

Propuesta metodológica para evaluar la mitigación de la contaminación sonora por parte de los espacios verdes urbanos. Caso del Área Metropolitana de Mendoza.

Resumen

El trabajo presenta la metodología de análisis para la evaluación de los espacios verdes de desarrollo lineal como barreras naturales antirruido, en particular ubicadas paralelas a vías de circulación de alto tránsito. Se muestra el protocolo seguido para las mediciones sonoras y el esquema de trabajo para evaluar las condiciones físicas y dasonómicas de dos parques identificados para el Área Metropolitana de Mendoza. Finalmente se presentan los primeros resultados obtenidos del análisis del Parque O'Higgins, en los cuales se observa que la presencia de masas boscosas con predominancia de especies perennes brinda durante todo el año el servicio ambiental de protección sonora.

Palabras Clave: contaminación sonora - parques urbanos - protocolo de medición

1 Introducción

En zonas urbanas los niveles de ruido ambiental son cada vez mayores como consecuencia del aumento de tráfico vehicular. En el año 2002 la Unión Europea emitió una directiva sobre ruido ambiental que unificó criterios para las normativas existentes en los países miembros y requirió a los mismos localizar las zonas de contaminación acústica y reducir sus niveles mediante planificaciones. Se calcula que alrededor del 20 % de la población europea está expuesta a niveles inaceptables de ruido [1]. Actualmente en Argentina el ruido ambiental constituye un problema grave y creciente que afecta diariamente a las personas que viven y trabajan en entornos urbanizados. Esta situación también se repite en la provincia de Mendoza, principalmente en su área metropolitana, siendo un problema crítico que requiere atención dada su tendencia a agudizarse.

Una estrategia positiva y eficaz para reducir los niveles sonoros en vías de alto flujo vehicular es la implementación de barreras acústicas. Estas pueden ser dispositivos inertes -paredes sónicas, pantallas reflectantes, gaviones- o barreras naturales, como es el caso de las conformadas por la vegetación urbana distribuida en el arbolado en alineación de calles, los espacios verdes, plazas o parques [2], [3]. Así, la vegetación urbana actúa como moderador de la contaminación sonora y es considerada a nivel mundial una estrategia de control denominándola "barrera antirruido natural" que contribuye a mitigar este tipo de contaminación además de aportar numerosos beneficios ambientales adicionales. La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda un límite de ruido en exteriores de 55 dB(A) en el día y 40 dB(A) en la noche. Por otro lado, también recomienda entre 10 a 15 m² de área verde por habitante, distribuidos proporcionalmente en relación a la densidad de población [4]. Esto indicaría algunos parámetros de diseño para controlar los niveles de ruido, aprovechando la planificación de espacios verdes para la mitigación de un problema en aumento en la actualidad. Para el caso particular del Área Metropolitana de Mendoza (AMM), que cuenta con numerosos parques (Fig. 1-B), tanto el Parque O'Higgins (POH) como el Parque Lateral Sur Avenida de Acceso Este (PLAAE), con características de espacios verdes longitudinales, lindantes a una vía de alto tránsito y con significativas masas boscosas, ofrecen alternativas de mitigación al impacto de los ruidos provenientes de vehículos que diariamente transitan por la zona y su entorno. En numerosas ciudades es abundante la información sobre la temática [5], [6], [7]. Para el caso de Mendoza es acotada la información existente y sistematizada en cuanto al diagnóstico de ruidos y la eficacia de los elementos de control. Se cuenta con un antecedente que indica que el rango de ruido detectado en varios sectores es excesivo

y supera en 30 dB(A) los valores recomendados por la OMS [8]. Es decir, hay registros mayores a 85 dB (A) en distintos sectores del AMM.

Por dichos motivos, resulta importante diagnosticar la condición del ruido en áreas relevantes de la ciudad, que además contienen parques urbanos y, abordar el análisis de la función y eficacia de dichos espacios verdes como barreras que mitigan el ruido, aprovechando no sólo su presencia en la trama urbana sino también sus servicios ecosistémicos como atenuador de la contaminación sonora.

El objetivo de este trabajo es presentar el protocolo de medición seguido y el análisis de las condiciones antirruído que prestan los espacios verdes, mediante la valoración objetiva de las características físicas y dasonómicas de los mismos, para luego evaluar su eficiencia como barrera vegetal que disiparían ondas sonoras, disminuirían la contaminación acústica y en consecuencia, permitirían mejorar la calidad ambiental del entorno.

2 Materiales y métodos

2.1 Casos de estudio

El estudio se realizó en dos parques de desarrollo lineal y colindantes a avenidas de flujo vehicular intenso y constante en todos los horarios y estaciones del año: el Parque O'Higgins (POH) y el Parque Lateral Sur Avenida de Acceso Este (PLAAE). En ambos parques se seleccionó una porción de aproximadamente 8 has. de superficie (Fig. 1).

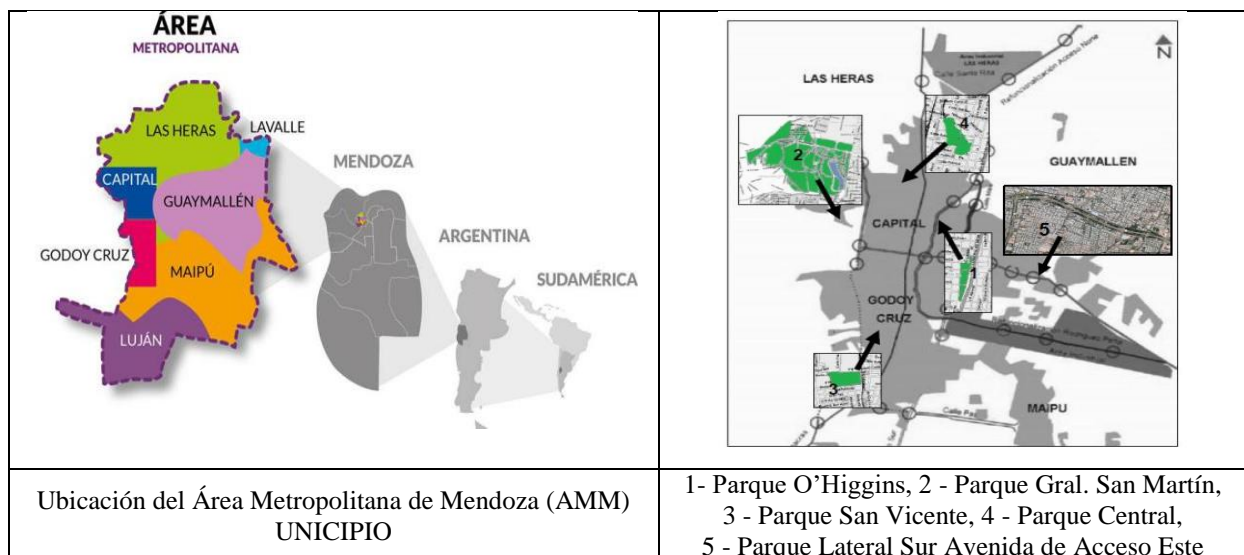


Fig. 1. Ubicación del área de estudio y de los distintos parques urbanos del AMM

2.2 Diseño experimental

- Procedimiento de Medición Sonora

Las sesiones de medición se realizaron en condiciones meteorológicas estables en cuanto a viento, precipitación y temperatura. Se efectuaron para las estaciones de verano (Enero 2014) e invierno (Agosto 2014) de modo de considerar la condición caduca o perenne de la vegetación, y las condiciones ambientales más demandantes. Se registró la hora de inicio, la distancia y la altura a la fuente de emisión de ruidos. Todas las mediciones se efectuaron en días laborales para considerar el tránsito frecuente. Antes de iniciar el registro de Niveles de presión sonora, se midieron las condiciones atmosféricas. Para velocidades de viento mayores de 3 m/s y hasta el límite tolerable (5 m/s), se protegió al micrófono del decibelímetro, con el accesorio correspondiente para evitar un aumento ficticio de los niveles medidos. Para cada uno de los parques se seleccionaron las siguientes áreas de estudio (Fig. 2):



<p>A - Parque O'Higgins: Sector 1: entre calles Urquiza y Corrientes. Sector 2: entre calles Córdoba y San Luis. Sector 3: entre calles San Luis y Entre Ríos.</p>	
<p>B - Parque Lateral Sur Avenida de Acceso Este: Sector 1: entre calles Cañadita Alegre y Estrada. Sector 2: entre calles Estrada y Houssay.</p>	

Fig. 2. Sectores seleccionados para realizar las mediciones. A - Parque O'Higgins. B - Parque Lateral Sur Avenida de Acceso Este

En cada sector de ambos parques se tomaron tres puntos de medición georreferenciados: uno en la cercanía de la fuente (a), otro central (b) y el tercero en la cercanía del receptor (c) (Fig. 3).






	Sector 1	Sector 2	Sector 3
Parque O'Higgins			
	Sector 1		Sector 2
Parque Lateral Sur Avenida de Acceso Este			

Fig. 3. Puntos seleccionados para realizar las mediciones en los parques evaluados

El equipo de medición se ubicó separado de 1 a 2 m de las superficies reflectantes y a 1,20 m del suelo, sobre veredas o caminos despejados de objetos que pudieran interferir (vehículos estacionados, carteles publicitarios, señales de tránsito). En los Medidores de nivel sonoro se estableció como condición inicial, el filtro de ponderación "A", respuesta lenta y rango en el intervalo 30 - 130 dB(A). Se procedió a medir y registrar en forma simultánea en cada uno de los puntos seleccionados los Niveles de presión sonora, tomando una muestra cada 10 segundos durante un lapso de 15 minutos, lo cual totalizó 90 registros para cada punto, en cada medición. A lo largo de un día de medición y para todos los puntos se totalizaron 3240 registros en el POH y 2160 registros en el PLA AE. Las franjas

horarias establecidas para las mediciones se presentan en la Tabla 1 al igual que parte del equipamiento utilizado. El mismo constó de: G.P.S; Medidores de nivel sonoro Clase II; Calibrador acústico, Termómetro digital; Anemómetro; Pantallas antiviento; Trípodes y Cámara fotográfica.

Tabla 1. Franja horaria y equipos para las mediciones: **A** - Medidor de nivel sonoro Clase II, **B** - Trípode

Franja horaria de medición			Equipo de medición	
Matutina	Mañana	08:00 hs. a 09:00 hs.	A – 	B – 
	Mediodía	12:30 hs. a 13:30 hs.		
Vespertina	Tarde	17:30 hs. a 18:30 hs.		
	Noche	20:30 hs. a 21:30 hs.		

Luego de realizar las mediciones in situ, se procedió a la sistematización de los registros obtenidos (indicadores de niveles sonoros): Nivel Sonoro Continuo Equivalente, L_{eq} ; Niveles Percentiles L_{10} , L_{50} , L_{90} y Moda; Nivel Mínimo, L_{min} ; Nivel Máximo, L_{max} .

- Sistematización y cálculo de indicadores de niveles sonoros

A partir de los valores registrados in situ se obtuvo el Nivel Sonoro Continuo Equivalente para cada punto. Para ello se utilizaron las fórmulas especificadas en la Norma IRAM 4062 [9]. Con un procesamiento estadístico, se obtuvo los distintos indicadores de presión sonora. Para el cálculo del nivel sonoro representativo L_{eq} se emplea la fórmula (1):

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \sum t_i (10)^{L_i/10} \quad (1)$$

Siendo: t_i el tiempo de observación durante el cual el nivel sonoro es L_i .

La mencionada norma establece que los instrumentos a utilizar deben ser del tipo integrador. Dadas las características particulares de los niveles sonoros a registrar no es conveniente utilizar esta clase de decibelímetros, porque en los puntos (b) y (c) de cada sector hay que descartar los ruidos originados por el pasaje de vehículos de las otras calles que no son las autopistas. En consecuencia se utilizaron sonómetros convencionales no integradores que, mediante el registro manual, permiten descartar valores. Para encontrar los indicadores correspondientes, se aplicaron las fórmulas indicadas por la bibliografía específica [10]. A fin de corroborar la eficacia de la vegetación en cada parque como pantalla acústica, los niveles sonoros medidos in situ en cada punto también fueron estimados calculando la atenuación del ruido de tráfico irradiado por una línea de vehículos de motor que circula sobre una autopista mediante la fórmula (2) [11]:

$$L_{eq} = L_{eq\ ref} - 10 \log \left(\frac{r}{r_{ref}} \right) \quad (2)$$

Siendo:

L_{eq} : Nivel sonoro continuo equivalente calculado a una cierta distancia r , de la fuente sonora.

$L_{eq\ ref}$: Nivel sonoro continuo equivalente de referencia medido en los puntos “a” del sector correspondiente.

r : Distancia entre la fuente sonora y el punto donde se quiere calcular la atenuación del sonido.

r_{ref} : Distancia de referencia medida entre la fuente sonora y los puntos “a” del sector correspondiente.

Si además, dichos niveles sonoros producidos por el tráfico rodado se propagan en áreas no pavimentadas relativamente abiertas, en la estimación hay que incluir un término adicional, A_{tot} , para

contemplar la atenuación debida a otros factores cuando el sonido se propaga en ambientes abiertos. Para calcular este término se utilizó la Norma Internacional "ISO 9613-2 [12] y la fórmula (3):

$$A_{tot} = A_{refr} + A_{atm} + A_{suelo} + A_{barrera} \quad (3)$$

Siendo:

A_{tot} : Atenuación total debida a todos los aportes.

A_{refr} : Atenuación por refracción.

A_{atm} : Atenuación debida a la absorción molecular de la atmósfera.

A_{suelo} : Atenuación debida al efecto suelo.

$A_{barrera}$: Pérdida por inserción de una barrera.

De esta manera se pudo analizar los valores medidos in situ, en relación con los valores calculados por la atenuación que sufre el sonido cuando se propaga en un espacio abierto.

- Relevamiento de la Vegetación

Para todos los sectores seleccionados en cada parque se realizó la caracterización vegetal mediante relevamientos cuali-cuantitativos, para identificar las distintas especies vegetales, sus características dasonómicas, morfológicas y los atributos que reúnen en función de contribuir eficazmente a la mitigación del ruido como integrantes de una barrera vegetal. Se relevó: género, especie y nombre común, tipo (caducifolia o perennifolia), origen (nativa o exótica), función (árbol o arbusto) y magnitud de desarrollo según la altura final alcanzada por el forestal en estado adulto (1ª, 2ª, 3ª) [13]. Paralelamente mediante el análisis de fotografías aéreas se identificaron las nubes de vegetación de cada sector, en particular las más densas.

Para la caracterización de las distintas especies se aplicaron métodos dasométricos de medición a campo y de cálculo en gabinete (Tabla 2).

Tabla 2. Variables dasonómicas medidas y calculadas para la caracterización vegetal

<p><i>Variables dasonómicas medidas y calculadas:</i></p> <p>1- Altura total en metros (h_{total}): medida desde la base del tronco hasta la parte final del dosel o copa.</p> <p>2- Altura de tronco en metros ($h_{de\ tronco} = h_t$): medida desde la base de plantación hasta el inicio de la ramificación principal.</p> <p>3- Altura de copa en metros ($h_{de\ copa} = h_c$): medida desde el inicio de la ramificación y hasta el final del follaje.</p> <p>4- Relación tronco-copa (T/C): relación entre altura de tronco libre y follaje.</p> <p>5- Volumen Vegetativo (m^3): nubes de vegetación calculadas a partir del radio y la altura de copa según la siguiente fórmula: $Volumen\ vegetal = \pi \times r^2 \times h_c$ Siendo: r = radio de copa h_c = altura de copa</p>	
--	--

2.3 Análisis estadístico

Para cada sector de los parques se consideraron los tres puntos de medición y se realizó el análisis de la varianza ANOVA en las dos estaciones evaluadas -verano e invierno- mediante InfoStat [14]. Las diferencias significativas entre las medias de los registros para cada sector y cada punto, se identificaron mediante Test de Tukey.

3 Resultados y discusión

Los primeros resultados obtenidos para el Parque O'Higgins muestran los niveles sonoros continuos equivalente (L_{eq}) para cada punto, sector y franjas horarias establecidas (Tabla 3).

Tabla 3. Mediciones de Niveles sonoros L_{eq} [dB(A)] para Verano e Invierno – Parque O'Higgins

Niveles sonoros L_{eq} [dB(A)] Verano e Invierno – Parque O'Higgins									
Verano									
Franja Horaria	Sector 1			Sector 2			Sector 3		
	Punto 1 a	Punto 1 b	Punto 1 c	Punto 2 a	Punto 2 b	Punto 2 c	Punto 3 a	Punto 3b	Punto 3 c
Mañana	72.0	58.9	55.6	72.9	60.3	58.8	74.0	62.0	56.7
Mediodía	71.6	57.0	53.5	73.7	57.8	55.4	74.0	61.2	57.7
Tarde	72.3	59.1	55.3	72.6	57.7	54.9	72.9	62.0	56.8
Noche	72.1	58.1	53.2	71.9	56.9	54.1	73.1	62.3	57.0
Invierno									
Franja Horaria	Sector 1			Sector 2			Sector 3		
	Punto 1 a	Punto 1 b	Punto 1 c	Punto 2 a	Punto 2 b	Punto 2 c	Punto 3 a	Punto 3b	Punto 3 c
Mañana	72.9	63.5	57.4	76.2	62.2	58.6	76.2	61.6	58.2
Mediodía	73.2	60.1	56.6	74.0	60.9	58.9	74.2	63.9	58
Tarde	72.9	59.6	56.1	74.9	58.9	58.7	74.9	60.3	58.5
Noche	71.9	58.6	56.8	73.8	60.2	58.4	73.6	58.9	56.5

Al considerar la similitud de valores de niveles sonoros equivalentes en las diferentes franjas horarias, se muestran los valores promedio de los mismos para cada punto de medición (Fig. 5)

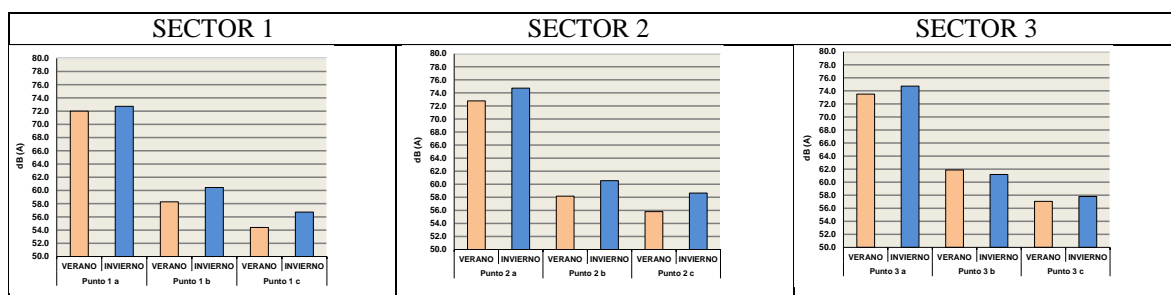


Fig.5. Niveles de Presión Sonora Promedio – dB(A) - Verano e Invierno

El análisis de los niveles sonoros promedios indica que los mismos decrecen desde el punto “a” al “c” para ambas estaciones del año en los tres sectores. Los valores son mayores en invierno en la mayoría de los puntos, lo cual se corresponde con la menor cantidad de biomasa por receso vegetativo. La excepción se presenta en el punto 3 b del sector 3. Dichos Niveles de presión sonora, también fueron estimados calculando la atenuación del ruido de tráfico cuando se propaga en un espacio abierto. Los mismos (L_{eq} calculado) se presentan en la Tabla 4, donde también se muestran los niveles sonoros medidos in situ (L_{eq} medido).

Tabla 4. Comparación de Niveles de Presión Sonora Promedio Medidos in situ y Calculados en gabinete

Nivel de Presión Sonora Promedio - dB (A)									
Sector	1			2			3		
Puntos de Medición	1a	1b	1c	2a	2b	2c	3a	3b	3c
Verano									
Distancias (m) =	7,5	75	164	7,5	64	136	7,5	51	111

L _{eq} medido - dB(A) =	72,0	58,3	54,4	72,8	58,2	55,8	73,5	61,9	57,1
L _{eq} calculado - dB(A) =	72,0	57,2	52,9	72,8	58,8	54,8	73,5	60,8	56,6
Invierno									
Distancias (m) =	7,5	75	164	7,5	64	136	7,5	51	111
L _{eq} medido - dB(A) =	72,7	60,4	56,7	74,7	60,5	58,7	74,7	61,1	58,0
L _{eq} calculado - dB(A) =	72,7	58,1	54,0	74,7	60,9	57,0	74,7	62,1	58,0

Estos valores muestran que en todos los sectores existe correlación entre valores medidos y calculados. En el Sector 1, que es el más extenso, los valores medidos resultan ser mayores que los calculados. En el punto “c” en invierno se comprueba la mayor diferencia -2,7 dB(A)- y en verano dicha diferencia es de 1,5 dB(A). En el Sector 2 - intermedio en cuanto a extensión- se observa que los valores medidos resultan menores que los calculados en el punto “b” aunque por un margen de 0,6 dB(A) en verano y 0,4 dB(A) en invierno. En el punto “c” se repite la situación, los valores medidos resultan mayores a los calculados. En invierno la diferencia es de 1,7 dB(A) y en verano es de 1,0 dB(A). El sector 3 -el menos extenso y con menor vegetación- en verano presenta valores medidos mayores que los calculados y en invierno ocurre lo contrario. En el punto “b” en verano se comprueba la mayor diferencia de 1,1 dB(A) y en invierno dicha diferencia es de 1,0 dB(A).

El relevamiento de la vegetación del POH indica un total de 287 individuos pertenecientes a 45 especies. Se observa un mayor porcentaje de especies de tipo caducas (64- 84%) respecto de las perennes (16-36%) y mayoría de origen exótico (93-99% según sectores). La alta cantidad de especies caducas no es apropiada al requerimiento de las barreras vegetales, las cuales debieran estar constituidas mayoritariamente por especies perennifolias que mantienen su biomasa y aseguran la persistencia del follaje todo el año. Respecto de los tipos funcionales, el porcentaje de árboles (85%) es mayor que el de arbustos en los tres sectores, predominando los árboles de segunda magnitud con alturas promedios de 12 metros. La especie de mayor representatividad (45%) es *Fraxinus excelsior* “*fresno europeo*”. Respecto al volumen vegetativo como medida de la cantidad de biomasa efectiva como pantalla antirruído, el sector 2 registra el mayor valor (26394 m³) respecto a los otros dos.

4 Conclusiones

Se observa que los niveles sonoros promedios decrecen desde el punto más próximo a la fuente emisora de ruido, hasta el punto cercano al receptor para ambas estaciones del año en los tres sectores del Parque O’Higgins. Sin embargo, se esperaban mayores niveles de atenuación acústica por parte de la vegetación. Los niveles sonoros son mayores en invierno en la mayoría de los puntos de los diferentes sectores, lo cual se corresponde con la menor cantidad de biomasa. Mediante análisis estadístico se encontraron diferencias significativas entre invierno y verano solamente en los puntos cercanos al receptor de los sectores 1 y 2. Estos sectores presentan los menores valores de niveles sonoros promedios en verano, lo cual es coherente con la mayor densidad de vegetación. En invierno, el sector 1 es el que presenta el menor nivel sonoro promedio, esto se relaciona con la mayor presencia porcentual de especies del tipo perenne. En zonas urbanas de elevado tránsito vehicular, la presencia de barreras vegetales constituye una estrategia apropiada para mitigar los elevados niveles sonoros, consiguiendo adicionalmente todos los beneficios ambientales que aportan.

Referencias

- [1] Parlamento Europeo (2017). Fichas Técnicas sobre la Unión Europea 2017. La contaminación atmosférica y acústica. Recuperado de http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/es/displayFtu.html?ftuId=FTU_5.4.5.html
- [2] Brambilla, G., Gallo, V., Asdrubali, F. y D’Alessandro, F. (2013). The perceived quality of soundscape in three urban parks in Rome. J. Acoust. Soc. Am., Vol. 134, 832-839. doi:10.1121/1.4807811

- [3] Baldauf, R. (2017). Roadside vegetation design characteristics that can improve local. near-road air quality. *Transportation Research Part D*, vol. 52 (11), 354-361. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6060415/>
- [4] Observatorio de la Sostenibilidad en España (2008). *Sostenibilidad local: una aproximación urbana y rural*. Madrid, España. Mundiprensa.
- [5] Hagler, G.S.W., Lin, M-Y, Khlystov, A., Baldauf, R.W., Isakov, V., Faircloth, J. (2012). Field investigation of roadside vegetative and structural barrier impact on near-road ultrafine particle concentrations under a variety of wind conditions. *Science of the Total Environment*, vol. 419, 7-15. doi: 10.1016/j.scitotenv.2011.12.002.
- [6] Accolti, E., Miyara, F., Marengo Rodriguez, F. A., Miechi, P., Mignini, E., Pasch V., Cabanellas S., Yanitelli, S. (2011). Georeferenced spectral maps an improved instrument for action planning on environmental noise mitigation. *Mecánica Computacional*, vol. (XXX), 3075-3085. Recuperado de https://www.academia.edu/22144931/Georeferenced_Spectral_Maps_an_Improved_Instrument_for_Action_Planning_on_Environmental_Noise_Mitigation
- [7] Dzhambov, A. M. y Dimitrova, D. (2015). Green spaces and environmental noise perception. *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 14 (4), 1000-1008. Recuperado en <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2015.09.006>.
- [8] Muñoz Vargas, G. y Gutiérrez, L. (2007). *Medición de los Niveles de Emisión Sonora en la Ciudad de Mendoza*. Informe a la Municipal de la Ciudad de Mendoza - Laboratorio de Acústica "Mario G. Camín". Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza. Mendoza, Argentina, 12 pp.
- [9] Norma IRAM 4062 (2016). *Ruidos molestos al vecindario. Método de medición y clasificación*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires, Argentina, 24 pp. Recuperado de <https://iram.org.ar/busqueda-avanzada-de-normas-iram/>
- [10] Recuero López, M. (1999). *Ingeniería acústica*. Madrid, España, Paraninfo.
- [11] Harris, C. (1998). *Manual de medidas acústicas y control del ruido*. Madrid, España. MacGraw-Hill.
- [12] Norma ISO (2016). N 9613-2. *Acoustics-attenuation of sound during propagation outdoors. Part 2: General method of calculation*. International Organization for Standardization ISO. Génova, Suiza.
- [13] Martinez, C. F., Córlica, L., Endrizzi, M., Pattini, A., Cantón, M. (2006). Effect of urban forest on daylight availability in built environments. The case of Metropolitan Area in Mendoza. PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland.
- [14] Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C.W. InfoStat (2015) InfoStat. FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. Recuperado de <http://www.infostat.com.ar>