



## Modelación del comportamiento de los niveles de ruido en el centro histórico de Trujillo 2025: Un estudio geoestadístico

Modelling the behaviour of noise levels in the historic center of Trujillo 2025: A geostatistical study

Yajaira M. Arias-Farro<sup>1</sup>, Luciana K. Avalos-Huamanchumo<sup>1</sup>, Matias J. Huertas-Cardenas<sup>1\*</sup>, Tatiana N. Torres-Alquizar<sup>1</sup>, Yerlin N. Rosas-Reyes<sup>1</sup>, Arnold K. Gutierrez Jara<sup>1</sup>, Julio D. Vigo-Arrigoni<sup>1</sup>, Jhonatan Y. Saldaña-Monzón<sup>1</sup>, Diane A. Sanchez-Briceño<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Escuela de Estadística, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n, Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú*

### Resumen

El presente estudio examinó la problemática de la contaminación sonora en el Centro Histórico de Trujillo, ya que los niveles de ruido sobrepasan las recomendaciones de la OMS, afectando la salud pública. Se empleó un diseño no experimental, prospectivo y transversal, con datos recolectados aleatoriamente en 36 de 78 nodos, utilizando un sonómetro calibrado durante tres horarios. La estimación de los niveles de ruido en puntos no muestreados se realizó mediante el método geoestadístico Kriging, seleccionando el modelo Bessel, el cual mostró el mejor ajuste. Los resultados indicaron niveles promedio de ruido entre 72 y 75 dBA, con un coeficiente de variación menor al 20% y una dependencia espacial entre 300 y 350 metros. Mediante mapas de calor, se identificó que áreas como la avenida España con los jirones Orbegoso, San Martín y Pizarro registraban niveles superiores a los 70 dBA, representando un riesgo significativo para la salud pública. El estudio concluyó que el modelo Bessel representa adecuadamente la distribución del ruido, destacando la utilidad de las herramientas geoestadísticas y proponiendo considerar la contaminación sonora como un riesgo para el patrimonio. Finalmente, se recomendó la implementación de áreas verdes, el monitoreo con tecnologías IoT, y políticas de control de tránsito.

**Palabras Clave:** Contaminación sonora, Centro Histórico de Trujillo, modelo Bessel, ruido urbano

### Abstract

This study examined the problem of noise pollution in the historic center of Trujillo, where noise levels exceed WHO recommendations, affecting public health. A non-experimental, prospective, cross-sectional design was used, with data collected randomly at 36 of 78 nodes using a calibrated sound level meter at three different times of day. Noise levels at unsampled points were estimated using the Kriging geostatistical method, selecting the Bessel model, which showed the best fit. The results indicated average noise levels between 72 and 75 dBA, with a coefficient of variation of less than 20% and a spatial dependence between 300 and 350 meters. Using heat maps, it was identified that areas such as Avenida España with streets Orbegoso, San Martín, and Pizarro recorded levels above 70 dBA, representing a significant risk to public health. The study concluded that the Bessel model adequately represents noise distribution, highlighting the usefulness of geostatistical tools and proposing that noise pollution be considered a risk to heritage. Finally, it recommended the implementation of green areas, monitoring with IoT technologies, and traffic control policies.

**Keywords:** Noise pollution, Historic Center of Trujillo, Bessel model, urban noise.

\* t1051001921@unitru.edu.pe (M. Huertas)

## 1. Introducción

La contaminación sonora hoy en día representa un gran problema ambiental que debe afrontar el mundo, especialmente en las zonas urbanas donde encontramos una gran presencia de población. La Organización Mundial de la Salud [OMS] (2011) indica que los niveles de ruido ambiental que son cercanos a los 70 dBA pueden afectar la salud de las personas, señalando que esta forma de contaminación es una de las principales en dichas zonas urbanas. A nivel nacional, el panorama no es distinto; según la Organización de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA] (2015) nos indica que el 90.21% de los 244 puntos evaluados en Lima Metropolitana sobrepasaron los límites de ruido permitido, registrando valores de hasta 84.9 dBA. Así mismo, otras ciudades como San Juan de Lurigancho han reportado niveles aún más altos, alcanzando los 86.5 dBA (Palacios et al., 2023). Esta realidad evidencia el gran problema que afrontamos y que compromete a la salud pública, la calidad de vida y el desarrollo de las ciudades peruanas, incluyendo a Trujillo.

Ignorar el problema del ruido ambiental puede generar efectos negativos en distintos ámbitos. En lo relacionado con la salud, estar expuesto constantemente a sonidos fuertes puede provocar problemas como dificultades para dormir, estrés continuo, pérdida de audición y enfermedades del corazón. En las escuelas, el ruido también afecta la enseñanza y el aprendizaje, especialmente en los niños y adolescentes, que son más sensibles a este tipo de entorno. Desde el punto de vista económico, este problema puede hacer que ciertas zonas pierdan valor, ya sea por menos turismo o por la disminución en el precio de las viviendas. En lugares históricos como el Centro de Trujillo, el ruido no solo daña el ambiente, sino que también pone en riesgo el patrimonio cultural y empeora la experiencia tanto de los residentes como de los visitantes. Si no se aplican medidas reales, como las planteadas en el Plan de Acción contra el Ruido del Decreto Supremo N.º 085 – 2003 – PCM, la población seguirá expuesta a este problema, lo cual dificulta avanzar hacia un entorno urbano más saludable y ordenado.

Existe una variedad de investigaciones científicas que han abordado la problemática de la contaminación sonora desde diferentes perspectivas. De primera mano, se ha recurrido al uso de sistemas de información geográfica (SIG) para la generación de los mapas de calor los cuales permiten una mejor apreciación de la distribución del ruido en ciudades como Bogotá, Santiago y Ciudad de México (Ramírez et al., 2020; Morales & Pinto, 2021; Gutierrez et al., 2022). Estos estudios nos dan evidencia de que el ruido urbano se concentra principalmente en zonas con alto tráfico vehicular y actividad comercial intensa, un patrón que también está bien identificado en áreas céntricas del Perú. Además, Cruz y Mendoza (2021) destacan que los mapas de calor son una herramienta importante para respaldar el diseño de diferentes estrategias públicas que estarían destinadas a disminuir los niveles de ruido. Sin embargo, la mayoría de estos trabajos se han enfocado principalmente en las grandes urbes o capitales, sin prestar suficiente atención a espacios intermedios con valor histórico, como el centro histórico de Trujillo.

A pesar del avance en la investigación sobre contaminación acústica en contextos urbanos, aún predomina la existencia de un vacío significativo del desconocimiento en relación con el comportamiento espacial del ruido en las ciudades más representativas del Perú. Como es el caso de Trujillo, caso específico con el que no se cuenta con investigaciones actualizadas

que utilicen técnicas geoestadísticas para modelar y representar gráficamente la distribución del ruido en el centro histórico. Esto genera problemáticas a nuestras autoridades locales, evitando que tomen buenas decisiones en favor de la comunidad. La investigación tiene como finalidad la solución de este problema mediante la elaboración de un modelo geoestadístico que permita visualizar los niveles de ruido en un mapa de calor, esto proporciona que la supervisión ambiental sea más precisa y consciente.

En este contexto, considerando las consecuencias que puede traer consigo altos niveles de ruido y el interés de conocer estos, se pretende evaluar el comportamiento geoestadístico de los niveles de ruido en el Centro Histórico de Trujillo en el año 2025. Estos niveles de ruido se caracterizaron monitoreando diferentes puntos georreferenciados, evaluando la estructura especial de los datos monitoreados a partir del variograma teórico, estimado los niveles de ruido en las áreas no muestreadas dentro del perímetro del Centro Histórico de Trujillo y construyendo mapas de calor para identificar los espacios geoestadísticos de mayores niveles de ruido dentro del perímetro del Centro Histórico de Trujillo.

### *Estado de Arte*

El ruido ambiental en las áreas urbanas se ha vuelto un asunto ecológico de creciente preocupación a nivel mundial. Sus repercusiones adversas afectan de manera directa la salud de la población, el bienestar de las comunidades y el balance de los ecosistemas en las ciudades. Numerosos estudios recientes han analizado este fenómeno desde diversas ópticas, abarcando la medición de los niveles sonoros, su efecto en la percepción de los residentes y las implicaciones tanto para la salud pública como para la vida silvestre en los entornos urbanos.

En Perú y Latinoamérica, la mayoría de las investigaciones coinciden en señalar el transporte vehicular como la principal fuente generadora de ruido ambiental, con niveles que frecuentemente exceden los límites normativos nacionales e internacionales. Por ejemplo, Gonzales (2023) documentó que, en Juliaca y Puno, los niveles de ruido oscilan entre 67.84 dBA y 83.86 dBA en zonas de alto tránsito, superando los límites permitidos y evidenciando una correlación positiva, aunque baja entre contaminación sonora y percepción ciudadana. Similarmente, Barrios (2025) en Puno encontró niveles promedio entre 51 y 79 dBA, con una percepción del ruido como problema significativo en más del 70% de los encuestados, manifestando síntomas como estrés y fatiga.

Estudios en otras ciudades peruanas refuerzan esta problemática. Serapio et al. (2020) identificaron en Chimbote que entre el 87.5% y 91.6% de las mediciones superan los límites permitidos, siendo las avenidas José Pardo y José Gálvez las más afectadas. Chávez (2017) en Celendín reportó niveles promedio equivalentes entre 64.1 y 81.9 dBA según el tipo de zona urbana, con un parque automotor desorganizado como causa principal, lo que genera un riesgo ambiental moderado. Palacios et al. (2021) en Ica mostraron que la percepción del ruido varía según edad, educación y años de residencia, siendo los jóvenes los que reportan mayor incomodidad.

La dimensión perceptual y los efectos en la salud han sido abordados en la región. Según Rojas-Sánchez et al. (2025), quienes realizaron un estudio sobre la asociación entre exposición sonora y calidad subjetiva del sonido, dando como resultado que, además de la intensidad, los factores individuales y sociales influyen en la percepción y en la calidad del sueño. Por otro lado, Espinoza et al. (2022) evidenciaron una alta correlación inversa entre la contaminación

acústica y el aprendizaje musical en estudiantes de Huánuco, enfatizando el impacto negativo del ruido en procesos educativos.

Desde el punto ecológico, según Brancaccio-Perez (2004) evidencio en su investigación que los niveles de ruido superiores a los 70 dBA influyen de manera negativa en el proceso de alimentación de los colibríes especialmente en zonas urbanas y esto nos lleva a reflexionar que esta problemática genera impactos negativos sobre la biodiversidad y el equilibrio de los ecosistemas en las ciudades.

Según los autores, Lan et al. (2024) y Liu et al. (2025) realizaron propuestas innovadoras en el monitoreo o vigilancia del ruido mediante dispositivos móviles o electrónicos, Internet de las cosas (IoT) y técnicas de interpolación espacial, de tal manera que facilita un seguimiento continuo y en tiempo real del ruido ambiental. Además, Hipólito et al. (2018) en su investigación presentó como propuesta un sistema de vigilancia y monitoreo en Ciudad de México, fomentando la participación comunitaria ambiental.

En una investigación reciente hecha en Bulgaria, Helbich y su equipo (2025) usaron herramientas modernas como el aprendizaje automático y modelos de regresión para crear mapas sobre el ruido que causa el tráfico. Gracias a este estudio, se pudo reconocer qué factores humanos influyen más en el problema, y también se descubrió que casi el 97% de la gente vive expuesta a niveles de ruido que podrían afectar su salud.

En la investigación planteada por Días Olivera et al. (2022) se nos presenta soluciones más naturales o amigables con el ambiente, donde a través de la implementación de infraestructuras verdes, las cuales vendrían a ser árboles, arbustos etc. Se consigue reducir la contaminación sonora entre 1.7 y 14.8 dBeq, lo que resalta la gran importancia que lleva el generar planos o diseños urbanos con áreas verdes para mejorar la calidad sonora.

Investigaciones realizadas en Europa y América Latina destacan la importancia de mejorar las normativas, la vigilancia y la educación pública acerca del ruido ambiental. Correa (2022) en Cajamarca enfatiza la falta de estudios previos en la región y la necesidad urgente de implementar políticas públicas efectivas. Guijarro y colaboradores (2015) en Ecuador demostraron que las concentraciones máximas durante el día y la noche superan los límites establecidos, mientras que Ramírez (2015) en Chimbote conecta la polución acústica con el uso excesivo del claxon y la cantidad de vehículos presentes.

Finalmente, Navarrete (2019) aporta un análisis jurídico que señala la necesidad de interpretar adecuadamente la legislación penal sobre contaminación sonora para asegurar su eficacia y legitimidad, destacando la importancia de integrar enfoques multidisciplinarios para abordar el problema desde la técnica, la percepción social y el marco normativo.

## **2. Metodología**

### **2.1 Diseño y tipo de investigación**

Según Hernández y Mendoza (2018) el diseño de investigación del presente trabajo fue no experimental porque solo se procesarán los datos recolectados sin ninguna intervención por parte del equipo investigador.

Según Méndez-Ramírez et al. (2017) este estudio fue prospectivo, transversal, comparativo y observacional. Es prospectivo porque se planificó la recopilación de los datos después de la planificación del presente trabajo. Es un estudio de corte transversal porque los

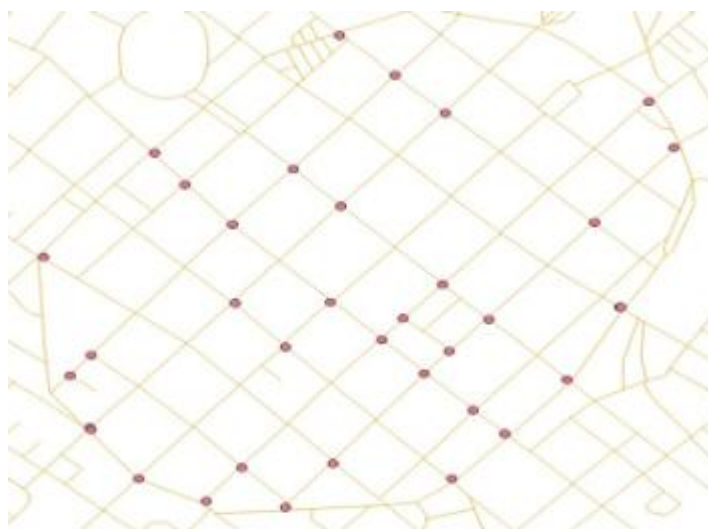
datos fueron recolectados en un periodo específico de tiempo, y comparativo debido a que se analizó y comparó sonidos captados en diferentes puntos de la ciudad, con el fin de encontrar diferencias notables entre los datos analizados, por último, se consideró un estudio exploratorio porque no se modificaron los parámetros de medición.

## 2.2 Población y muestra

La población objetivo del estudio estuvo conformada por los 78 nodos de tráfico vehicular debidamente identificados dentro del Centro Histórico de Trujillo. A partir de esta población, se seleccionó aleatoriamente una muestra de 36 puntos georreferenciados, los cuales fueron representados en un mapa cartográfico del área de estudio.

### *Figura 1*

Mapa cartográfico del centro histórico de Trujillo, 2025



El tamaño de muestra fue calculado aplicando la formula del muestreo aleatorio simple para variables cuantitativas cuando la población es finita. Se utiliza para determinar el tamaño de la muestra ( $n$ ) necesario para estimar un parámetro con un nivel de precisión deseado (Gutiérrez et al, 2016). Se asumió un error de muestreo ( $E$ ) calculado como el 3% de la media, un nivel de confianza del 99% en tanto que la media y la desviación estándar fueron obtenidos de los resultados de la investigación desarrollada por Rubio et al (2019).

## 2.3 Instrumento y técnica de recolección

El proceso de recolección se efectuó mediante un sonómetro digital con buena precisión, calibrado según los lineamientos de la Comisión Electrónica Internacional, con un margen error de 1 dBA (Grubesa et al., 2018). La técnica utilizada fue la observación estructurada, aplicada en nodos estéricos durante 3 horarios del día (7:00hs; 13:00hs; 19:00hs) a lo largo de la semana. La información fue documentada, en una base de datos diseñada para registrar las mediciones del sonómetro. La recopilación de datos fue realizada por estudiantes universitarios del IX ciclo de la carrera de estadística.

La principal variable de observación fue la contaminación sonora, expresada en la medida “dBA”, que alude a la intensidad del sonido con ponderación A, fue tratada como variable respuesta dentro de este análisis geoestadístico.

## 2.4 Métodos de análisis de datos

El análisis estadístico se realizó mediante interpolación espacial con el método de Kriging ordinario, utilizando el software Rstudio versión 4.4.3. En primer lugar, se construyó el variograma empírico, definido por la siguiente expresión:

$$\gamma(h) = \frac{\sum [Z(x) - Z(x+h)]^2}{2n(h)}$$

Donde  $\gamma(h)$  representa la semivarianza para una distancia  $h$ ,  $Z(x)$  es el valor de ruido en una ubicación  $x$  y  $n(h)$  es el número de pares de observaciones separadas por la distancia  $h$ . Esta herramienta permitió identificar la dependencia espacial entre los puntos observados. Luego, se procedió al ajuste del variograma teórico mediante el método exponencial, representado por la formula:

$$\gamma(|h|) = c[1 - e^{-\alpha|h|}]; \text{ para } h \geq 0$$

Donde  $c$  es la meseta o sill (expresada en dB2),  $\alpha$  es el rango (metros) que indica la distancia a partir de la cual los datos dejan de estar correlacionados, y  $h$  es la distancia entre observaciones. La elección del modelo se basó en criterios de ajuste como el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y la suma ponderada de residuos al cuadrado.

Con el modelo ajustado, se aplicó el Kriging ordinario para estimar los niveles de ruido en puntos no muestreados, según la siguiente expresión:

$$Z^*(X_0) = a + \sum_{a=1}^n \lambda_a Z(X_a)$$

Donde  $Z^*(X_0)$  es el valor estimado en una ubicación no muestreada  $X_0$ ,  $Z(X_a)$  son los valores observados en las ubicaciones conocidas  $X_a$ , y  $\lambda$  son los pesos asignados a cada observación, calculados de forma que la estimación sea insesgada y con varianza mínima. En este modelo, se asume que la media es constante pero desconocida, por lo cual se estiman los valores sólo a partir de las diferencias espaciales.

Como punto final se efectuó una validación cruzada para conseguir un modelo con mayor precisión, recurriendo a usos métricos como del error cuadrático medio (RMSE), el error absoluto medio (MAE) y por último el sesgo, para la visualización de los resultados se recurrió a mapas de calor, provenientes de los paquetes `gstat`, `sp`, `sf`, `ggplot2` de la librería de R, que nos permiten una representación espacial más nítida sobre las zonas con mayor contaminación acústica.

## 2.5 Consideraciones éticas

En el presente estudio se garantizó el cumplimiento de los principios éticos establecidos para la investigación científica en Perú (Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica [CONCYTEC], 2019). Dado que la recolección de datos se centró exclusivamente para la medición de niveles de presión sonora (decibeles) mediante el uso de un sonómetro, sin intervenir directamente sobre personas ni recopilar información personal, no se adquirió el consentimiento informado individual. Sin embargo, en los casos en las que las mediciones se realizaron en espacios compartidos, no se interfirió en las actividades, ni se registró información identificable. Todo el procedimiento se llevó a cabo respetando los principios de respeto, responsabilidad y confidencialidad ambiental, en concordancia con las normas éticas vigentes.

## 3. Resultados

**Tabla 1**

*Caracterización de los niveles de ruido por día y hora de monitoreo en el Centro Histórico de Trujillo, 2025*

Día	Hora	Promedio	Mínimo	Máximo	Desv. Estándar	Coef. Variación
Lunes	7:00 a.m.	72.1	58	82	5.45	7.57
	13:00 p.m.	73.8	64	82	3.97	5.37
	19:00 p.m.	74.6	62	84	5.03	6.75
Martes	7:00 a.m.	72.4	60	79	4.67	6.45
	13:00 p.m.	75.5	61	85	5.23	6.92
	19:00 p.m.	73.3	62	84	4.44	6.06
Miércoles	7:00 a.m.	73.9	58	85	6.71	9.08
	13:00 p.m.	74.7	59	82	5.46	7.31
	19:00 p.m.	75.1	60	87	6.58	8.76
Jueves	7:00 a.m.	73.8	51	81	6.88	9.33
	13:00 p.m.	74.9	67	83	4.08	5.45
	19:00 p.m.	75.6	61	85	5.28	6.98
Viernes	7:00 a.m.	72.8	61	86	6.23	8.55
	13:00 p.m.	73.6	64	82	4.17	5.66
	19:00 p.m.	75.1	64	89	4.82	6.41

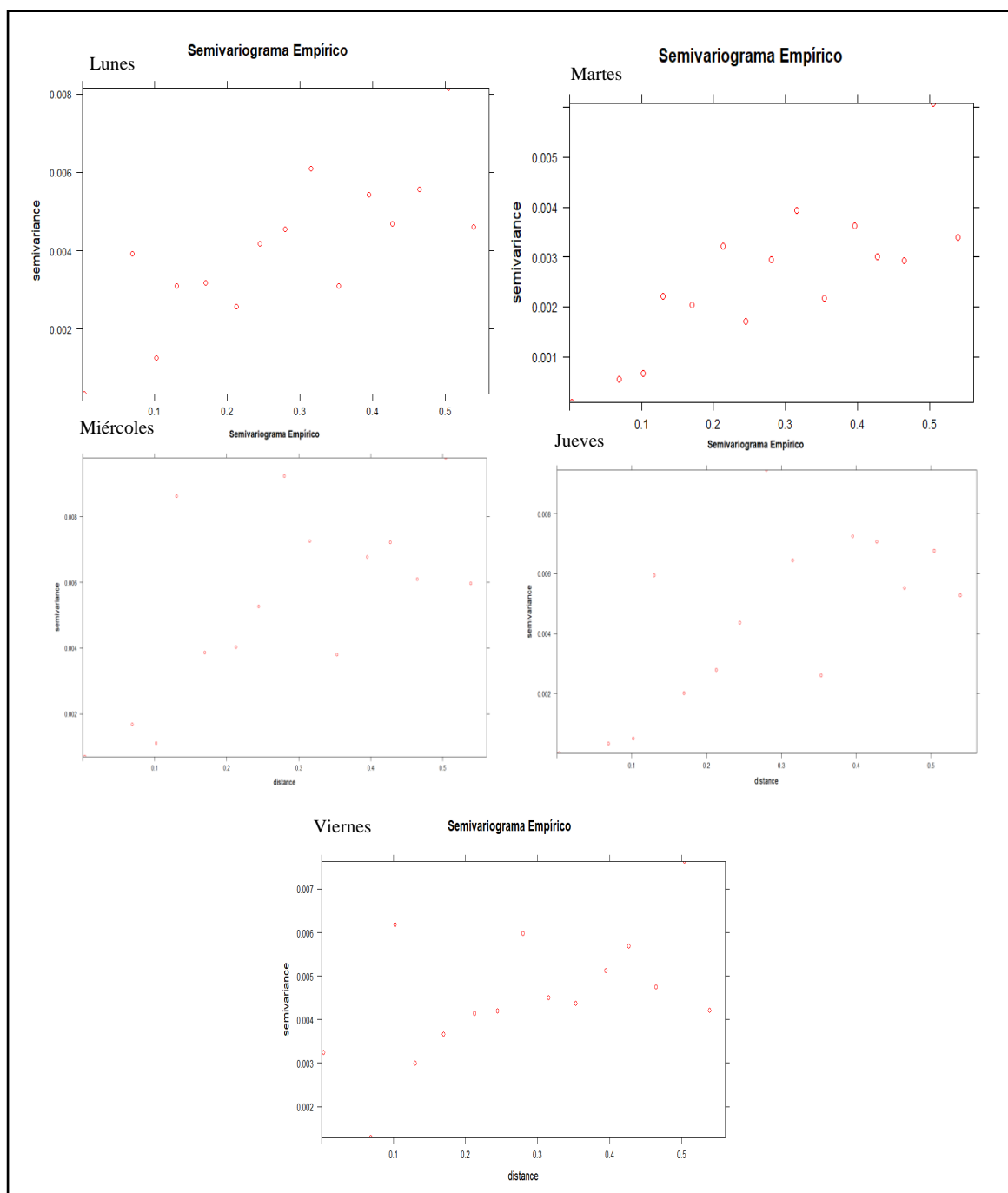
*Nota:* Datos monitoreados procesados con R 4.5.1

En la tabla 1 los coeficientes de variación (CV) son menores al 20%, lo cual indica que los datos presentan poca dispersión en relación con sus promedios. Esto sugiere que la muestra es bastante consistente y confiable. Se puede observar que el mayor CV se da el lunes a las 7:00 am (7.57%), posiblemente por la variabilidad del tráfico al inicio de semana. En cambio,

los valores más bajos se encuentran, por ejemplo, el martes a las 7:00 p.m. (5.61%), lo que podría reflejar una mayor estabilidad en ese horario. En general, los niveles de ruido no presentan grandes fluctuaciones entre días ni entre franjas horarias, lo que indica que el comportamiento del ruido ambiental en el centro Histórico de Trujillo durante mayo de 2025 fue relativamente estable.

### Figura 2

Variograma empíricos del nivel de ruido del lunes a viernes a las 07:00 am en el Centro Histórico de Trujillo.



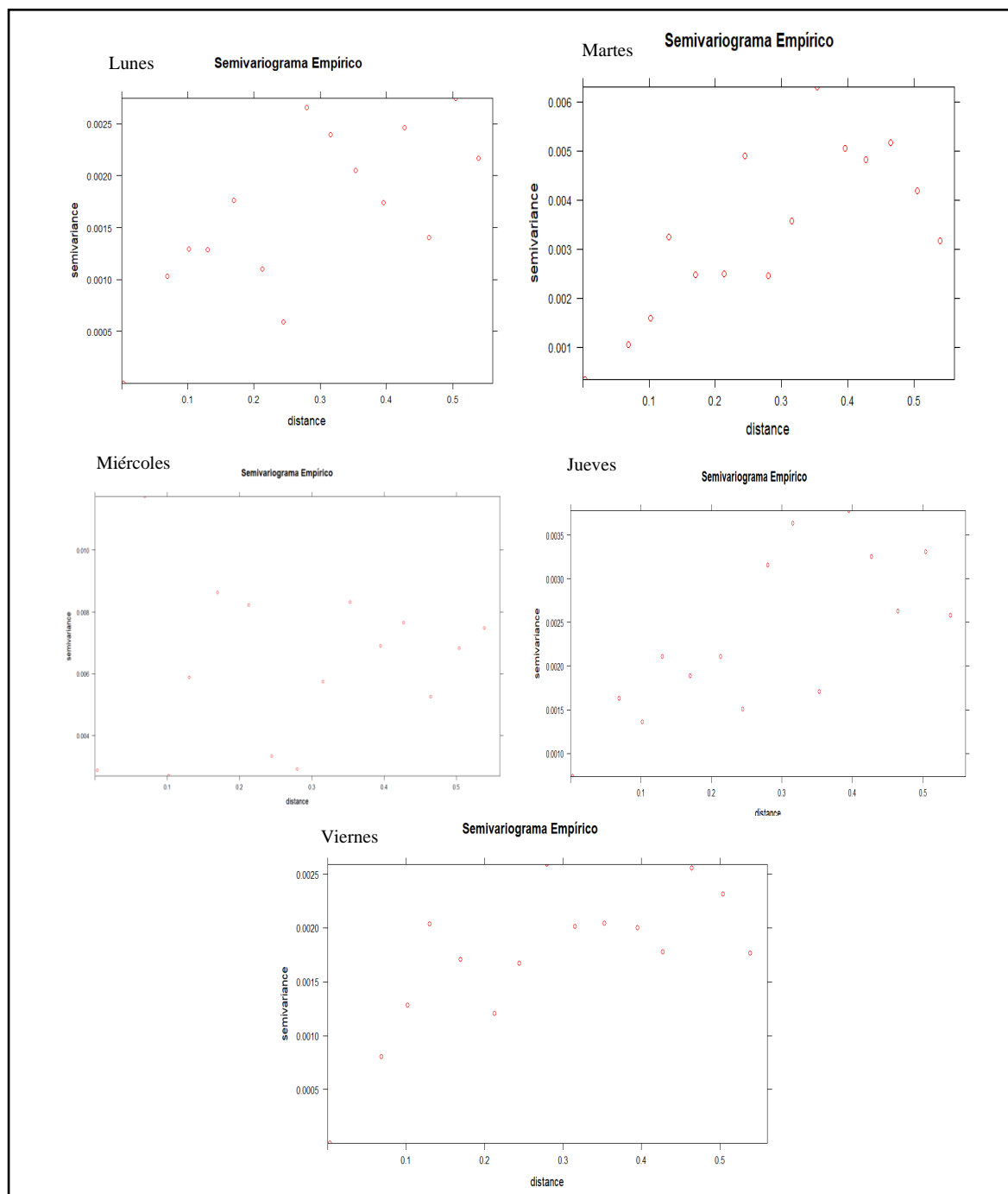
Nota: Datos procesados con R 4.5.1



En la Figura 2 se visualiza que los lugares que están cerca entre si tienden a tener niveles parecidos de ruido y esa relación se mantiene hasta unos 350 metros de distancia. Al pasar esa distancia, el ruido ya no está relacionado y varía de forma aleatoria. El viernes y martes presentan mayor variación en el ruido lo que sugiere que esos días hay más movimientos en la ciudad a las 7:00 a.m.

### Figura 3

Variogramas empíricos del nivel de ruido del lunes a viernes a las 13:00 pm en el Centro Histórico de Trujillo

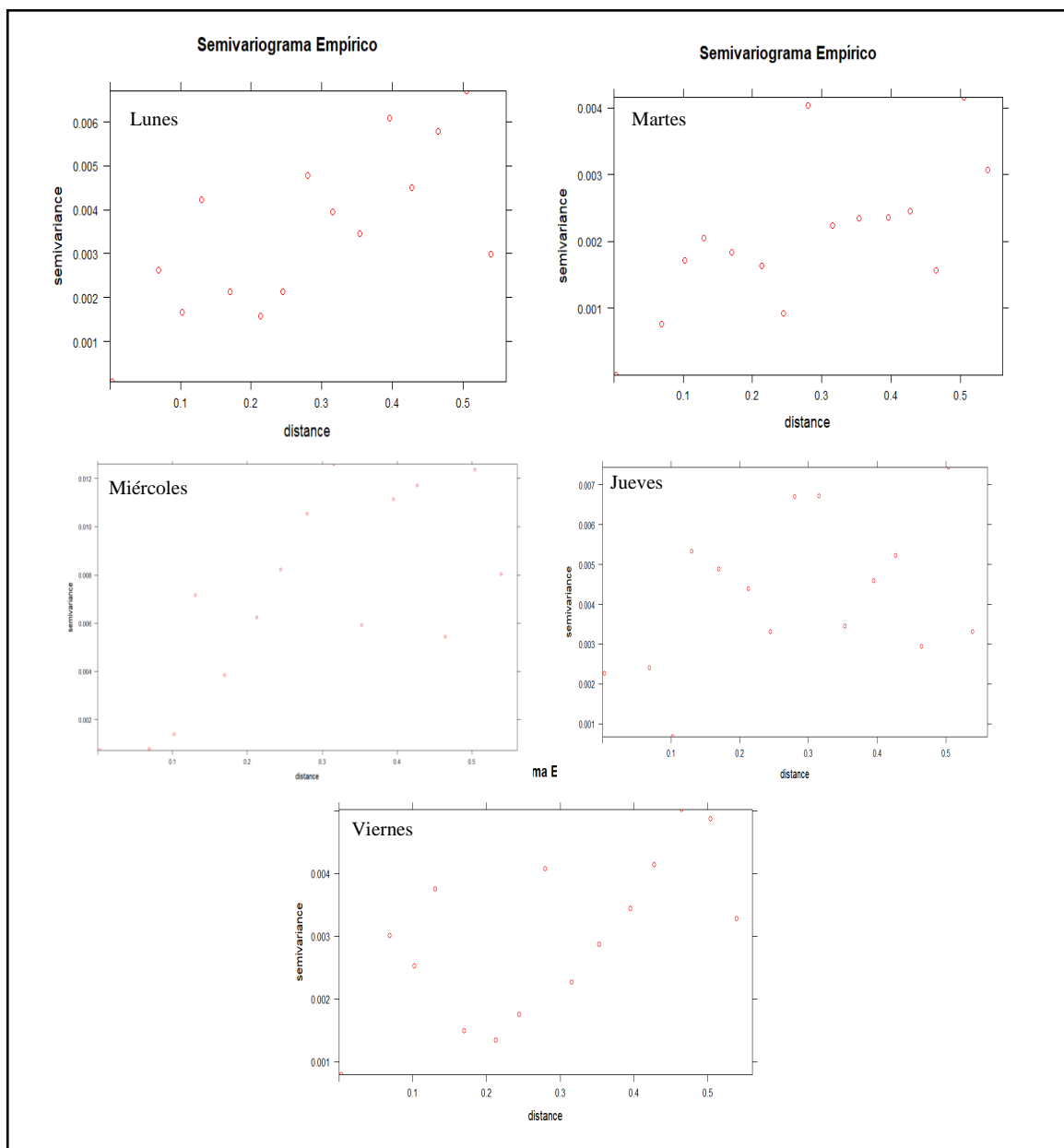


Nota: Datos procesados con R 4.5.1

En la figura 3, los cinco variogramas muestran un patrón parecido, los puntos que están a menos de unos 300 – 350 metros mantienen niveles de ruido similares, pasada esa distancia, el ruido ya cambia sin relación con la cercanía. El nivel total de variación es mayor el martes, seguido de lunes y viernes, lo que sugiere que hay más tráfico a esa hora lo que se puede deber a que es hora en la que salen los escolares y las personas salen a almorzar.

#### Figura 4

Variogramas empíricos del nivel de ruido del lunes a viernes de las 19:00 pm en el Centro Histórico de Trujillo.



Nota: Datos procesados con R 4.5.1

En la figura 4, el lunes y sobre todo el jueves los niveles del ruido aumentan, indicando un ambiente acústico más diverso por el tráfico, esto debido a que los escolares salen de sus centros de estudios, y se acaban la jornada laboral y se trasladan a sus domicilios.

**Tabla 2**

*Sumas ponderadas de cuadrados y R cuadrado de modelos de ajuste de variograma para el Centro Histórico de Trujillo, los lunes y martes*

Día	Hora	Modelo	Suma Ponderada de cuadrados	R <sup>2</sup>	Día	Hora	Modelo	Suma Ponderada de cuadrados	R <sup>2</sup>
Lunes	7:00 a.m.	Exponencial	30.908	0.4485	Miércoles	7:00 a.m.	Exponencial	34.4476	0.0312
		Gaussiano	76.3868	0			Gaussiano	77.5525	0.0000
		Esférico	61.9403	0.4477			Esférico	34.2609	0.0814
		Matérn	20.3264	0.4738			Matérn	33.333	0.1536
		Stein	20.8856	0.4733			Stein	33.445	0.1415
		Bessel	20.0371	0.4743			Bessel	35.9122	0.1221
	1:00 p.m.	Exponencial	22.052	0.3389		1:00 p.m.	Exponencial	21.0376	0.0125
		Gaussiano	70.4375	0.1737			Gaussiano	20.9483	0.0000
		Esférico	23.7282	0.3211			Esférico	21.1369	0.0133
		Matérn	21.9689	0.3421			Matérn	319.2037	0.0000
		Stein	21.9182	0.3405			Stein	22.3891	0.0243
		Bessel	21.833	0.338			Bessel	24.9589	0.0000
	7:00 p.m.	Exponencial	36.0035	0.3221		7:00 p.m.	Exponencial	36.8636	0.3515
		Gaussiano	83.5401	0			Gaussiano	172.5499	0.0000
		Esférico	54.8281	0.3487			Esférico	46.8831	0.4006
		Matérn	35.0757	0.3406			Matérn	36.8628	0.3515
		Stein	35.8349	0.3393			Stein	30.492	0.3474
		Bessel	33.6767	0.3451			Bessel	87.5578	0.3674
Martes	7:00 a.m.	Exponencial	26.4441	0.4252	Jueves	7:00 a.m.	Exponencial	48.8562	0.2475
		Gaussiano	186.756	0			Gaussiano	130.2613	0.1263
		Esférico	33.3915	0.4096			Esférico	46.7249	0.2749
		Matérn	26.1673	0.4364			Matérn	48.8403	0.2476
		Stein	26.0386	0.4281			Stein	47.8888	0.2502
		Bessel	27.0591	0.3999			Bessel	52.9805	0.2484
	1:00 p.m.	Exponencial	25.623	0.3418		1:00 p.m.	Exponencial	31.102	0.0000
		Gaussiano	95.3906	0			Gaussiano	56.2484	0.0000
		Esférico	52.6052	0.389			Esférico	24.2565	0.0184
		Matérn	25.6277	0.3419			Matérn	45.6726	0.356
		Stein	20.3652	0.3474			Stein	15.2858	0.3515
		Bessel	19.2743	0.3582			Bessel	14.9636	0.3611
	7:00 p.m.	Exponencial	33.4202	0.256		7:00 p.m.	Exponencial	37.5378	0.0000
		Gaussiano	76.8459	0.0847			Gaussiano	65.513	0.0000
		Esférico	37.4409	0.1846			Esférico	34.2479	0.0056
		Matérn	323.468	0			Matérn	41.6455	0.0614
		Stein	33.626	0.28			Stein	31.5206	0.0575
		Bessel	33.2422	0.2628			Bessel	31.5446	0.0642

**Tabla 3**

*Sumas ponderadas de cuadrados y R cuadrado de modelos de ajuste de variograma para el Centro Histórico de Trujillo, el viernes*

Día	Hora	Modelo	Suma Ponderada de cuadrados	R <sup>2</sup>
Viernes	7:00 a.m.	Exponencial	30.9242	0.0000
		Gaussiano	65.0379	0.0000
		Esférico	24.2314	0.0002
		Matérn	15.7069	0.3627
		Stein	15.2982	0.3619
		Bessel	15.4699	0.3644
	1:00 p.m.	Exponencial	10.8104	0.2426
		Gaussiano	62.0361	0.0000
		Esférico	10.5884	0.1879
		Matérn	10.3281	0.2552
		Stein	10.6995	0.2473
		Bessel	12.6789	0.1155
	7:00 p.m.	Exponencial	43.6874	0.0000
		Gaussiano	45.192	0.0000
		Esférico	37.6494	0.0153
		Matérn	325.4752	0.0000
		Stein	30.0742	0.0606
		Bessel	27.3044	0.2454

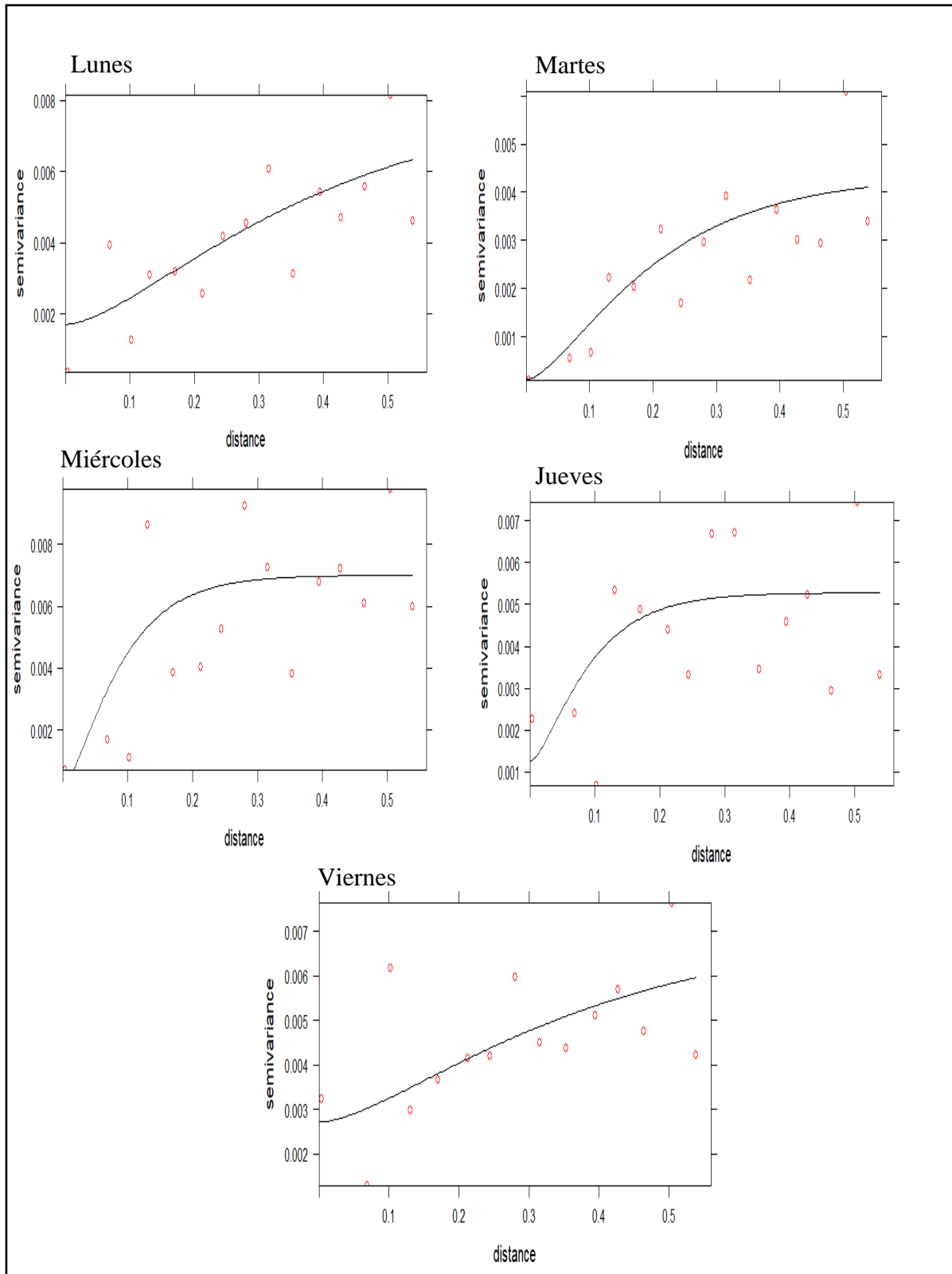
Se eligió el modelo Bessel para todas las combinaciones de día y hora porque, en general, presentó los mejores o más consistentes resultados al combinar una baja suma ponderada de cuadrados con valores de R<sup>2</sup> moderados a aceptables, superando a los demás modelos en varios momentos clave, especialmente en las mañanas y tardes. Aunque en algunos casos su ajuste fue limitado, Bessel ofreció un balance adecuado entre precisión y estabilidad, lo que justifica su uso como el modelo preferido para representar la variabilidad espacial diaria.

En la figura 5, los puntos rojos representan la semivarianza experimental y la línea negra el modelo teórico Bessel ajustado, donde observamos que el día martes y jueves la línea se aplanan al aumentar la distancia, lo que indica que los valores dejan de parecerse entre sí cuando están muy separados. Por otro lado, el lunes y viernes muestran un aumento continuo lo que indica que hay menos diferencia entre los puntos sigue creciendo con la distancia, por ello el modelo de Bessel resulta adecuado para capturar la variabilidad espacial en los distintos días de la semana.

**Figura 5**

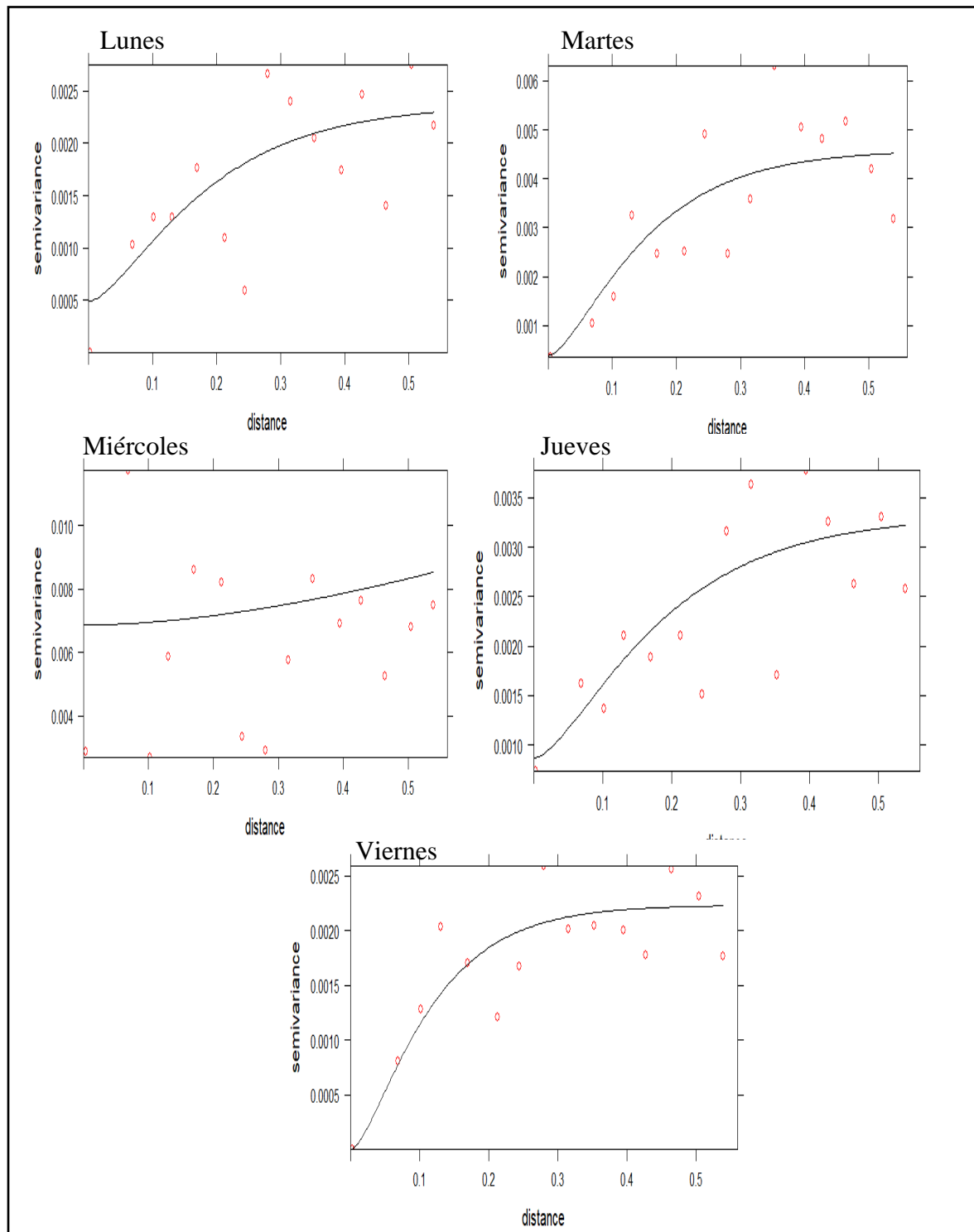
Variograma con modelo Bessel de lunes a viernes a las 7: 00 am.

*Nota:* Datos procesados con R 4.5.1



**Figura 6**

Variograma con el modelo Bessel de lunes a viernes a la 1:00 pm.

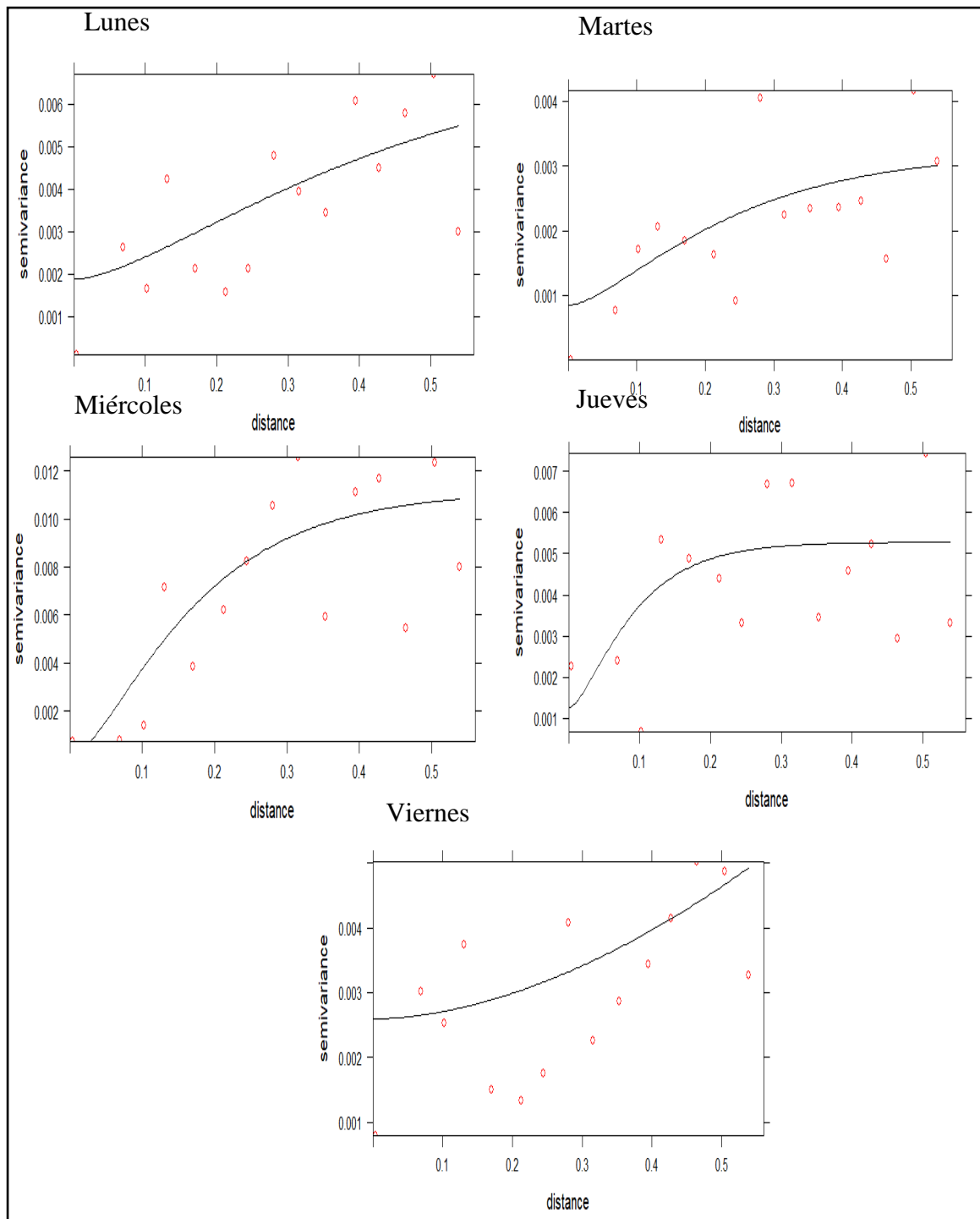


Nota: Datos procesados con R 4.5.1

En la figura 6, se observa que el martes, jueves y viernes presentan curvas que se estabilizan, indicando que después de cierta distancia los valores dejan de estar relacionados, mientras que lunes y miércoles muestran un crecimiento más lineal, lo que indica menor dependencia espacial.

**Figura 7**

Variograma con el modelo Bessel de lunes a viernes a las 7:00 pm.

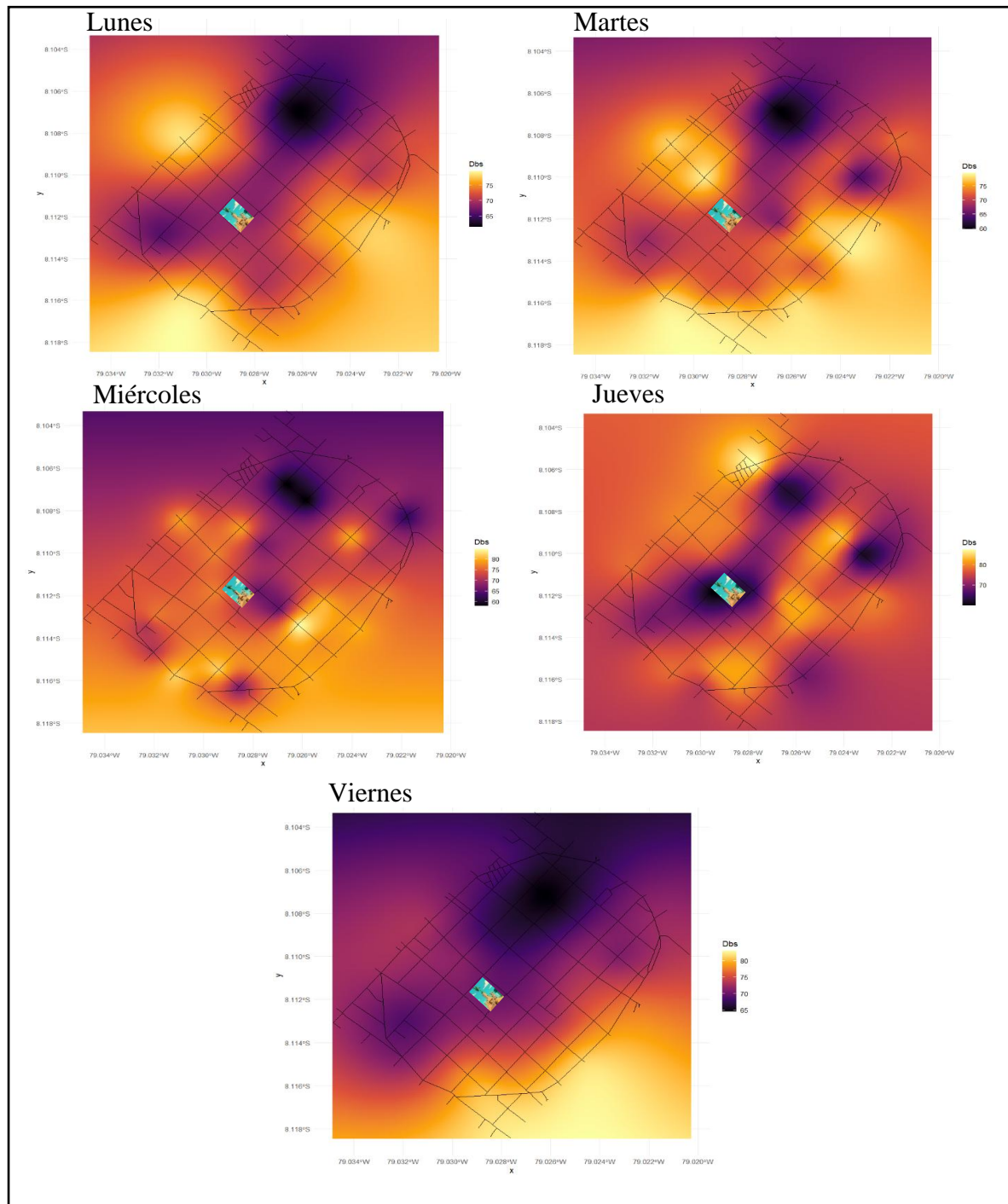


*Nota:* Datos procesados con R 4.5.1

En la figura 7, el miércoles y jueves presentan curvas que se estabilizan rápidamente, lo que indica que la similitud entre los datos disminuye hasta cierto punto y luego se mantiene constante, mientras que lunes, martes y viernes muestran un crecimiento progresivo lo que sugiere una variación más débil con la distancia.

**Figura 8**

*Mapa de interpolación espacial Kriging para el lunes a viernes a las 7: 00 am.*

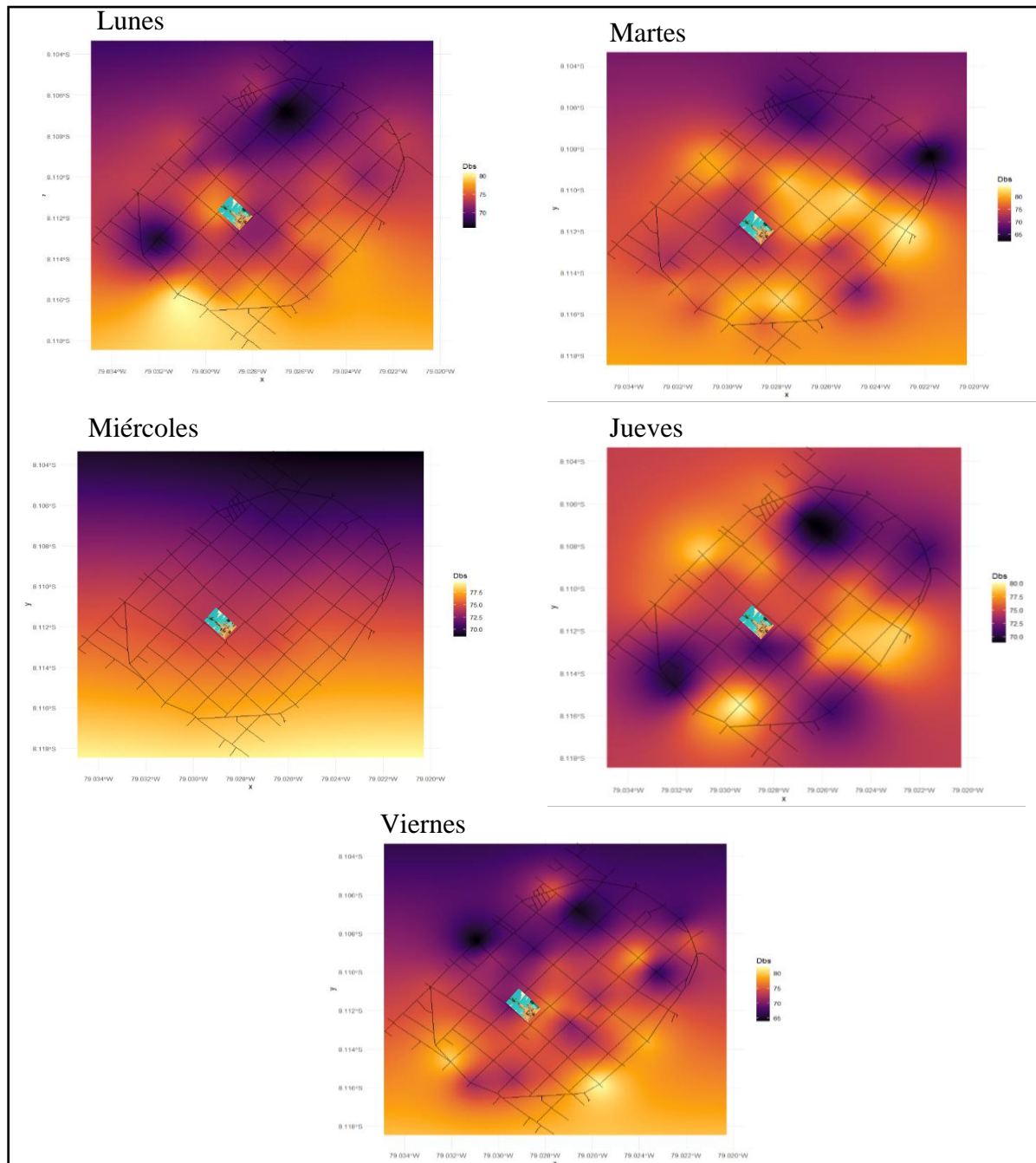


En la figura 8, podemos observar que se estima que existe un alto nivel de ruido en tres puntos resaltantes, los cuales según las coordenadas se encuentran entre la avenida España con Jirón Orbegoso, Jirón Gamarra, Jirón San Martín, los cuales coinciden en que ambos puntos ya sea para la entrada al centro histórico de Trujillo como para la salida presentan altos niveles de ruido, además en lo que respecta al Jirón Francisco Pizarro con la avenida España también presenta altos niveles de ruido, pero lo cual se debe a que sale a una avenida que podríamos considerar principal la cual es la avenida Larco la que es muy concurrida.



**Figura 9**

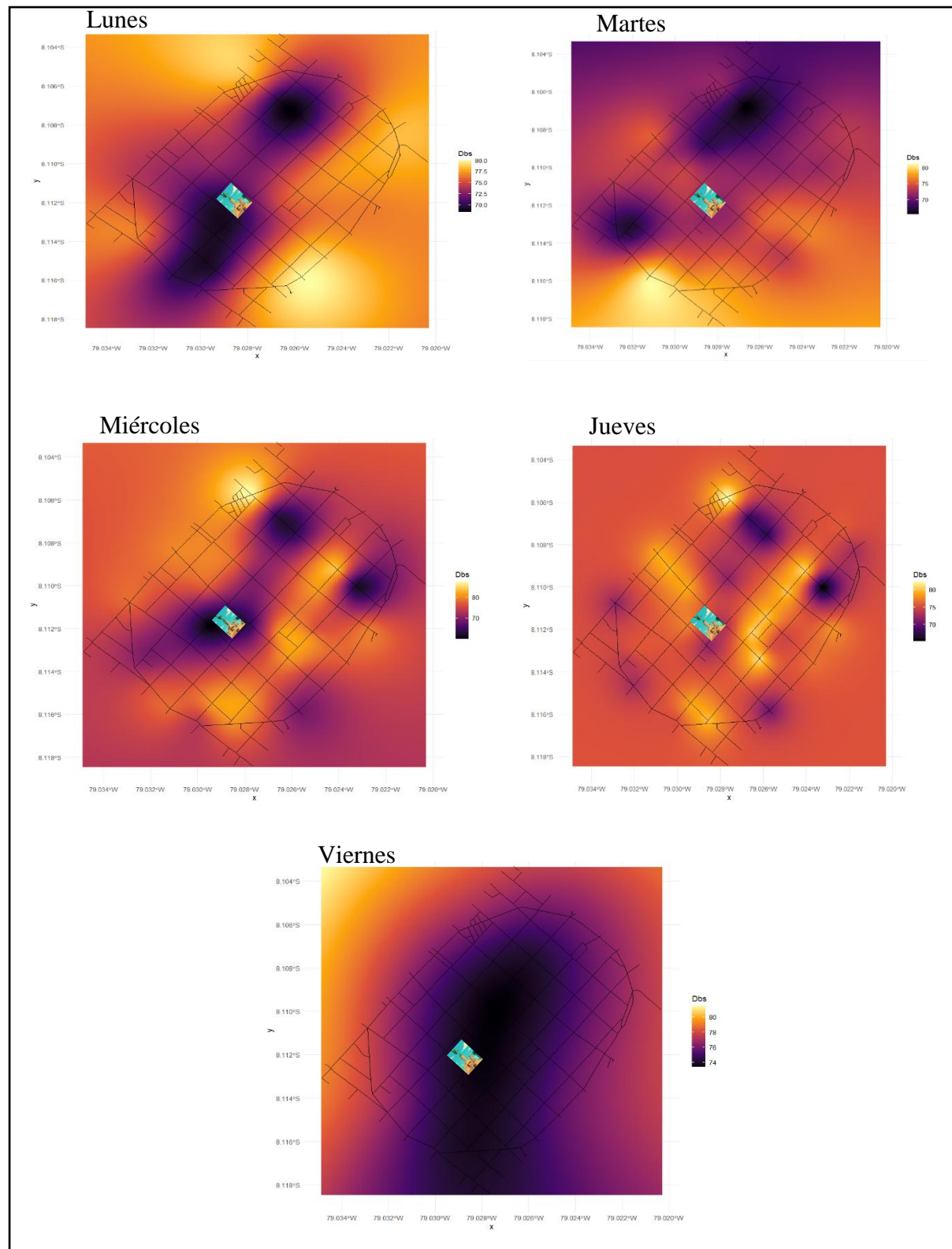
Mapa de interpolación espacial Kriging para el lunes a viernes a la 1:00 pm.



En la figura 9, podemos observar que se estima que existe un alto nivel de ruido en dos puntos resaltantes, además de diferentes calles por los alrededores de la plaza de armas de Trujillo, en los cuales según las coordenadas se encuentran entre la avenida España con Jirón Orbegoso, Jirón Gamarra, Jirón, los cuales dado que la calle tiene entrada y salida del centro histórico de Trujillo, pero tomando de punto de referencia el centro comercial boulevard esa zona presenta altos niveles de ruido, además en lo que respecta nuevamente al Jirón Francisco Pizarro los altos niveles de ruido se deben deber a que sale a una avenida que podríamos considerar principal la cual es la avenida Larco la que es muy concurrida.

**Figura 10**

Mapa de interpolación espacial Kriging para el lunes a viernes a las 7:00 pm.



En la figura 10, podemos observar que no se evidencia demasiado ruido por los mismo puntos que los anteriores horarios, aparte de estar más distribuido por varias zonas por la plaza de armas de Trujillo y en algunos días por el Jirón Francisco Pizarro, pero en otros días no se presentan niveles muy alto de ruido tomando en cuenta los demás puntos del centro de Trujillo, pero si consideramos la medidas aceptables de ruido estos siguen excediendo dichos niveles pero no se puede apreciar demasiado dado que en todo el centro aumento el ruido en forma general.

#### 4. Discusión

El presente estudio, tuvo como propósito modelar el comportamiento geoestadístico de los niveles de ruido en el centro Histórico de Trujillo durante el año 2025. La población de estudio estuvo conformada por 78 nodos identificados en la zona de estudio, seleccionando aleatoriamente una muestra de 36 puntos georreferenciados. Los resultados muestran que el modelo que mejor se ajusta a los datos es de tipo Bessel, para cada horario y cada día evaluado, permitiendo describir adecuadamente la dependencia espacial y realizar predicciones más precisas de la distribución del ruido acústico.

En cuanto a la validez interna, se hace referencia que las mediciones del ruido se realizaron durante cinco días consecutivos y en tres momentos al día (7:00 am, 13:00 pm, 19:00 pm) utilizando en todo momento el mismo aplicativo, lo que garantiza la consistencia de los datos recopilados. Sin embargo, es conveniente mencionar que el ruido fue medido a través de un aplicativo móvil, cuya precisión puede estar sujeta a ciertas limitaciones. No obstante, existen antecedentes que respaldan el uso de este aplicativo, como el estudio de Rubio et al. (2021) aplicaron el mismo aplicativo debidamente calibrado con un margen de error estimado de  $\pm 1$  dBA.

Respecto a la validez externa, los resultados muestrales fueron representativos, dado que los puntos se seleccionaron bajo un criterio de aleatorización. Sin embargo, para generalizar a otros periodos del año se requiere tomar en cuenta ciertas variaciones contextuales, especialmente relacionadas con las actividades económicas y sociales en ciertas épocas del año en las cuales algunas zonas del centro Histórico de Trujillo presentan mayor comercio ambulatorio, el flujo vehicular suele duplicarse generando un ambiente acústico mas cargado, lo que podría alterar los patrones observados en este estudio.

Los resultados obtenidos confirmaron lo señalado en el marco teórico sobre la relación directa entre el ruido urbano y la actividad vehicular, así como el uso efectivo de herramientas SIG para presentar dicha distribución mediante mapas de calor (Cruz & Mendoza, 2021; Morales & Pinto, 2021). Tal como se describe en estudios anteriores, se evidenció que las zonas con mayor tránsito en Trujillo presentan niveles superiores a los 70 dBA, concordando con lo reportado por Gonzales (2023) en Puno y Serapio et al. (2022), este estudio reafirma que las técnicas geoestadísticas como el Kriging permiten generar mapas precisos para guiar decisiones en gestión ambiental.

Se alinean con las investigaciones de Dias de Oliveira et al. (2022) quienes demostraron que la implementación de infraestructura verde, como árboles y barreras vegetales, puede reducir los niveles de ruido entre 1.7 y 14.8 dBA en entornos urbanos. Esta evidencia refuerza la viabilidad de soluciones basadas en la naturaleza para mitigar la contaminación

acústica, especialmente en áreas históricas como Trujillo, donde la preservación del paisaje urbano es crucial. Además, estudios como los de Brancaccio – Pérez (2004) y Lan et al. (2024) respaldan esta aproximación, destacando no solo su eficacia acústica, sino también sus beneficios ecológicos y sociales, como la mejora en la biodiversidad urbana y la calidad de vida de los residentes.

Por otra parte, en contraste con investigaciones centradas en grandes ciudades, este estudio adopta un enfoque territorial específico al analizar el centro histórico de Trujillo, una zona de alto valor cultural, pero con dinámicas urbanas particulares. Esta perspectiva es innovadora porque vincula la contaminación sonora con la protección del patrimonio urbano, un aspecto poco explorado en la literatura previa. La degradación acústica no solo afecta la salud y bienestar de los habitantes, sino que también puede acelerar el deterioro de estructuras históricas debido a vibraciones y alteraciones en el entorno. Investigaciones como las de Navarrete (2019) y Correa (2022) han señalado la necesidad de abordar el ruido desde un enfoque multidisciplinario que incluya dimensiones jurídicas, técnicas y culturales. Este trabajo aporta una nueva línea de análisis al demostrar cómo herramientas geoestadísticas pueden utilizarse para diseñar estrategias de mitigación que preserven tanto la salud pública como la integridad del patrimonio, sentando un precedente para estudios futuros en ciudades intermedias con similar riqueza histórica.

En conclusión, el estudio permitió modelar la distribución espacio – temporal el ruido en el centro histórico de Trujillo mediante el modelo de Bessel. Además, con los mapas generados por Kriging, se identificó que las zonas con mayor concentración de ruido se presentan principalmente los días lunes en los alrededores del mercado central y en horas punta de tránsito, superando los 70 dBA. Estos resultados destacan la necesidad de monitorear continuamente las zonas críticas del centro histórico para implementar estrategias de control más efectivas.

## 5. Conclusiones

En conclusión, el modelo de Bessel demostró ser el más adecuado para representar la estructura espacial del ruido en el Centro Histórico de Trujillo, al ofrecer un buen ajuste con valores  $R^2$  aceptables y baja suma de errores, lo que permitió una modelación geoestadística confiable y precisa.

En resumen, los niveles de ruido monitoreados durante los cinco días y en los tres horarios establecidos presentaron una baja dispersión, con coeficiente de variación menores al 20%. Esto indica que los datos recogidos fueron consistentes y muestran un comportamiento estable del ruido ambiental, aunque con valores que superan los límites recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Cabe resaltar que se identificó una dependencia espacial clara en los datos, presentando una distancia aproximada de 300 a 350 metros entre puntos, esto nos permite validar el uso del variograma experimental como herramienta crucial para entender la distribución espacial del ruido, que en este caso fue un entorno urbano.

De este modo, la interpolación espacial kriging ordinario permitió estimar de manera confiable los niveles de ruido en las áreas no muestreadas, mostrándonos así una visión completa del fenómeno dentro del perímetro del Centro Histórico de Trujillo.

Asimismo, los mapas de calor revelaron que las zonas con mayores niveles de ruido se ubican en las intersecciones de la avenida España con los jirones Orbegoso, Gamarra, San Martín y Pizarro, mostrándose estas zonas con un estado crítico dentro del área del Centro Histórico de Trujillo.

Finalmente, los hallazgos de esta investigación constituyen un aporte muy valioso para la gestión ambiental urbana de nuestra ciudad, ya que esto nos permitirá identificar las áreas que necesitan con urgencia una intervención municipal. Estos resultados pueden respaldar la toma de decisiones en materia de regulación de tránsito vehicular, ordenamiento territorial y diseño de nuevas estrategias que permitan mitigar la contaminación sonora en espacios de nuestra ciudad.

### *Recomendaciones*

El estudio sobre los niveles de ruido en el centro histórico de Trujillo revela la necesidad de implementar medidas integrales para abordar este problema ambiental. Una de las principales recomendaciones es ampliar el alcance de futuras investigaciones, incrementando el número de puntos de medición y extendiendo las evaluaciones a diferentes épocas del año, incluyendo temporadas festivas. Esto permitiría identificar variaciones estacionales y eventos críticos que generen picos de contaminación acústica, proporcionando datos más completos para la toma de decisiones.

Además, se recomienda complementar los datos cuantitativos con estudios cualitativos que capturen la percepción de la población afectada. Encuestas y entrevistas podrían evaluar cómo el ruido impacta la salud, el bienestar y la calidad de vida de los residentes y visitantes. Este enfoque mixto facilitaría el diseño de estrategias de mitigación más efectivas y socialmente aceptadas, alineadas con las necesidades reales de la comunidad.

La implementación de tecnologías avanzadas, como redes de sensores automatizados para el monitoreo en tiempo real, también es una medida clave. Estos sistemas permitirían un seguimiento continuo del ruido urbano, facilitando la evaluación de políticas públicas y la detección temprana de zonas críticas. Así mismo, se sugiere priorizar acciones en horarios nocturnos y durante eventos masivos, donde los niveles de ruido suelen alcanzar sus picos máximos.

## **6. Referencias**

- Barrios, L. L. (2025). *Contaminación sonora y la percepción de la población del sector 1 del Barrio Laykakota, Puno, 2024*. Tesis de licenciatura, Universidad Privada de la Selva Central.  
[https://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/1139:contentReference\[oaicite:5\]{index=5}](https://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/1139:contentReference[oaicite:5]{index=5})
- Brancaccio-Pérez, E., & Ortiz-Pulido, R. (2024). Efectos del ruido urbano en la actividad de forrajeo de una comunidad de colibríes. *Wilson Journal of Ornithology*, 136(2), 254–261. <https://doi.org/10.1676/23-00029>
- Chávez, A. (2017). *Evaluación del nivel de riesgo ambiental por contaminación sonora del parque automotor en la ciudad de Celendín, provincia de Celendín, departamento de Cajamarca*. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Cajamarca.  
<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/2924>

- Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC). (2019). *Código Nacional de Integridad Científica*. Lima, Perú.  
<https://repositorio.concytec.gob.pe/>.
- Correa-Delgado, A. P. (2022). *La contaminación acústica y la afectación al derecho de vivir en un ambiente equilibrado y adecuado en el Óvalo Musical – Cajamarca 2017-2019*. Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte.  
<https://hdl.handle.net/11537/31480>
- De Oliveira, J. D., Biondi, D., & Dos Reis, A. R. N. (2022). El papel de las áreas verdes urbanas en la atenuación de la contaminación acústica. *DYNA (Colombia)*, 89(220), 210–215. <https://doi.org/10.15446/dyna.v89n220.95822>
- Espinoza, F. D. H., Robles, H. T. H., & López, M. T. C. (2022). Contaminación Acústica Y Aprendizaje Musical En Estudiantes Del Instituto Superior De Música. *Universidad y Sociedad*, 14, 406–415.
- Gonzales, N. (2023). Data analysis of vehicular noise pollution and its perception in the cities of Juliaca and Puno, Puno region - 2021. *Data & Metadata*, 2, 44.  
<https://doi.org/10.56294/dm202344>
- González-Lozano, Y., & Rodríguez-Hernández, M. (2023). Gestión de la contaminación acústica urbana por tráfico rodado en Santa Clara, Cuba: Una propuesta de modelación del riesgo. *Revista Cubana de Medio Ambiente Urbano, Revista INVI*, 38(109), 288–317. <https://doi.org/10.5354/0718-8358.2023.69059>
- Gutiérrez, A., Zhang, H., & Montaña, C. (2016). Cálculo del tamaño de muestra para la estimación de una varianza en poblaciones finitas con funciones en R. *Comunicaciones en Estadística*, 9(1), 109–127. <https://doi.org/10.15332/s2027-3355.2016.0001.06>
- Helbich, M., Hagenauer, J., Burov, A., & Dzhambov, A. M. (2025). Traffic noise assessment in urban Bulgaria using explainable machine learning. *Sustainable Cities and Society*, 120, 106169.  
[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670725000472?pes=vor&getft\\_integrator=scopus](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670725000472?pes=vor&getft_integrator=scopus)
- HernándezSampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Ciudad de México, México: McGraw Hill Education. <https://doi.org/10.22201/fesc.20072236e.2019.10.18.6>
- Hipólito, J. H et al. (2018). Innovation on user-generated content for environmental noise monitoring and analysis in the context of smart cities. In *Environmental Information Systems: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications* (Vol. 1).  
<https://doi.org/10.4018/978-1-5225-7033-2.ch021>
- Lan, Z., Li, F., & Cai, M. (2024). Road traffic noise exposure assessment based on spatiotemporal data fusion. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 127. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104044>

- Liu, J., Sun, S., Tang, K., Fan, X., Lv, J., Fu, Y., Feng, X., & Zeng, L. (2025). IoT-Based Airport Noise Perception and Monitoring: Multi-Source Data Fusion, Spatial Distribution Modeling, and Analysis. *Sensors*, 25(8).  
<https://doi.org/10.3390/s25082347>
- Méndez Ramírez, I., Namihira Guerrero, D., Moreno Altamirano, L., & Sosa de Martínez, C. (2017). *El protocolo de investigación: Lineamientos para su elaboración y análisis* (2. ed., reimpresión). Trillas. ISBN 9789682441004.
- Navarrete-Marroquín, J. L. (2019). *Análisis de la tipicidad e imputación objetiva del delito de contaminación ambiental (contaminación sonora) en la jurisprudencia peruana*. Tesis de licenciatura, Universidad Femenina del Sagrado Corazón.  
<https://repositorio.unife.edu.pe/items/707fffb7-81f8-43d6-842a-38794a2d7ccf>
- Organización de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). (2015). *Informe de evaluación de ruido ambiental en Lima Metropolitana*. OEFA.  
<https://www.oefa.gob.pe>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2011). *Burden of disease from environmental noise: Quantification of healthy life years lost in Europe*. WHO Regional Office for Europe. <https://www.who.int>
- Palacios, L. M., Palomino, R. C., & Huillcara, M. Á. (2021). Percepción del ruido ambiental en pobladores de Cercado de Ica, Perú. *Producción y Limpia*, 16(1), 31–47.  
<https://doi.org/10.22507/PML.V16N1A2>
- Ramírez-Milla, J. C. (2015). *Contaminación sonora producida por el parque automotor en el casco urbano de Chimbote 2014*. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Santa. <https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/3030>
- Rojas-Sánchez, O. A., Ochoa-Villegas, J., Marín, D., Piñeros-Jiménez, J. G., & Rodríguez-Villamizar, L. A. (2025). Asociación entre la exposición a ruido ambiental y la calidad del sueño de adultos residentes en Medellín, Colombia, 2022. *Cadernos de Saude Publica*, 41(2), e00233423. <https://doi.org/10.1590/0102-311XES233423>
- Rubio, L. R., García, M. R., García, M. R., Zare, E. G., & Centeno, E. I. (2021, 14 julio). *Mapa geoestadístico de los niveles de ruido en el centro histórico de Trujillo, 2019*. *Revista de Investigación Estadística*, 3(1), 77-89  
<https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/REDIES/article/view/3660>