1994). Norma Mexicana NOM-080-SEMARNAT-1994. Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido provenientes del escape de los vehículos automotores, motocicletas y triciclos motorizados en circulación y su método de medición. *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México*. [En línea]. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4706979&fecha=22/06/1994. Fecha de consulta: 13 de agosto de 2012.

NOM-081-SEMARNAT-1994 (1994). Norma Mexicana NOM-081-SEMARNAT-1994, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de fuentes fijas y su método de medición. *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México*. [En línea]. Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5324105. Fecha de consulta: 13 de agosto de 2012.

OECD, Organization for Economic Co-Operation and Development (1995). Roadside noise abatement: Report (Road Transport Research), *Organization for Economic Co-Operation and Development*. USA: Organization for Economic. 170 Pp.

Oyedepo, O. S. and Saadu, A. A. (2008). A comparative study of noise pollution levels in some selected areas in Llorin Metropolis, Nigeria. *Environmental Monitoring and Assessment*. 158(1-4): 155-167.

PDU 2040, Plan de Desarrollo Urbano (2013). Plan de Desarrollo Urbano del Centro de Población Chihuahua Visión 2040. Que establece la zonificación primaria y secundaria de los usos de suelo del municipio de Chihuahua, *Diario oficial del Estado de Chihuahua No. 80* [En línea]. Disponible en: http://www.chihuahua.gob.mx/attach2/Principal/canales/Adjuntos/CN_14467CC_28855/ANEXO%20080-2013%20PDU2040-2013.pdf. Fecha de consulta: 26 de mayo de 2016.

Praticò, F. G. and Anfosso-Lédée, F. (2012). Trends and issues in mitigating traffic noise through quiet pavements. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 53(1): 203-212.

Torras, S., Flores, M. A., Téllez, R. y Rascón, O. A. (2003). *Propuesta de normatividad mexicana para regular el ruido que genera la operación del transporte carretero*. Documento técnico 30. México: Instituto Mexicano del Transporte. 24 Pp.

Welch, D., Shepherd, D., Dirks, K. N., McBride, D., and Marsh, S. (2013). Road traffic noise and health-related quality of life: A cross-sectional study. *Noise and Health*. 15(65): 224-230.

WSDOT, Washington State Department of Transportation (2005). Quieter Pavements: Options and Challenges for Washington State. [En línea]. Disponible en: <http://www.wsdot.wa.gov/NR/rdonlyres/74A3E245-5B7D-49A0-8EEE-5D6C2B9521A5/0/QuieterPavements.pdf>. Fecha de consulta: 1 de agosto de 2011.

WHO, World Health Organization (1999). Guidelines for Community Noise. [En línea]. Disponible en: <http://who.int/docstore/peh/noise/guidelines2.html>. Fecha de consulta: 30 de julio de 2011.

Zamorano, B., Peña, F., Parra, V., Velázquez, Y. y Vargas, J. I. (2015). Contaminación por ruido en el centro histórico de Matamoros. *Acta Universitaria Multidisciplinary Scientific Journal*. 25(5): 20-27.

Zannin, P. H. T., Diniz, F. B., and Barbosa, W. A. (2002). Environmental noise pollution in the city of Curitiba, Brazil. *Applied Acoustics*. 63(4): 351-358.