






# Evaluación del Ruido Urbano en la Ciudad de Alta Gracia (Córdoba – Argentina)

Montoro, Marcos A.<sup>1,2\*</sup> ; Asinari, Iván E.<sup>3</sup> ; De Goycochea, Julieta<sup>1</sup> ; Cioccale, Marcela<sup>1</sup> ; Francisca, Franco M.<sup>1,2</sup> 

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Córdoba, Argentina

<sup>2</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas y Universidad Nacional de Córdoba, Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología, (IDIT – CONICET – UNC), Córdoba, Argentina

<sup>3</sup>Consultor independiente, Córdoba, Argentina

**Resumen:** El análisis de la contaminación por ruido urbano en las ciudades resulta de fundamental importancia para definir políticas de planificación urbana para orientar el desarrollo y crecimiento armónico de las ciudades y compatibilizar los diferentes usos de suelo con la calidad de vida de los habitantes. En este trabajo se realizó un diagnóstico general de la contaminación sonora de una ciudad de tamaño mediano en pleno proceso de crecimiento como es la ciudad de Alta Gracia (Córdoba, Argentina) con el objetivo de proveer información para la modificación de su plan de ordenamiento urbano y territorial. Se midió el nivel sonoro en estaciones distribuidas en toda la ciudad en diferentes franjas horarias y en distintos días de la semana. Se determinaron diferentes parámetros de contaminación sonora, se generaron mapas e indicadores de contaminación. Se estudió la correlación entre distintos indicadores, topografía del área y valor del suelo urbano. Se encontró que los niveles sonoros están asociados al uso del suelo, pero ni la topografía ni el valor unitario del terreno presentan un grado de correlación importante con los indicadores de nivel de ruido.

**Palabras clave:** Contaminación sonora; mapas de ruido; planificación urbana; ruido ambiental; ruido

## Diagnosis of Urban Noise of Alta Gracia city (Córdoba – Argentina)

**Abstract:** The analysis of soundscape is of fundamental importance for the implementation of urban planning policies that lead to a sustainable growth and development of the cities and to an improvement in the quality of life of the urban population. We carried out a general diagnosis of noise pollution on a medium sized city in an actual growing process such as Alta Gracia (Córdoba, Argentina) with the objective of providing information for its master urban plan policy change. Noise levels were measured in stations distributed all over the city. Different noise pollution parameters were determined that allowed the generation of noise level maps, and different noise pollution indicators. We analyzed the relationship between noise levels and the topography of the area and the value of urban land. It was found that sound levels are associated with land use, but neither the topography nor the unit value of the urban land present a significant degree of correlation with the noise level indicators.

**Keywords:** Environmental noise pollution; noise maps; urban planning; environmental noise; noise

### 1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población mundial ha conducido a un mayor número de personas a vivir en áreas urbanas. Tanto a nivel local como internacional, se reconoce el valor de las ciudades pequeñas a medianas y a los suburbios como sitios en donde se cuenta con una elevada calidad de vida, producto de la escasa densidad poblacional (Chiarini et al., 2020).

Uno de los principales problemas de contaminación en las ciudades a nivel internacional es la contaminación atmosférica. Cuando se habla de contaminación atmosférica se

asocia la misma a emisiones gaseosas. Sin embargo, la contaminación física es una forma de contaminación atmosférica muchas veces ignorada, pero de relevancia trascendental para la calidad ambiental y la calidad de vida. Entre las formas de contaminación física se encuentran la contaminación térmica, contaminación por radiación y contaminación por ruido (Lungman et al., 2021). Esta última es uno de los factores que más afecta la calidad de vida de gran parte de la población urbana (Albert & Decato, 2017). Por ello, la Organización Mundial de la Salud declaró al ruido como un contaminante en el año 1972, y se lo identificó como uno de

\*mmontoro@unc.edu.ar

Recibido: 05/09/2024

Aceptado: 30/04/2025

Publicado en línea el 31/08/2025

10.33333/tp.vol56n1.02

CC BY 4.0

los problemas ambientales urbanos más comunes (De Souza & Giunta, 2011).

Recientemente se estableció que la contaminación por ruido es la segunda fuente de contaminación en una serie de aspectos ambientales para el impacto en la salud pública en países europeos. Al contrario de otros factores que cuya intensidad está en disminución, la exposición a ruidos está en aumento en la mayoría de las ciudades. Tal es así que, el 33% de los individuos residentes en las principales ciudades europeas declaran molestias debido al ruido durante el día y el 20% declara problemas para conciliar el sueño durante la noche debido al ruido del tránsito (Lungman et al., 2021; WHO, 2011).

El problema de la contaminación sonora afecta la calidad ambiental en ciudades grandes, medianas y pequeñas, aunque el mayor impacto ocurre en las últimas dos mencionadas. Esto se debe a que los niveles sonoros son el resultado de la combinación del ruido ambiente o de fondo y el ruido comunitario o generado por las actividades asociadas al habitar un determinado espacio. La diferencia entre estos niveles suele ser mayor en ciudades pequeñas y medianas que en ciudades grandes en donde el nivel de base o fondo presenta niveles elevados.

Entre las principales fuentes de ruidos urbanos se pueden identificar las fuentes domésticas, industriales, actividades comunitarias, actividades de ocio y el transporte motorizado (Rejano de la Rosa, 2000; Silva & Mendez, 2012). Sin embargo, la contaminación sonora urbana se debe primordialmente al ruido debido al tránsito (Albert & Decato, 2017). El ruido urbano es diferente en cada país, ciudad y zona, la situación es muy dinámica, ya que varía en distintos momentos del día, entre diferentes días de la semana, entre las distintas estaciones y año a año.

El ruido del tránsito es un problema que resulta del proceso de desarrollo urbano no balanceado, el aumento en las necesidades de movilidad y transporte de la población y la acelerada construcción de infraestructura de transporte (Silva & Mendez, 2012). Cualquier modificación urbanística como en la infraestructura vial influye sobre la magnitud de los niveles sonoros que deberán soportar los habitantes de un área urbana en particular (Di et al., 2012; Robles et al., 2019).

En este contexto, la evaluación de la calidad ambiental es de fundamental importancia para los tomadores de decisiones y planificadores encargados de implementar planes que conduzcan a lograr una mejor calidad de vida para los habitantes de las diferentes ciudades, así como de orientar el desarrollo y crecimiento de las mismas (Lungman et al., 2021; Khomenko et al., 2020; Vladimir & Madalina, 2019).

Argentina avanzó en los últimos años en la generación de áreas metropolitanas alrededor de las principales ciudades del país. El desarrollo de estas áreas metropolitanas se encuentra impulsado por la cercanía de muchas ciudades pequeñas alrededor de las ciudades más importantes, la mejora en la infraestructura de transporte y un menor valor del suelo en las mismas, sumado a una mejor calidad ambiental y facilidad de

accesos a servicios. Una parte importante de la población migró su lugar de residencia a estas áreas, pero mantuvo su actividad laboral en las ciudades principales. De esta manera, las ciudades periféricas aumentan gradualmente su población y se reconfiguran en ciudades dormitorios.

La ciudad de Alta Gracia (S31° 39' 33.3" W64° 24' 53.8") se encuentra asentada en la región denominada Valle de Paravachasca, 36 km al sur de la ciudad de Córdoba, en la Provincia de Córdoba en el área central de la República Argentina. La ciudad de Córdoba es la segunda ciudad en importancia del país. Alta Gracia se encuentra conectada a través de tres vías de accesos principales mediante autopistas o autovías.

El objetivo general de este trabajo es tomar a la ciudad de Alta Gracia, en la provincia de Córdoba, Argentina, como una situación puntual y realizar un diagnóstico general de la calidad ambiental de la misma en términos de la contaminación sonora que permita generar información de base para la confección de nuevos planes de desarrollo urbano. Como objetivos específicos, se plantea analizar los datos de los niveles sonoros relevados y determinar parámetros de contaminación sonora para diferentes usos de suelos y evaluar si existe alguna correlación entre diferentes indicadores de ruido, la topografía del área y el valor del suelo urbano.

## 2. MARCO TEÓRICO

El ruido contamina y altera el medio ambiente tanto en las grandes como en las pequeñas ciudades. Las principales fuentes de ruidos urbanos son las fuentes domésticas, industriales, actividades comunitarias, actividades de ocio y el transporte motorizado (Rejano de la Rosa, 2000; Silva & Mendez, 2012). Sin embargo, la principal fuente de contaminación sonora urbana es el tránsito a pesar que en algunos casos se identifique al ruido generado por vecinos como la fuente más molesta (Albert & Decato, 2017; Zannin et al., 2003).

El ruido del tránsito es un problema ambiental resultante del proceso de desarrollo urbano no balanceado y el aumento en las necesidades de movilidad y transporte de la población (Silva & Mendez, 2012). La creciente influencia del ruido del tránsito en las ciudades es causada por la acelerada construcción de infraestructura de transporte. Cualquier modificación urbanística influye sobre la magnitud de los niveles sonoros que deberán soportar los habitantes de un área urbana en particular (Di et al., 2012).

Para la mayoría de las ciudades el patrón de distribución de ruido se puede considerar inicialmente como el resultado de una red de fuentes lineales debido a las calles y las avenidas. El ruido desde estas calles disminuye en la medida que se aumenta la distancia al observador. Superpuesto a este patrón sonoro, se agregan los ruidos debido a plantas industriales, actividades puntuales, etc. Eventualmente, en algunas ciudades grandes, se superpone a su vez el ruido debido al paso de aviones y al de ferrocarriles. En consecuencia, el patrón de distribución de ruido es influenciado por el uso de suelo de las diferentes áreas urbanas con capacidad de inducir movimiento

vehicular en diferentes horarios (De Medeiros et al., 2022; Kalisa et al., 2022; Shorshani et al., 2022).

De manera adicional a la distancia entre la fuente de emisión y el receptor, el patrón de distribución de niveles sonoros es afectado por la presencia de barreras físicas. Las barreras físicas más comunes para el ruido urbano son la presencia de barreras sonoras instaladas en vías de comunicación, el paisaje urbano configurado con edificaciones de diferentes características y alturas y la presencia de accidentes topográficos como colinas o bien barreras vegetales (Han et al., 2018; Raina et al., 2022; Robles et al., 2019). Un estudio reciente muestra que la pendiente del terreno y la topografía pueden afectar la distribución de niveles sonoros alrededor de una instalación industrial puntual (Raina et al., 2022).

Los aspectos relacionados a la evaluación del ruido en general y a las molestias debido al ruido del tránsito en particular son de gran importancia. Esto se puede inferir a partir de diferentes estudios que se han llevado a cabo tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo (Barrigón-Morillas et al., 2011) ya que el impacto acústico es un factor determinante de la conducta y actitud de los individuos e incluye: irritabilidad, dificultad para concentrarse, molestias para dormir y dolores de cabeza (Zannin et al., 2003).

En este contexto la evaluación de la calidad ambiental es de fundamental importancia para los tomadores de decisiones y planificadores encargados de implementar planes que conduzcan a lograr una mejora en la calidad de vida para los habitantes de las diferentes ciudades. Entre las estrategias disponibles, se encuentra la elaboración de legislación adecuada que limite los valores de emisión sonora y regule los niveles de inmisión en diferentes áreas y estrategias de planificación del crecimiento, el desarrollo urbano y la planificación del uso del suelo. El impacto de la contaminación sonora en las ciudades es considerable, especialmente a efectos de tener en cuenta las diferencias con áreas rurales, reportes de investigaciones y mediciones realizadas en Baltimore (Massachusetts) y en Waikiki (Hawai) indican diferencias de los niveles sonoros en áreas urbanas entre 20 y 30dBA superiores a los registrados en áreas rurales (Albert & Decato, 2017).

La contaminación por ruidos es una de las fuentes de contaminación potencialmente nocivas para la salud del ser humano ya que la exposición prolongada a niveles de ruidos altos puede causar daños físicos y psíquicos afectando el bienestar de la población. La Organización Mundial de la Salud (WHO por sus siglas en Inglés) estableció 55 dBA como el nivel de ruido máximo que no se debe superar para garantizar el bienestar de la población (WHO, 2011). Aunque el nivel que es considerado como el límite de exposición sonora saludable por la medicina preventiva a nivel internacional es de 65 dBA (Maschke, 1999). Algunos autores consideran que el nivel máximo de ruido ambiental para ser considerado saludable no debería ser superior a los 55 dBA (Amores, 2010; Brown & Van Kamp, 2017; Juárez et al., 2025; Jáuregui, 2014; Maristany et al., 2016) aunque cada país y región tiene autonomía para fijar los límites máximos permitidos. De manera adicional, existen recomendaciones de

límites de niveles sonoros para los diferentes usos de suelos posibles en áreas urbanas y en diferentes franjas horarias indicados por la Organización Mundial de la Salud, la administración federal de autopistas de EEUU (FHA por sus siglas en Inglés) y la asociación americana de estandarización de autopistas y transporte (AASHTO por sus siglas en Inglés) (Masum et al., 2021).

El mapeo de sonido es la principal herramienta para estudiar la exposición de las personas a la contaminación por ruido urbano (Bastián-Monarca et al., 2016; Yang et al., 2020). Para la obtención de mapas de sonido se pueden aplicar métodos computacionales basados en la simulación de la propagación de sonido o estudios realizados con mediciones in situ. Estos métodos se diferencian de manera importante uno de otro. Sin embargo, aunque se apliquen métodos computacionales siempre se requieren de mediciones in situ para calibrar los resultados (Barrigón-Morillas et al., 2016).

Para poder confeccionar los mapas se requiere de la definición de parámetros e indicadores de contaminación sonora. El nivel sonoro continuo equivalente es un valor teórico que corresponde a un nivel sonoro continuo en el período de tiempo considerado que involucra la misma cantidad de energía acústica (Ecuación 1).

$$L_{eq} = 10 \cdot \log \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n T_i \cdot 10^{0.1L_i} \quad (1)$$

En donde  $T$  es el período considerado,  $T_i$  es el intervalo de duración del nivel sonoro  $L_i$ ,  $n$  es la cantidad de registros realizados e  $i$  es el número de medición efectuada.

El nivel sonoro continuo equivalente  $L_{eq}$  es el índice de número único más útil para describir el ruido ambiental correspondiente a un período corto de tiempo y el más utilizado en la mayoría de estudios que abordan problemas de ruido (de Souza & Giunta, 2011).

Debido a la significancia reconocida y la utilidad de este parámetro, de manera análoga para reflejar los cambios temporales, se pueden definir niveles sonoros continuos equivalentes para cualquier franja horaria considerada, tradicionalmente divididas en matutina, vespertina y nocturna (Yang et al., 2020). Para el análisis de contaminación sonora a partir de estos niveles sonoros continuos equivalentes por franja horaria, se puede definir o determinar el nivel sonoro de 24 horas “ $L_{24h}$ ” (Ecuación 2) el cual representa el valor representativo de todo el día.

$$L_{24h} = 10 \cdot \log \left[ \frac{1}{24} \cdot (8 \cdot 10^{0.1L_{mat}} + 6 \cdot 10^{0.1L_{ves}} + 10 \cdot 10^{0.1L_{noc}}) \right] \quad (2)$$

Para reflejar la variabilidad del nivel sonoro, niveles máximos y mínimos, se pueden definir diferentes parámetros estadísticos muy utilizados en el diagnóstico de contaminación sonora por su significancia. Entre estos parámetros se encuentra el valor medio de nivel sonoro y su desviación estándar. Con los mismos, resulta posible determinar niveles sonoros para diferentes percentiles: 5; 10; 50; 90 y 95. El

percentil indica el porcentaje del tiempo en que el valor de nivel sonoro correspondiente es superado. El percentil 10 es considerado como indicador del nivel sonoro máximo mientras que el percentil 90 es representativo del nivel sonoro de fondo o ambiente (Masum et al., 2021). Los diferentes percentiles pueden ser determinados a partir del valor medio y desvío estándar del registro de las mediciones asumiendo una distribución gaussiana de los mismos (Barrigón-Morillas et al., 2002; Masum et al., 2021; Raimbault et al., 2003; Rejano de la Rosa, 2000; Shalini & Kumar, 2018).

De manera adicional, se puede determinar el índice de clima de ruido CR (Ecuación 3) el cual se calcula como la diferencia entre el nivel sonoro correspondiente al percentil 10 (representativo del nivel sonoro máximo) y al percentil 90 (representativo del nivel sonoro de base).

$$CR = L_{10} - L_{90} \quad (3)$$

Este indicador considera que la molestia que produce un ruido está ligada a los niveles sonoros y a la fluctuación de los mismos (Rejano de la Rosa, 2000).

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 Descripción de la zona de estudio

La ciudad de Alta Gracia se encuentra rodeada por sierras de no mucha altura sobre su sector Oeste – Sudoeste (Figura 1). Es una ciudad pintoresca, enclavada en el faldeo oriental de las sierras chicas, con una población mediana de aproximadamente 67 000 habitantes de acuerdo al censo nacional del año 2022. La ciudad se caracteriza por un ambiente tranquilo, con una dinámica comercial y administrativa que se desarrolla en horario interrumpido: por la mañana y por la tarde. Es una ciudad turística, forma parte del conocido camino de las estancias, ya que se desarrolló desde su fundación hasta la actualidad alrededor de su casco histórico conformado por la estancia jesuítica de Alta Gracia. Desde el año 2000 las medidas urbanísticas, de planificación, protección, conservación y resguardo de este casco histórico han aumentado y cobrado relevancia debido a que la estancia fue declarada como “Patrimonio Cultural de la Humanidad” por la UNESCO. Gracias a este atractivo y la conectividad con la ciudad de Córdoba en los últimos años, la ciudad se encuentra en un proceso de importante crecimiento con la incorporación de tierras al desarrollo habitacional lo que colabora al desarrollo del Área Metropolitana de la Ciudad de Córdoba.

La ciudad cuenta con 41 barrios y denota un importante crecimiento poblacional debido a la oferta de una gran cantidad de emprendimientos inmobiliarios tanto en la zona norte como en la zona sur de la misma. En la Figura 2, se muestra un plano de la ciudad de Alta Gracia en el que se indican la ubicación de los usos del suelo comercial, residencial e industrial de acuerdo a la planificación urbana actual de la misma junto con las principales vías de acceso y circulación vehicular.

#### 3.2 Metodología de medición

La distribución de estaciones de medición y muestreo de niveles sonoros se puede realizar mediante la definición de una cuadrícula y distribución de manera aleatoria (ISO 1996), o bien mediante algún criterio de selección manual. El uso de cuadrícula y distribución aleatoria permite garantizar una cobertura uniforme y no requiere un conocimiento previo de las características del área de estudio (Barrigón-Morillas et al., 2016), en tanto que la distribución manual requiere de un conocimiento previo del área (Barrigón-Morillas et al., 2011).

En el caso de la ciudad de Alta Gracia, para la realización de las mediciones se distribuyeron 64 estaciones de medición en todo su ejido urbano. La distribución se realizó mediante el criterio de ubicación a partir de las categorías de uso de suelo indicados en la Figura 2 y se trató de abarcar cada una de las zonas y cada uno de los barrios de la forma más representativa posible. 34 de estas estaciones se ubicaron en zonas con uso de suelo tipo residencial, 29 en zonas con uso de suelo comercial y 1 en zona de uso del suelo tipo industrial. En la Figura 3, se muestra la ubicación relativa de cada una de las estaciones de medición y la densificación de la cantidad de estaciones de medición en la zona centro y casco histórico.



Figura 1. Ubicación de la ciudad de Alta Gracia en la Provincia de Córdoba (Argentina)

Similares cantidades de estaciones de medición fueron utilizadas en investigaciones previas para ciudades con similar cantidad de habitantes (Tsai et al., 2009, Zannin et al., 2002, Zuo et al., 2014).

#### 3.3 Mediciones

Las mediciones de niveles sonoros se realizaron de acuerdo a los lineamientos generales recomendados por la norma Argentina IRAM 4062:2016 (IRAM, 2016) y recomendaciones de la norma ISO 1996-2 (ISO, 2017). Se utilizó un sonómetro integrador Clase II marca CT Lutron, configurado para utilizar ponderación A y en respuesta lenta. Todas las mediciones se realizaron con el sonómetro instalado en un trípode a una altura de 1.20 m sobre el nivel del suelo y se tomaron los recaudos para ubicar el mismo a una distancia mínima de 3.50 m respecto de las fachadas u otra superficie reflectante. Se evitó realizar mediciones en situaciones de condiciones meteorológicas adversas tales como durante ocurrencias de precipitaciones o en situaciones con presencia de vientos.

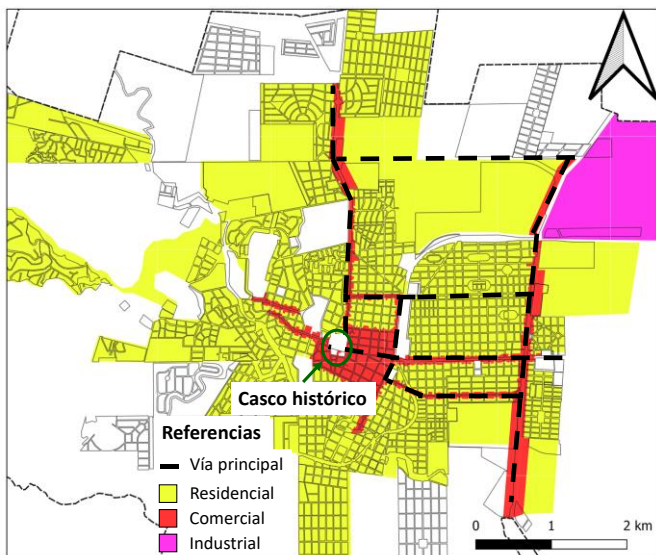


Figura 2. Usos de suelo de la ciudad de Alta Gracia



Figura 3. Distribución de las estaciones de medición en la ciudad

Las campañas de medición se realizaron entre los meses de agosto a noviembre. Las mediciones se realizaron en días laborables (lunes a viernes), se incluyeron mediciones en días de fin de semana en estaciones puntuales localizadas en áreas y zonas de esparcimiento nocturno. Las mediciones se realizaron en tres franjas horarias diferentes: Diurna (7:00 am–

3:00 pm); vespertina (3:00 pm – 9:00 pm) y nocturna (9:00 pm – 7:00 am). En 55 estaciones, se realizó una medición por cada franja horaria considerada en la que se registraron lecturas cada 1 minuto durante 15 minutos. En 26 estaciones, se midió únicamente en período matutino y en 4 estaciones únicamente en franja horaria nocturna. En todos los casos, las mediciones se realizaron durante 15 minutos en los que se registró una lectura por cada minuto.

El intervalo de medición fue definido en 15 minutos para garantizar un período de medición factible de acuerdo a los objetivos del trabajo que garantizara una medición representativa y un margen de error aceptable. El intervalo de medición seleccionado se adoptó considerando recomendaciones de la norma Argentina IRAM 4062:2016 (IRAM, 2016), de la norma ISO 1996-2 (ISO, 2017) del trabajo de Brown & Lam (1987) y antecedentes de estudios similares previamente publicados por diferentes autores (Albert & Decato, 2017; Barrigón-Morillas et al., 2016; Brocolini et al., 2013; Kogan et al., 2017; Maristany et al., 2016; Raimbault et al., 2003; Sommerhoff et al., 2004).

### 3.4 Parámetros e indicadores determinados

Con las mediciones realizadas se determinaron diferentes parámetros e indicadores para poder realizar el diagnóstico de la magnitud de contaminación sonora.

Para cada estación de medición, se determinó el valor medio y la desviación estándar de la serie de mediciones registradas para cada una de las tres franjas horarias consideradas. Con estos parámetros, se determinaron los niveles sonoros para diferentes percentiles: 5; 10; 50; 90 y 95. También se determinaron los niveles sonoros extremos máximo y mínimo para cada estación de medición.

Además, para cada estación de medición se determinó el nivel sonoro continuo equivalente ( $L_{eq}$ ) mediante la Ecuación 1 considerando todas las mediciones efectuadas en las tres franjas horarias. De manera análoga para cada una de las franjas horarias consideradas, se determinó el nivel sonoro continuo equivalente matutino " $L_{mai}$ ", el vespertino " $L_{ves}$ ", y el nocturno " $L_{noc}$ ".

A partir de estos tres parámetros se determinó el nivel sonoro de 24 horas " $L_{24h}$ " (Ecuación 2) el cual refleja el valor representativo de todo el día. Corresponde al nivel sonoro continuo equivalente cuando se considera un periodo de 24 horas. De manera adicional, para cada estación se determinó el índice de clima de ruido CR (Ecuación 3).

A partir de los parámetros e indicadores determinados, se confeccionaron mapas de distribución de los correspondientes valores. Para ello, se utilizó el sistema de información geográfica de código libre QGIS versión 3.14. La interpolación de los valores se realizó mediante la aplicación de Kriging ordinario, la cual es una de las técnicas más aceptadas para la interpolación de parámetros geoestadísticos y confección de mapas de este tipo (Harman et al., 2016; Liu et al., 2020; Tsai et al., 2009). La técnica utilizada tiene la limitación que interpola y genera líneas de contorno de nivel

sonoro entre estaciones de medición sin considerar la presencia de obstáculos verticales que afectan la propagación del sonido (Aumond et al., 2018; Wickramathilaka & Ujang, 2023). Esto presenta una limitación en la interpretación de los resultados obtenidos, ya que los mismos indican un diagnóstico general de las áreas consideradas, pero no permiten valorar ni predecir valores de nivel sonoros en una posición específica ni niveles sonoros esperados dentro de las construcciones.

### 3.5 Análisis de correlación

Se investigó la correlación que pudiera existir entre la topografía del sitio representado por el nivel medio de pendiente del terreno y el valor de la tierra urbana con los diferentes indicadores de niveles sonoros medidos. Para tal efecto, se determinó la pendiente promedio del terreno en cada sector mediante análisis de imágenes satelitales del sitio y se obtuvieron datos de la valuación fiscal del suelo del geoportal IDECOR (IDECOR, 2021). Para el análisis, se utilizó el programa de código libre GeoDa. Con este programa resulta posible determinar los parámetros de pendiente y ordenada al origen para un análisis de regresión lineal como así también los parámetros estadísticos del análisis, tal como el coeficiente de determinación  $r^2$ .

## 4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Luego de las mediciones efectuadas, se recolectaron 2655 registros de niveles sonoros. Estos registros corresponden a una lectura por minuto durante los 15 minutos de medición en cada una de las estaciones de medición indicadas en la Figura 3 para las franjas horarias indicadas. A partir del universo total de registros de niveles sonoros, se determinaron los siguientes parámetros estadísticos: media del nivel sonoro 61.7dBA, desviación estándar de 12.3dBA. En la Figura 4, se muestra el histograma de distribución de frecuencias para la totalidad de las mediciones. Se observa que el intervalo de registro de niveles sonoros entre 65.1 y 75dBA es el que presenta mayor frecuencia (28.9%), en tanto que el 67.6% de las lecturas son iguales o superan el nivel de 55dBA, señalado generalmente como nivel sonoro límite aceptable para las personas para la exposición al ruido durante el día (Brown & Van Kamp, 2017; Juárez et al., 2025; Maristany et al., 2016; WHO, 2011).

El nivel sonoro máximo registrado fue de 99.2dBA sobre la avenida de ingreso principal a la ciudad, mientras que el nivel sonoro mínimo registrado fue de 34.5dBA ubicado en el centro de uno de los barrios más nuevos de la ciudad que comenzaba a desarrollarse al momento de las mediciones.

Cuando se analizan los histogramas de los usos de suelos correspondientes, se determina que para el caso de uso del suelo residencial el intervalo de niveles sonoros de mayor frecuencia relativa es el comprendido entre 45.1 a 50dBA. A su vez, el uso del suelo de tipo comercial corresponde al intervalo entre 65.1 a 70dBA, finalmente para los registrados en áreas con uso del suelo de tipo industrial el intervalo de mayor frecuencia relativa es el comprendido entre 70.1 y 75dBA. Esto marca una clara relación entre el uso del suelo, las actividades desarrolladas en cada sector con diferentes usos

del suelo y el tránsito inducido por cada uso del suelo con el nivel sonoro resultante en el área.

En la Tabla, 1 se indica el porcentaje de registros obtenidos que superan el valor de 55dBA considerado como el valor de exposición a ruido aceptable según lo indicado por WHO (2011) al tener en cuenta los distintos usos del suelo y los tres intervalos horarios definidos.

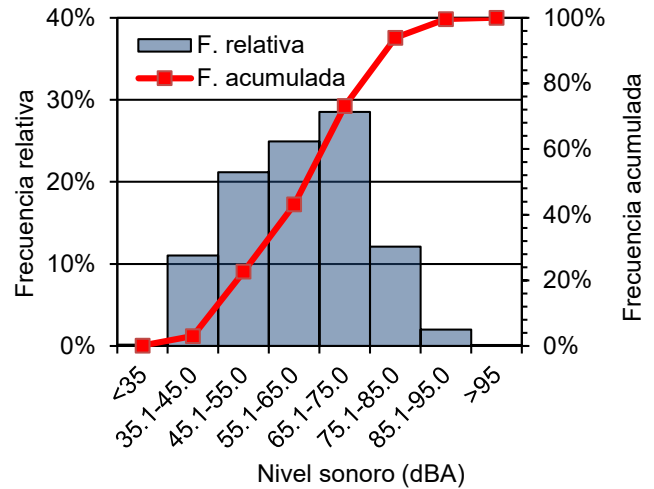


Figura 4. Histograma de distribución de frecuencias relativas y acumuladas de todas las mediciones efectuadas

Tabla 1. Frecuencia de excedencia del nivel sonoro límite (55dBA) para los distintos usos de suelos y rangos horarios

Uso del suelo	Matutino	Vespertino	Nocturno
Residencial	49%	56%	35%
Comercial	13%	19%	25%
Industrial	53%	19%	29%

La Figura 4 muestra un histograma y una curva de frecuencias acumuladas que puede ser aproximada por una distribución gaussiana. Para el caso de cada estación de medición en particular, los histogramas de las mediciones son de forma similar. Con este fin, al considerar los valores medios y desvíos en cada estación de medición, resulta posible la determinación de diferentes niveles sonoros percentiles, lo que permite realizar un diagnóstico de la distribución espacial de niveles sonoros con diferentes significados (Barrigón-Morillas et al., 2002; Masum et al., 2021; Raimbault et al., 2003; Shalini & Kumar, 2018).

En la Figura 5, se muestra el mapa de variación espacial del nivel sonoro percentil 95. En el mismo se observa claramente cómo los mayores valores de nivel sonoro se concentran en el centro histórico – comercial – administrativo de la ciudad y en torno a las dos principales avenidas que cruzan a la ciudad de este a oeste y de norte a sur. Los valores de  $L_{95}$  muestran una importante disminución en la medida que se consideran sectores alejados del centro de la ciudad, principalmente en dirección norte y oeste de donde hay predominancia de zonas rurales, barrios de muy baja densidad poblacional y barrios nuevos que se encuentran en desarrollo. Un patrón de variación espacial similar es representado por la distribución de los niveles sonoros determinados para diferentes percentiles.

En la Figura 6, se muestra la distribución espacial del nivel sonoro continuo equivalente para 24 horas (Ecuación 2). En el mismo, se puede observar cómo los intervalos correspondientes a niveles sonoros entre 70.1 a 75 dBA y 75.1 a 80 dBA son los que abarcan la mayor superficie de la ciudad en correspondencia con el área de mayor densidad poblacional y barrios más antiguos, y disminuyen hacia la periferia. Estos valores comparan con valores de niveles sonoros continuos equivalentes entre 70.5 dBA y 75.5 dBA para áreas centrales de la Ciudad de Córdoba (a 30 km de Alta Gracia) la cual es la capital de la provincia y posee una población de 1.498.060 habitantes, y de 77,3 dBA para el microcentro de San Miguel de Tucumán (Juárez et al., 2025; Kogan et al., 2018; Maristany et al., 2016). Sin embargo, los valores medidos son inferiores a los determinados para áreas centrales de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires los que se ubican en el entorno de 70.8 dBA y 80.1 dBA en el día y entre 65.9 dBA y 76.5 dBA en la noche (Ausejo et al., 2010).

En la Figura 7, se muestra la distribución espacial del valor de índice de clima de ruido CR (Ecuación 3). Este índice permite identificar las áreas con mayor nivel de fondo, mayores niveles máximos y zonas de niveles de ruidos regulares (menor diferencia entre ambos niveles). En la Figura 7, se observa que el área de menor valor de CR coincide con el casco histórico, centro comercial y administrativo de la ciudad, lo que ubica a esa área como el área con un nivel de ruido que, si bien es el más elevado, también es el más constante. En tanto los mayores valores de CR se registran en las áreas periféricas de la ciudad, lo que pone de manifiesto que éstas presentan una diferencia importante entre los niveles sonoros de base y los niveles sonoros máximos. Esto permite definir a estos sectores como los más susceptibles debido a la importante diferencia entre los niveles de ruido a lo largo del día.

Estos análisis son una herramienta fundamental a considerar en la formulación de planes de desarrollo urbano en los que necesariamente se debe contemplar los niveles de contaminación acústica actual para fomentar el desarrollo de diferentes usos del suelo en distintos sectores, promover el desarrollo de ejes comerciales, áreas industriales y nuevas áreas residenciales. De manera adicional, se debe prever los niveles de ruido que inducirán el desarrollo de nuevas áreas comerciales e industriales por lo que la planificación se debe centrar en garantizar las mejores condiciones acústicas para no afectar la calidad de vida y ambiental en las áreas residenciales.

Esta información resulta importante a la hora de revisar normativas locales en donde se deben fijar los niveles de ruido permisibles, las posibilidades de superación de éstos y los intervalos de tiempo permitidos. Esta información se debe considerar también al momento de efectuar cambios en la infraestructura de transporte como en la planificación del mismo. De igual forma, se debe considerar a la hora de incluir autorizaciones para diferentes actividades comerciales, productivas o recreativas en los diferentes usos del suelo y al momento de fijar recomendaciones y exigencias técnicas a las nuevas edificaciones en diferentes sectores para que provean nivel de protección acústico adecuado a los habitantes.

Como se determinó a partir de las mediciones y se observa en los mapas de las Figuras 5, 6 y 7, el nivel de ruido está claramente asociado a las actividades que se desarrollan en cada sector de la ciudad, a la cercanía a vías de transporte, a la influencia de la movilidad vehicular y a la presencia de barreras u obstáculos para la propagación del sonido.

En este sentido, existe en la sociedad la idea de que la contaminación sonora ambiental está estrechamente relacionada con el valor económico del suelo además de la topografía del área.

La relación con el valor económico del suelo surge ya que es común que las áreas que registran menores valores de ruidos de fondos y valores máximos más bajos se encuentren en los sectores de barrios residenciales de mayor jerarquía, conformados por lotes extensos de costo elevado, lo que posibilita una baja densidad poblacional.

Para analizar estas circunstancias se correlacionó en primer término el valor unitario de la tierra obtenido a partir de los mapas de valuación fiscal de la provincia de Córdoba (Argentina) del año 2018 publicados por IDECOR (IDECOR, 2021) y los diferentes indicadores de ruido considerados. Por otro lado, a partir de análisis de imágenes satelitales se determinaron los valores de las pendientes del terreno en el área de la ciudad. Para cada análisis se planteó una regresión lineal y se determinaron los parámetros de la misma: pendiente de la recta y descriptores estadísticos como el coeficiente de determinación  $r^2$ .

En la Tabla 2, se resumen los valores de coeficiente de determinación  $r^2$  obtenidos para las correlaciones con cada uno de los parámetros descriptores de nivel de ruido con el valor unitario de la tierra y con la pendiente del terreno (topografía).

Para el caso de la relación entre indicadores de niveles sonoros y topografía, los valores de coeficiente de determinación encontrados fueron muy bajos, lo que indica el bajo grado de relación entre ambos factores para este caso en particular. En tanto que, para el caso del análisis de la relación entre indicadores de niveles sonoros y valor unitario del terreno, en todos los casos se obtuvieron magnitudes del coeficiente de determinación más altas que en el caso de la topografía, lo que indica una mayor afinidad entre estos parámetros, ya que el valor unitario de terreno es muy dependiente de las actividades que se pueden desarrollar en los mismos.

**Tabla 2.** Coeficientes de determinación  $r^2$  para correlaciones entre valor unitario del terreno y parámetros de ruido

Parámetro	$r^2$ Valor unitario de la tierra	$r^2$ topografía
Leq Matutino	0.2859	0.0636
Leq Vespertino	0.047	0.0455
Leq Nocturno	0.2573	0.1063
L5	0.1779	0.1573
L10	0.2175	0.1699
L50	0.3467	0.1858
L90	0.3842	0.1502
L95	0.3785	0.1366
Clima Ruido	0.0674	0.005
Lmáximo	0.0977	0.004
Lmínimo	0.3313	0.003
L24h	0.147	0.005

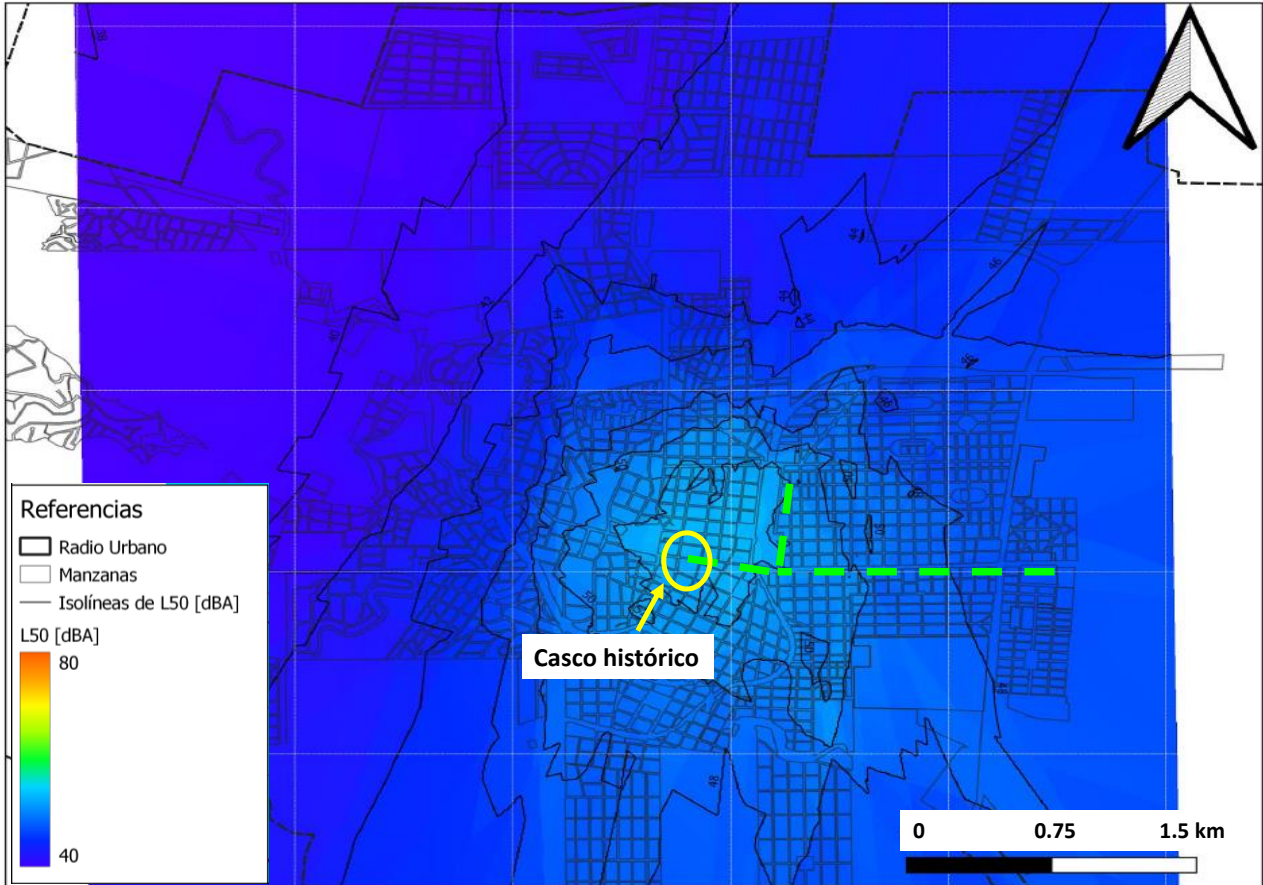


Figura 5. Distribución espacial de niveles sonoros percentil 50 ( $L_{50}$ )

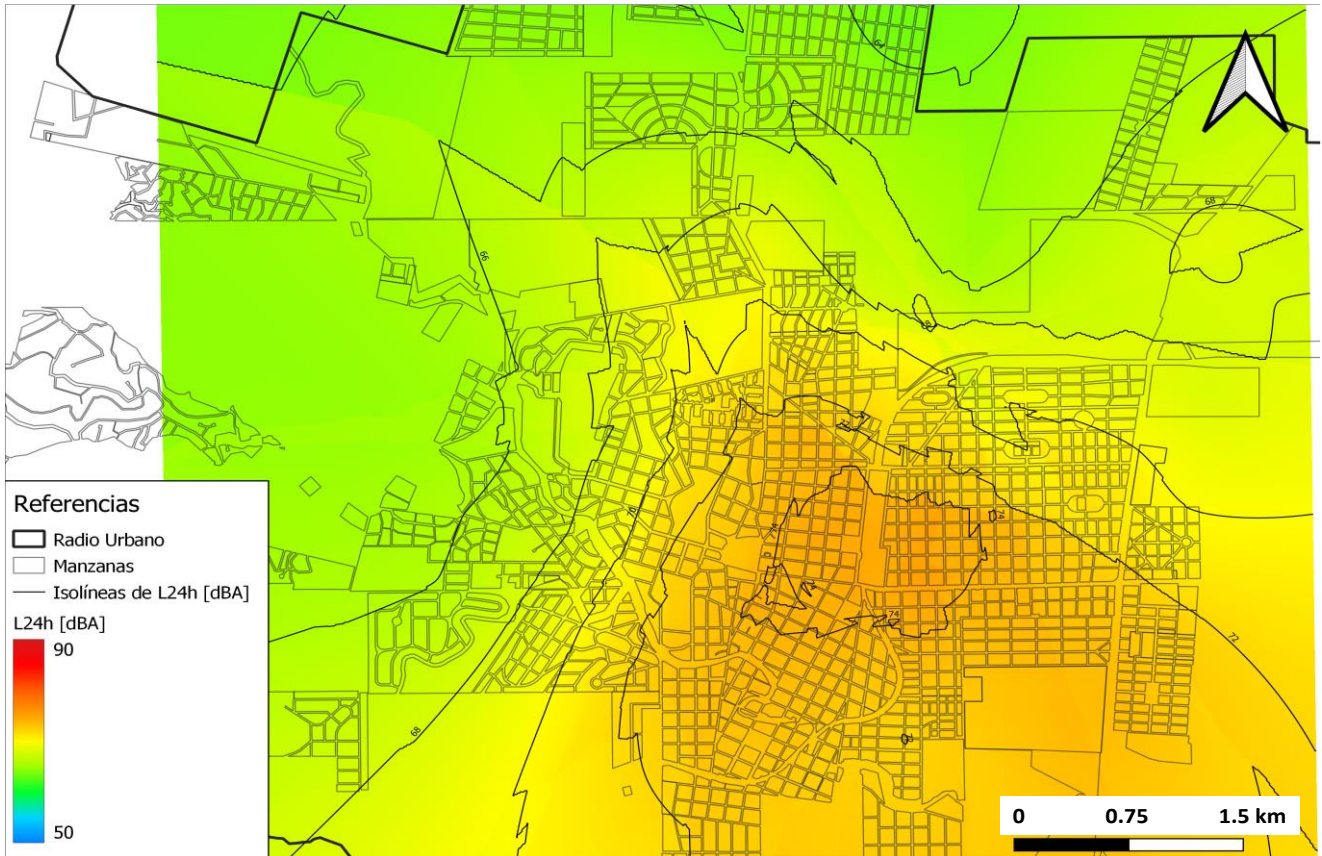


Figura 6. Mapa de distribución de nivel sonoro continuo equivalente 24 h

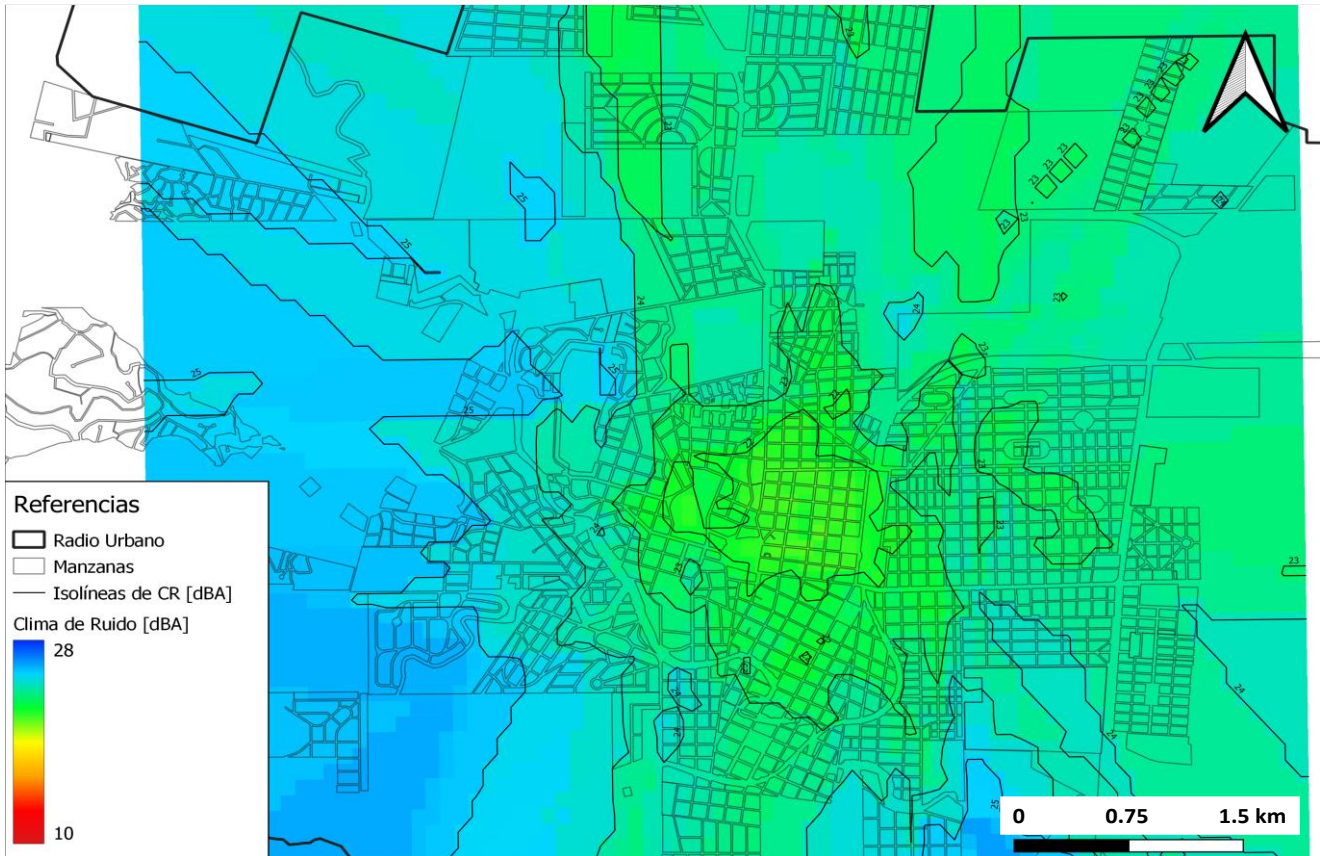


Figura 7. Índice de clima de ruido CR

El valor del coeficiente de determinación más alto se encontró para la correlación entre el nivel sonoro percentil 95 ( $L_{95}$ ) y el valor unitario de la tierra con una magnitud de 0.6792. En la Tabla 2, se puede observar que los valores del coeficiente de determinación disminuyen en la medida que los niveles sonoros percentiles representan ruidos máximos, por lo que la correlación entre valor unitario de la tierra e indicador de ruido es mayor para el caso de los indicadores que tienden a representar niveles sonoros de fondo.

En la Figura 8, se muestran dos gráficos de dispersión determinados para la relación entre indicadores de ruido y valor unitario del terreno. En la Figura 8<sup>a</sup>, se muestra la relación entre el valor unitario del terreno y el nivel sonoro continuo de 24 horas, en tanto que en la Figura 8<sup>b</sup>, se muestra igual relación, pero con el nivel sonoro percentil 95. En todos los casos analizados la correlación entre indicadores de ruido y valor unitario del terreno es positiva, es decir que, a mayor valor unitario de terreno, mayor nivel sonoro asociado. Esta correlación en principio puede resultar contradictoria frente a ideas previas. Sin embargo, el análisis se realizó a partir de los valores unitarios de terreno. El valor unitario del terreno es mayor en las áreas comerciales y administrativas y en los barrios de mayor densidad poblacional en coincidencia con los sectores con niveles de ruidos más importantes. De la observación de los gráficos, se puede identificar que, si bien existe un grado de correlación, el mismo es bajo y la dispersión es muy importante, esto indica que existen múltiples factores que

explican las variaciones de los niveles sonoros en cada uno de los sectores de la ciudad.

Es claro que, a partir de los análisis realizados, ni la topografía ni el valor unitario del terreno presentan un grado de correlación importante con los indicadores de nivel de ruido. Sin embargo, no implica que, en distintos sectores, independientemente de la geografía y valor unitario del suelo, puede haber contaminación por ruido. Por lo tanto, lo más importante en la determinación de posible contaminación y generación de molestias (parámetro CR) estaría asociado a las actividades y uso del suelo permitido en el sector (residencial, comercial o industrial).

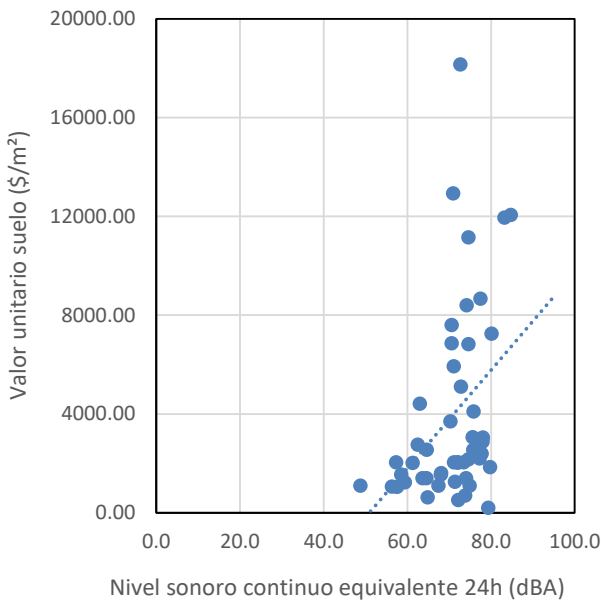
## 5. CONCLUSIONES

La medición de niveles sonoros en todo el tejido urbano de la ciudad de Alta Gracia y la determinación de parámetros e indicadores descriptivos de ruido y contaminación sonora permitió generar conocimiento relacionado a la distribución de niveles sonoros y parámetros de contaminación sonora de una ciudad mediana. Las principales conclusiones obtenidas luego del análisis de los resultados alcanzados se puede resumir de la siguiente forma:

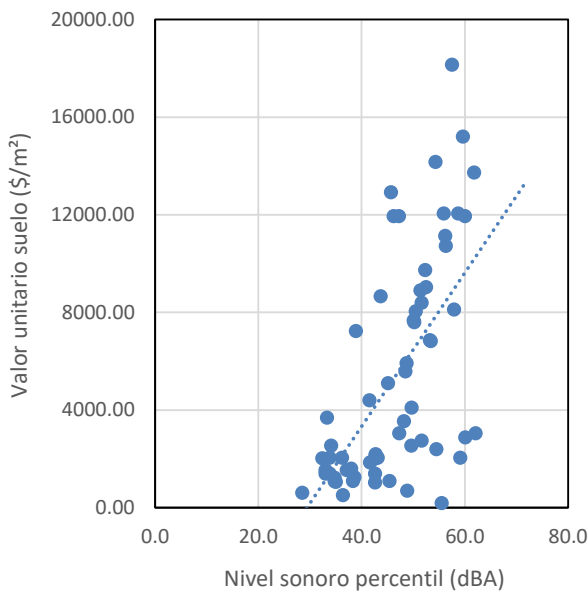
- Los niveles sonoros medidos permitieron la determinación y cálculo de diferentes parámetros e indicadores de niveles sonoros. Con estos parámetros se confeccionaron mapas de distribución en la superficie de la ciudad de Alta

Gracia, los que constituyen una importante herramienta para el análisis de la calidad ambiental de la ciudad desde el punto de vista de la contaminación sonora.

- Los niveles sonoros registrados se encuentran muy asociados al uso del suelo. Los mayores niveles sonoros se registraron en área industrial, los niveles intermedios en área administrativa comercial y los más bajos en área residencial. El porcentaje de tiempo en que es excedido el valor de nivel sonoro de referencia de 55dBA es mayor en zona industrial y menor en área residencial con valores intermedios en el área administrativa – comercial.



(a)



(b)

**Figura 8.** (a) Gráfico de dispersión para correlación entre valor unitario de la tierra y nivel continuo equivalente 24 horas. (b) Gráfico de dispersión para correlación entre valor unitario de la tierra y nivel percentil L95 (mejor  $r^2 = 0.6792$ )

- La mayoría de los parámetros de niveles sonoros analizados mostraron un patrón de distribución similar, registrándose los valores superiores en ubicación coincidente con el centro comercial administrativo de la ciudad y alrededor de la principal arteria de ingreso a la ciudad, disminuye hacia la periferia, sobre todo en dirección oeste y norte, donde se encuentran los barrios más nuevos, en desarrollo.
- El análisis de correlación entre los diferentes indicadores de niveles sonoros con la topografía indicó que la relación entre estos parámetros es muy débil.
- El análisis de correlación entre los diferentes indicadores de niveles sonoros con el valor unitario del terreno arrojó valores de coeficientes de determinación diversos, por lo que el indicador de nivel de ruido L95 es el que presenta mejor correlación con el valor unitario del terreno. Sin embargo, los valores del coeficiente de determinación son significativamente bajos.
- La correlación entre los indicadores de ruido y valor unitario de terreno muestra una correlación positiva, lo que indica que a mayor valor unitario de terreno mayores los valores de los indicadores de ruido registrados. Esto concuerda con el hecho de que los valores unitarios del suelo son mayores en el área del centro histórico – administrativo y comercial de la ciudad y los barrios inmediatos y disminuyen en la periferia. Si bien los barrios de mayor nivel económico se encuentran en la periferia, los lotes tienen un valor unitario de terreno inferior en coincidencia con los menores niveles de indicadores de ruido determinados.
- La correlación entre valor unitario de terreno e indicadores de ruido presenta una importante dispersión lo que indica la existencia de otros factores y variables que se deben considerar para explicar la variación de los valores en los indicadores de ruido.
- Por los valores de coeficientes de determinación obtenidos en los análisis, ni la topografía ni el valor unitario del terreno presentan un grado de correlación importante con los indicadores de nivel de ruido. En este sentido, lo más importante en la determinación de posible contaminación por ruido y generación de molestias (parámetro CR) estaría asociado a las actividades y uso del suelo permitido en cada sector de la ciudad (residencial, comercial o industrial).

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento parcial de la Municipalidad de la ciudad de Alta Gracia, del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Agencia Nacional de Promoción de la Ciencia y Tecnología (ANPCyT) y la Secretaría de Ciencia y

Técnica de la Universidad Nacional de Córdoba (SECyT-UNC). JDG agradece a CONICET por la beca de Doctorado. Los autores agradecen especialmente los aportes realizados por la Dra. Marcela Cioccale<sup>(†)</sup> quien falleció el pasado agosto del año 2024. Los autores le reconocen su compromiso, vocación, dedicación y amor por la docencia y la investigación.

## REFERENCIAS

- Albert, D.G., & Decato, S. N. (2017). Acoustic and seismic ambient noise measurements in urban and rural areas. *Applied Acoustics*, 119, 135-143. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.12.015>.
- Amores, M. C., Proaño, L. C., & Laborde, M. A. (2010). Indicador ambiental – acústico en la calidad de vida urbana de Guayaquil. *Yachana*, 6(3): 93–100. <http://revistas.ulvr.edu.ec/index.php/yachana/article/view/461>
- Aumond, P.; Can, A.; Mallet, V.; De Coensel, B.; Riberio, C.; Botteldoorem, D. & Lavandier, C. (2018). Kriging-based spatial interpolation from measurements for sound level mapping in urban areas. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 143, 2847; doi: 10.1121/1.5034799.
- Ausejo, M.; Recuero, M.; Asensio, C.; Pavón, I. & López, J.M. (2010). Study of Precision, Deviations and Uncertainty in the Design of the Strategic Noise Map of the Macrocenter of the City of Buenos Aires, Argentina. *Environ Model Asses.*, 15:125-135. doi 10.1007/s10666-009-9191-9.
- Barrigón-Morillas, J. M., Escobar, V. G., Carmona, J. T., Sierra, J. A. M., Vilchez-Gómez, R., & Río, F. J. C. del (2011). Analysis of the prediction capacity of a categorization method for urban noise assessment. *Applied Acoustics*, 72(10), 760-771. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2011.04.008>.
- Barrigón-Morillas, J. M., Montes González, D., & Rey-Gozalo, G. (2016). A review of the measurement procedure of the ISO 1996 standard. Relationship with the European Noise Directive. *Science of The Total Environment*, 565, 595-606. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.207>.
- Barrigón-Morillas, J.M.; Gómez-Escobar, V.; Méndez-Sierra, J.A.; Vilchez – Gómez, R. & Trujillo Carmona (2002). An environmental noise study in the city of Cáceres, Spain. *Applied Acoustics*, 63(10):1061-1070. [https://doi.org/10.1016/S0003-682X\(02\)00030-0](https://doi.org/10.1016/S0003-682X(02)00030-0).
- Bastián-Monarca, N.A.; Suárez, E. & Arenas, J.P. (2016). Assesment of methods for simplified traffic noise mapping of small cities: Casework of the city of Valdivia, Chile. *Science of the Total Environment*, 550: 439 – 448.
- Brocolini, L., Lavandier, C., Quoy, M., & Ribeiro, C. (2013). Measurements of acoustic environments for urban soundscapes: choice of homogeneous periods, optimization of durations, and selection of indicators. *Journal of the Acoustic Society of America*, 134(1), 813–821. doi: 10.1121/1.4807809.
- Brown A.L. & Lam, K.C. (1987). Urban Noise Surveys. *Applied Acoustics*, 20:23-39. [https://doi.org/10.1016/0003-682X\(87\)90081-8](https://doi.org/10.1016/0003-682X(87)90081-8).
- Brown, A.L. & Van Kamp, I. (2017). WHO Environmental noise guidelines for the European region: A systematic review of transport noise interventions and their impacts on health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. doi:10.3390/ijerph14080873.
- Chiarini, B., D’Agostino, A., Marzano, E., & Regoli, A. (2020). The perception of air pollution and noise in urban environments: A subjective indicator across European countries. *Journal of Environmental Management*, 263, 110272. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110272>.
- De Medeiros, A. F. D., Pimentel, R. L., De Melo, R. A., De Araújo, B. C. D., & Brasileiro, T. D. C. (2022). Investigation of traffic noise attenuation potential of an urban highway underpass. *Applied Acoustics*, 192, 108682 <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2022.108682>.
- De Souza, L. C. L., & Giunta, M. B. (2011). Urban indices as environmental noise indicators. *Computers, Environment and Urban Systems*, 35(5), 421-430. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2011.06.001>
- Di, G., Liu, X., Lin, Q., Zheng, Y., & He, L. (2012). The relationship between urban combined traffic noise and annoyance: An investigation in Dalian, north of China. *Science of the Total Environment* 432, 189 – 194. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.05.034>.
- Han, X., Huang, X., Liang, H., Ma, S., & Gong, J., (2018). Analysis of the relationships between environmental noise and urban morphology. *Environmental Pollution*, 233, 755-763. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.10.126>.
- Harman, B.I.; Koseoglu, H. & Yigit, C.O. (2016). Performance evaluation of IDW, Kriging and multiquadratic interpolation methods in producing noise mapping: A case study at the city of Isparta, Turkey. *Applied Acoustics*, 112, 147-157. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.05.024>.
- IRAM 4062 (2016). Norma Argentina. Ruidos molestos al vecindario: Métodos de Medición y calificación.
- Jáuregui, F. (2014). Regulación legal sobre la contaminación acústica producida por los medios de transporte público y privado en la ciudad de Juliaca. *Revista de Derecho*, 1(2), 29-38. <https://revistas.unap.edu.pe/rd/index.php/rd/article/view/3/3>
- Juárez, I.; Garzón, B. & Narváez, A.C. (2025). Evaluación subjetiva y calidad acústica en ejes urbanos de San Miguel de Tucumán. *Yachana*, 14(1): 142-157.
- Kalisa, E., Irankunda, E., Rugengamanzi, E., & Amani, M., (2022). Noise levels associated with urban land use types in Kigali, Rwanda. *Heliyon*, 8(9), e10653. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10653>.
- Khomenko, S., Niewenhuijsen, M., Ambròs, A., Wegener, S., & Mueller, N. (2020). Is a liveable city a healthy city? Health impacts of urban and transport planning in Vienna, Austria. *Environmental Research*.

- 183,109238.  
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109238>.
- Kogan, P.; Turra, B.; Arenas, P. & Hinalaf, M. (2017). A comprehensive methodology for the multidimensional and synchronic data collecting soundscape. *Science of the Total Environment*, 580:1068-1077.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.061>.
- Kogan, P.; Arenas, J.P.; Bermejo, F.; Hinalaf, M. & Turra, B. (2018). A green soundscape index (GSI): The potential of assessing the perceived balance between natural sound and traffic noise. *Science of the Total Environment*, 642:63-472.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.023>.
- Liu, Q.; Liu, Z.; Jiang, J. & Qi, J. (2020). A new soundscape analysis tool: Soundscape analysis and mapping system (SAMS). *Applied Acoustics*. 169:107457.  
<https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107454>.
- Lungman, T., Khomenko, S., Nieuwenhuijsen, S., Barboza, E.P., Ambròs, A., Padilla C.M., & Mueller N. (2021). The impact of urban and transport planning on health: Assessment of the attributable mortality burden in Madrid and Barcelona and its distribution by socioeconomic status. *Environmental Research*, 196, 110988.  
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110988>.
- Maristany, A.; López, M.R. & Rivera, C.A. (2016). Soundscape quality analysis by fuzzy logic: A field study in Córdoba, Argentina. *Applied Acoustics*, 111:106-115.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.04.013>.
- Maschke, C. (1999). Preventive medical limits for chronic traffic noise exposure. *Acustica*, 85(5), 448.
- Masum, M.H., Pal, S.K., Akhie, A.A., Ruva, I.J., Akter, N., & Nath, S. (2021). Spatiotemporal monitoring and assessment of noise pollution in an urban setting. *Environmental Challenges*. 5,100218.  
<https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100218>.
- Organización Internacional de Normalización (2016). *Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 1: Basic quantities and assessment procedures*. International Organization for Standardization ISO 1996-1, Switzerland. <https://www.iso.org/standard/59765.html>
- Organización Internacional de Normalización (2017). *Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 2: Determination of sound pressure levels*. International Organization for Standardization ISO 1996-2, Switzerland. <https://www.iso.org/standard/59766.html>
- Raimbault, M.; Lavandier, C. & Bérengier, M. (2003). Ambient sound assesment of urban environments: field studies in two French cities. *Applied Acoustics*, 64:1241-1256.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.061>.
- Raina, A.K., Soni, A. K., Vajre, R., & Sangode, A.G., (2022). Impact of topography on attenuation of noise from a cement plant in a hilly terrain. *Science of the Total Environment*, 835, 155532.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155532>.
- Rejano de la Rosa, M. (2000). *Ruido Industrial y Urbano*. Paraninfo Thompson Learning, Madrid, España.
- Robles, M.C., Martinez, C.F., & Boschi, C. (2019). Los espacios verdes como estrategia de mitigación de la contaminación sonora. Evaluación y análisis del parque O'Higgins de la ciudad de Mendoza - Argentina. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(4), 889-904. doi: [10.20937/RICA.2019.35.04.09](https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.04.09).
- Shalini, K., & Kumar, B. (2018). Study of road traffic Noise sound pressure levels in Varanasi city, India. *International Journal of Applied Engineering Research*, 13(8), 6248-6252.  
[https://www.ripublication.com/ijaer18/ijaerv13n8\\_88.pdf](https://www.ripublication.com/ijaer18/ijaerv13n8_88.pdf)
- Shorshani, M. F., Yin, X., McConnell, R., Furin, S., & Franklin, M., (2022). Estimating traffic noise over a large urban area: An evaluation of methods. *Environmental International*. 170, 107583.  
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107583>.
- Silva, L.T., & Mendez, J.F.G. (2012). City Noise-Air: An environmental quality index for cities. *Sustainable Cities and Society*, 4, 1 – 11.  
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2012.03.001>.
- Sommerhoff, J.; Recuero, M. & Suárez, E. (2004). Community noise survey of the city of Valdivia, Chile. *Applied Acoustics*, 65: 643-656.  
<https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2004.01.003>.
- Tsai, K. T., Lin, M. D., & Chen, Y. H. (2009). Noise mapping in urban environments: A Taiwan Study. *Applied Acoustics*, 70, 964-972.  
<https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2008.11.001>.
- Vladimir, M., & Madalina, C. (2019). Optimizing urban landscapes in regard to noise pollution. 12th International Conference Interdisciplinarity in Engineering. *Procedia Manufacturing*. 32:161-166.
- WHO (2011). Burden of disease from environmental noise quantification of healthy life years lost in Europe. WHO regional office for Europe and JCR european commission.  
<https://www.who.int/publications/i/item/burden-of-disease-from-environmental-noise-quantification-of-healthy-life-years-lost-in-europe>
- Wickramathilaka, N. & Ujang, U. (2023). 3D Kriging interpolation for traffic noise visualization: designing noise observation points and valuation of spatial interpolation accuracy. *International Graduate Conference of Built Environment and Surveying, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 1274. doi:10.1088/1755-1315/1274/1/012001.
- Yang, W., He, J., He, C., & Cai, M. (2020). Evaluation of urban traffic noise pollution based on noise maps. *Transportation Research Part D*. 87, 102516.  
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102516>.
- Zannin, P.H.T., Calixto, A., Diniz, F.B. & Ferreira, J.A.C. (2003). A survey of urban noise annoyance in a large Brazilian city: the importance of a subjective analysis in conjunction with an objective analysis. *Environmental Impact Assessment Review*, 23,245-255.  
[https://doi.org/10.1016/S0195-9255\(02\)00092-6](https://doi.org/10.1016/S0195-9255(02)00092-6).
- Zannin, P. H. T., Diniz, F. B., & Barbosa, W. A. (2002). Environmental noise pollution in the city of Curitiba,

Brazil. *Applied Acoustics*, 63(4), 351-358. [https://doi.org/10.1016/S0003-682X\(01\)00052-4](https://doi.org/10.1016/S0003-682X(01)00052-4).

Zuo, F., Li, Y., Johnson, S., Johnson, J., Varughese, S., Copes, R., Liu, F., Wu, H. J., Hou, R., & Chen H. (2014). Temporal and spatial variability of traffic-related noise in the City of Toronto, Canada. *Science of The Total Environment*, 472, 1100-1107. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.138>.

## BIOGRAFÍAS



**Marcos A., Montoro**, es Doctor en Ciencias de la Ingeniería, Magíster en Estructuras y Geotecnia e Ingeniero Civil. Actualmente es Profesor Titular en las carreras de Ingeniería Civil e Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de

Córdoba e Investigador Adjunto de CONICET. Fue Becario Fulbright en Universidad de Wisconsin (Madison – EEUU) y Director del Departamento de Construcciones Civiles de la FCFyN - UNC. Actualmente se desempeña como integrante de la Comisión Académica de las Carreras de Maestría en Cs. De la Ingeniería Mención Estructuras y Geotecnia y de la Maestría Profesional en Geotecnia.



**Iván E., Asinari**, es Ingeniero Ambiental graduado de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba. Durante el desarrollo de sus estudios participó en el desarrollo de trabajos en el grupo de Investigación en Medios

Porosos y Aguas Subterráneas de la FCFyN – UNC. Desde su graduación se desempeñó en la Secretaría de Ambiente de la Provincia de Córdoba.



**Julieta, De Goycochea**, es Ingeniera Ambiental graduada de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba. Durante el desarrollo de sus estudios participó en el desarrollo de trabajos en el grupo de Investigación en Medios

Porosos y Aguas Subterráneas de la FCFyN – UNC. Actualmente desarrolla sus estudios de Doctorado en Ciencias de la Ingeniería. Desde su graduación es

Becaria de CONICET. Fue becaria ELAP en la Universidad de Queens (Canadá).



Secretaría de Posgrado

**Marcela, Cioccale**, fue Geóloga y Doctora en Geología. Se desempeñó como Profesora Titular de la carrera de Geología de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba donde también desempeñó el cargo de



**Franco M., Francisca**, es Doctor en Ciencias de la Ingeniería e Ingeniero Civil. Actualmente es Profesor Titular en las carreras de Ingeniería Civil e Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba. Es

Investigador Principal de CONICET. Tuvo estancias de investigación en Georgia Institute of Technology (Atlanta EEUU) en dos oportunidades y fue becario Fulbright en la Universidad de Wisconsin (Madison EEUU). Ha desempeñado diversos cargos de gestión en la FCFyN y en la UNC. Actualmente es Secretario de Posgrado de la Universidad Nacional de Córdoba.

