



MAPA GEOESTADÍSTICO DE LOS NIVELES DE RUIDO EN EL CENTRO HISTÓRICO DE TRUJILLO, 2019

GEOSTATISTICAL MAP OF NOISE LEVELS IN THE HISTORIC CENTRE OF TRUJILLO, 2019

Luis A. Rubio Jácobo^{1*}, María T. Rojas García¹, Elmis J. García Zare¹, Enrique Ipanaqué Centeno¹

¹ Departamento Académico de Estadística, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n, Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú

RESUMEN

El propósito de la presente investigación fue elaborar el mapa geoestadístico de niveles de ruido en el centro histórico de la ciudad de Trujillo para el año 2019, para lo cual se procedió a medir los niveles de ruido de una muestra de 26 espacios georreferenciados, mediante dispositivo smartphone con ayuda del aplicativo sonómetro debidamente calibrado con un (margen error ± 1 dB). Las mediciones se realizaron en un horario de 6:00 a 7:00 p.m en intervalos de 10 minutos. Para el logro de los objetivos propuestos se utilizó el método de kriging ordinario, variograma experimental y teórico, así como mapas de calor de la Geoestadística. Los datos se procesaron con el software estadístico libre R 3.4.3. En el estudio se concluye que los niveles promedios de ruido en el centro histórico de Trujillo oscilan entre 74.70 dB y 77.36 dB, los que están por encima del nivel promedio moderado (60 dB); se modeló la estructura espacial de los datos monitoreados a través del modelo exponencial; en los mapas de calor la mayoría de puntos georeferenciados dentro del Centro Histórico de Trujillo presentan niveles de ruido entre 80 dB y 90 dB sobrepasando los niveles de ruido estándar establecidos, siendo el horario de las 7:00 pm el que presenta la mayor área espacial de contaminación sonora.

Palabras clave: Puntos georreferenciados, mapa geoestadístico, niveles de ruido, variograma, kriging ordinario

ABSTRACT

The purpose of the present investigation was to prepare the geostatistical map of noise levels in the historic center of the city of Trujillo for the year 2019, for which the noise levels of a sample of 26 georeferenced spaces were measured using a device Smartphone with the help of the sound level meter application, properly calibrated with a (error margin ± 1 dB). Measurements were made from 6:00 to 7:00 p.m. at 10 minute intervals. To achieve the proposed objectives, the ordinary kriging method, an experimental and theoretical variogram, as well as heat maps from Geostatistics were used. The data was processed with the free statistical software R 3.4.3. The study concludes that the average noise levels in the historic center of Trujillo range between 74.70 dB and 77.36 dB, which are above the moderate average level (60 dB); the spatial structure of the monitored data was modeled through the exponential model; in the heat maps most of the geo-referenced points within the Historic Center of Trujillo present noise levels between 80 dB and 90 dB, exceeding the established standard noise levels, with the 7:00 pm time zone having the largest spatial area noise pollution.

Keywords: Georeferenced points, geostatistical map, noise levels, variogram, ordinary kriging

*Autor correspondiente E-mail: lrubio@unitru.edu.pe (L. Rubio).

INTRODUCCIÓN

Ortega & Cardona (2005) señalan que el ruido siempre ha sido un problema grande para la sociedad en el mundo, en países de Europa, el 40% de la población están expuestos al ruido del tráfico con un nivel acústico que excede los 55 dB durante el día y el 20% está expuesto a niveles superiores a 65 dB, más del 30% están expuestos por la noche a niveles que exceden 55 dB (A) que perturban el sueño. El problema de la contaminación acústica también es grave en las ciudades de países en desarrollo causado principalmente por el tráfico, con datos recopilados junto a carreteras densamente transitadas se encontraron niveles equivalentes de depresión sonora durante 24 horas de 75 a 80 dB (Organismo Mundial de la salud [OMS]. 1999, p. 5).

El ruido social o comunitario (también llamado ruido ambiental, ruido residencial o ruido doméstico) se define como ruido emitido por todas las fuentes, excepto el ruido en el lugar de trabajo industrial. Principales fuentes de ruido comunitario, tráfico por carretera, ferrocarril y aéreo; industrias; construcción y obra pública; y en el barrio las principales fuentes de ruido interior son los sistemas de ventilación, máquinas de oficina, electrodomésticos y vecinos (Organismo Mundial de la salud [OMS]. 1999, p. 8).

El ruido desde lo social se define según: Lamarque (1975) lo define como un “sonido o conjunto de sonidos desagradables o molestos”, y Sanz (1987) considera que el ruido se trata de “un sonido molesto e intempestivo que puede producir efectos fisiológicos y psicológicos no deseados en una persona o un grupo”; Mientras que López & Herranz (1991) estudian el ruido por tráfico urbano y su interferencia en el sueño, definiendo el ruido como “toda energía acústica susceptible de alterar el bienestar fisiológico o psicológico” citados por (Martínez 2005, p. 6).

En nuestro medio, el ruido ha ocasionado la problemática de contaminación sonora, lo que está afectando la calidad de vida de la población trujillana. A pesar de la preocupación y los esfuerzos realizados por la Municipalidad Provincial de Trujillo, de reducir los niveles de ruido a niveles aceptables, mediante la ejecución de campañas educativas y de fiscalización de las fuentes generadoras de ruido, éstas no han logrado resultados favorables debido a que no se cuenta con un plan de acción que prevenga y controle la contaminación sonora.

(IDEAM, 2006; Environ Monit Assess, 2009), indican que, “El ruido es identificado como un sonido transmitido por ondas sonoras a través de un canal (generalmente es el aire), posteriormente dichas ondas sonoras se transforman en ondas mecánicas las cuales no son asimiladas de forma agradable en el oído y en el cerebro del receptor; debido a que presenta altas frecuencias; superiores a 1000 Hz e intensidades que se consideran nocivas en un rango entre 85 dB y 90 dB que con el tiempo pueden significar riesgos en la salud”. Citados por (Chaparro & Linares, 2017, p. 21).

Los efectos adversos que pueden ser generados por el ruido en las personas, se refieren a alteraciones fisiológicas, psicológicas o a ambas, y la intensidad de los efectos se relaciona con la exposición a mayores niveles de ruido y a períodos temporales o de largo plazo. Los principales problemas de salud identificados ante el ruido son: el impedimento auditivo (pérdida de audición, distorsión y zumbidos temporales o permanentes); interferencia en la comunicación (genera problemas de concentración, fatiga, pérdida de confianza, irritación, malentendidos, pérdida de capacidad de trabajo, problemas de relaciones humanas y estrés); dificultad para dormir (los post-efectos o efectos del día siguiente como fatiga, mal humor, bajo rendimiento, uso de medicamentos o desórdenes mentales); efectos cardiovasculares y fisiológicos (generan cambios en la presión sanguínea, la tasa cardíaca y la vasoconstricción); en la salud mental (efectos diversos como ansiedad, estrés, náuseas, dolor de cabeza, inestabilidad, pérdida argumentativa, impotencia sexual, cambios de humor, incremento de conflictos sociales, irritabilidad y desórdenes psiquiátricos como neurosis, psicosis e histeria), efectos en desempeño (afecta las capacidades de atención, motivación, memoria, lectura y desempeño en tareas cognitivas complejas), y efectos en vecindarios (molestia, mal humor, agresividad, decepción, impotencia, depresión, ansiedad, distracción, agitación, cansancio, alteraciones

de comportamiento, quejas, insolidaridad y conflictos (OMS, 1999, p. 12).

Bello (2008, p. 2 y p. 9) menciona que son numerosos los estudios que analizan el impacto del ruido sobre la salud de las personas a nivel mundial, permitiendo identificar a partir de esta información los posibles daños sobre su bienestar y la salud de dichas personas que se relacionan con el ruido ambiental. En su estudio concluye que el Centro Urbano de la Ciudad de Talca se encuentra bajo una contaminación acústica de nivel moderada, con una concentración máxima para el día de 55 dB y para la noche de 45 dB, lo que influye drásticamente en generar un daño irreparable en la vida y salud de las personas con consecuencias crónicas como la pérdida de la audición y agudas cefaleas, irritabilidad, y náuseas.

Reyes (2011, p. 16 y p. 125) afirma que la contaminación acústica causada por distintos agentes, tales como el tráfico vehicular, actividades industriales, comerciales y recreativas, constituye uno de los principales problemas medioambientales en las ciudades en desarrollo, generando cada vez mayor número de quejas por parte de los habitantes, y en su estudio concluye, que el promedio en toda la zona de Puyo se tiene un nivel de 71.86 dB el cual sobrepasa los límites máximos permisibles establecidos.

Chaparro & Linares (2017) en su estudio concluyen que en la universidad Libre no cumplen los límites máximos permisibles de ruido ambiental de acuerdo con la Resolución 627 del 2006 del MAVDT, predominando intensidades de niveles normales (0 dB a 50 dB) e irritantes (0 dB a 60 dB), y una alta cantidad de picos en un rango de 60 dB a 100 dB debido al tránsito de aviones considerada como una intensidad peligrosa.

Fritsch et al. (2007, p. 1 y p. 10) mencionan que el problema del ruido en la sociedad moderna de viene afectando gradualmente la calidad de vida de las personas de las grandes ciudades. La preocupación por el control de los niveles de intensidad sonora en las grandes ciudades es relativamente reciente, es por este motivo, que no existen estudios suficientes que nos sirvan como base teórica para la toma de decisiones en la implantación de políticas efectivas en el control de la polución sonora y concluye que los niveles de ruido urbano en el centro de Passo Fundo de Bogotá están por encima de 55 dB, lo que sobrepasa lo recomendado por las normas establecidas de la Organización Mundial de la Salud – OMS.

Cattaneo et al. (2012, p. 1 y p. 11) sostienen, que la amplitud es percibida como la fuerza o sonoridad del sonido. Se la cuantifica a través del “Nivel de Presión Sonora”, expresado en decibeles. El valor mínimo que puede percibir el oído humano es de 0 dB y al valor máximo se lo denomina umbral de dolor y es de unos 130 dB. El ruido comienza a dañar la audición aproximadamente a los 70 dB. La OMS considera que el límite superior deseable es de 50 dB, mientras que España ubica el nivel de confort acústico en los 55 dB. Concluyen en su estudio, que en todos los casos considerados en la ciudad de Buenos Aires superan los 70 dB, contra el máximo de 45 dB establecido por la “Ordenanza Municipal”.

Velasco (2015, p. 5) en su estudio de medición de ruido en ciudad de Caldas en Bogotá, concluye según los mapas de ruido que el comportamiento de los niveles sonoros en un contexto general presentan niveles en promedio de los 70 dB y 75 dB para las zonas con mayor incidencia de sector comercial y vías principales, las vías secundarias o tramos finales, de la zona de periferia del casco urbano presentan niveles promedio de 55 dB y 60 dB, es notable la presencia de altos niveles sonoros en el tramo del estrelladero producto del flujo vehicular de la zona, dado que ésta es una de las principales arterias que comunican al municipio de Villamaría con la ciudad de Manizales, en el mapa se puede identificar que los niveles para este punto está en el orden de los 90 dB en promedio acumulado.

Boschi & Muñoz (2005, p. 3) en su estudio de medición de la contaminación sonora de la ciudad de Mendoza, según sus mapas de ruido, concluyen que en la mayoría de las zonas consideradas, los diferentes niveles de ruido en las franjas horarias estuvieron por encima de lo permitido por la ordenanzas, así: en horario matutino los niveles de ruido fueron de 70.54 a 106.82 dB; horario vespertino

de 60.57 a 106.21 dB y en el horario nocturno de

74.81 a 103.57 dB respectivamente y que se deben al flujo vehicular, lo que ponen de manifiesto la necesidad de tomar medidas de precaución.

Atala (2013, p. 1 y p. 11) Coordinadora de Calidad Atmosférica, del Ministerio del Ambiente, realizó un estudio denominado “Monitoreo de Ruido Ambiental en la Ciudad de Trujillo”, en horario diurno en un total de 35 puntos del centro Histórico de Trujillo, concluye que los niveles de ruido oscilan de 65.6 a 80.6 dB; siendo el punto con mayor nivel de ruido la Av. Mansiche con Av. España y que se debe mayormente al ruido generado por tránsito vehicular, siendo la principal fuente de contaminación sonora.

Pastor (2005, p. 56) en su estudio de investigación en la medición de las emisiones sonoras de 352 vehículos en 76 intersecciones del centro histórico, concluye que todas presentan un nivel sonoro mayor a 75,1 dB, mostrando la siguiente distribución: el 62 % de intersecciones entre 80,1 y 85,0 dB; el 37 % entre 75,1 y 80,0 dB y el 1 % entre 85,1 y 90,0 dB. El ruido ambiental en el 63% de las intersecciones sobrepasa el límite establecido para los ruidos nocivos en zonificación comercial (80 dB) y en todas sobrepasa el límite establecido para ruidos molestos en zonificación comercial durante el período 07:00 a 22:00 horas (60 dB).

Yépez et al. (2009, p. 29) indica que dada la naturaleza de la variable ruido y su variabilidad espacio-temporal, se tomó como base fundamental la aplicación de la metodología Geoestadística (kriging ordinario) para la predicción y valoración de la distribución del ruido en las zonas de estudio del proyecto “Elaboración del Mapa Acústico para el Municipio de Medellín”.

Rubio et al. (2019) en su artículo denominado “Identificación de conglomerados espacio-temporales en casos de cáncer, Provincia de Trujillo, 2007-2016”, publicada en la Revista de Investigación Estadística de la Universidad Nacional de Trujillo, utilizaron la geoestadística construyendo mapas de calor para presentar la problemática de casos de cáncer, obtenidos a través de la metodología de kriging.

Como se evidencia en estos estudios, la problemática de contaminación sonora en la ciudad está generando pérdida en la calidad de vida de la población trujillana. A pesar de la preocupación y los esfuerzos realizados por la Municipalidad Provincial de Trujillo, de reducir los niveles de ruido a niveles aceptables, mediante la ejecución de campañas educativas y de fiscalización de las fuentes generadoras de ruido, éstas no han logrado resultados favorables debido a que en la ciudad de Trujillo no se cuenta con un Plan de Acción que Prevenga y Controle la Contaminación Sonora, conforme lo dispone el Decreto Supremo 085-2003-PCM cuyo marco legal establece los “Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido” y los lineamientos para no excederlos, con el objetivo de proteger la salud, mejorar la calidad de vida de la población y promover el desarrollo sostenible.

Por lo expuesto anteriormente, la realización del presente estudio es importante porque, haciendo uso de los métodos de la geoestadística, nos permitió evaluar la estructura espacial de los datos monitoreados, estimar los niveles de ruido mediante la interpolación espacial para las áreas no muestreadas y elaborar mapas de calor que nos han permitido identificar los espacios geo estadísticos con mayores niveles de ruido en el centro histórico de Trujillo. Los resultados obtenidos nos permitirán hacer estudios posteriores relacionados a la contaminación sonora que viene afectando a la salud, sociedad y economía tales como: malestar, interferencia con la comunicación, pérdida de concentración y de rendimiento, problemas de sueño, audición, estrés (cansancio crónico, tendencia al insomnio, trastorno del sistema inmune, trastornos psicofísicos, cambios conductuales entre otros), a fin de que las autoridades competentes tomen medidas correctivas a este gran problema. Por otro lado, en la mayoría de los estudios mencionados no aplican los métodos de la Geoestadística, por lo cual nos formulamos el siguiente problema: ¿Cómo es el mapa geoestadístico de los niveles de ruido en el Centro Histórico de Trujillo, 2019?

Objetivo General:

Determinar el mapa geoestadístico de los niveles de ruido en el Centro Histórico de Trujillo, 2019.

Objetivos específicos:

- Caracterizar los niveles de ruido monitoreados en los diferentes puntos georreferenciados del Centro Histórico de Trujillo, 2019.
- Evaluar la estructura espacial de los datos monitoreados a partir del variograma experimental.
- Modelar la estructura espacial de los datos monitoreados a través del variograma teórico.
- Estimar los niveles de ruido en las áreas no muestreadas dentro del perímetro del Centro Histórico de Trujillo, 2019.
- Construir mapas de calor para identificar los espacios geo estadísticos de mayores niveles de ruido dentro del perímetro del Centro Histórico de Trujillo, 2019.

MATERIAL Y MÉTODOS

El presente estudio es de tipo exploratorio, descriptivo y de corte transversal. Se utilizó el diseño de investigación denominado de una sola casilla. La variable de estudio fue el nivel de ruido medido en decibeles (dB). La población objetivo estuvo constituida por los diferentes puntos georreferenciados del Centro Histórico de Trujillo. Para esta investigación se seleccionó una muestra aleatoria 26 puntos georreferenciados los que se presentan en el siguiente Mapa Cartográfico del Centro Histórico de Trujillo (CHT).



Figura 1. Mapa cartográfico del Centro Histórico de Trujillo. Año 2019

Para la recolección de datos, se utilizó un aplicativo del Smartphone denominado “sonómetro” debidamente calibrado con un (margen error ± 1 dB), que cumplió con las exigencias establecidas en las normas de la Comisión Electrotécnica Internacional Grubeša et al (2018). Las mediciones de ruido se realizaron en el horario de 6:00 pm a 7:00 pm, con intervalos de 10 minutos, por un equipo humano previamente capacitado para el recojo de la información. Con esta información se generó una base de datos en formato txt, para luego ser procesado con el programa estadístico libre R 3.4.3. Para el análisis estadístico se utilizó la teoría Geoestadística, obteniéndose el variograma y mapa de calor mediante el método de Kriging ordinario (método que proporciona el menor error cuadrático medio de predicción) en los diferentes horarios programados (Yepez et al, 2009). Las fórmulas matemáticas que nos permitieron obtener las diferentes gráficas geoestadísticas son las siguientes:

Variograma experimental:

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

Variograma teórico: Modelo Exponencial

$$\gamma(h) = c \left[1 - e^{-\frac{3|h|}{\alpha}} \right]; \text{ para } h \geq 0$$

Donde:

$\gamma(h)$: variograma (dB²)

α : rango (metros)

C : meseta (dB²)

H : distancia (metros)

Kriging Ordinario

$$Z^*(x_0) = a + \sum_{a+1}^n \lambda_a Z(x_a)$$

Donde:

a : valor esperado = 0 (media desconocida)

λ_a : peso de cada valor en la posición "a"

$Z(x_a)$: Valor observado en la posición de la coordenada x_a

n : número de valores observados

$Z^*(x_0)$: valor estimado en el punto de la coordenada x_0 .

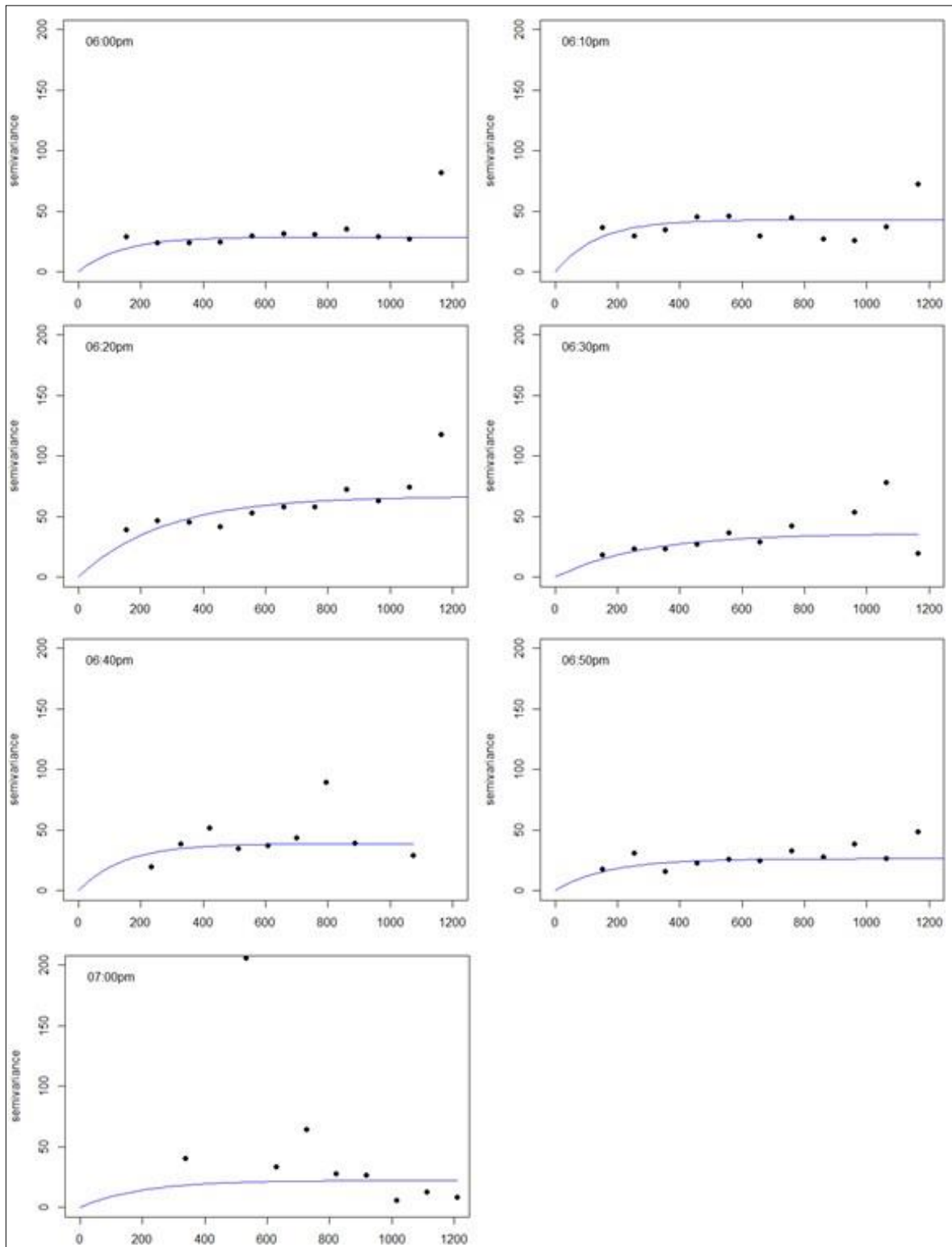
Resultados

Tabla 1

Caracterización de niveles de ruido monitoreados de 6 pm a 7 pm en el Centro Histórico de Trujillo, 2019

Horario	Promedio	Mínimo	Máximo	Desv. Estándar	Coef. Variación
6:00pm	75.78	66.04	86.39	2.37	3.13%
6:10pm	76.97	59.72	90.21	2.87	3.72%
6:20pm	77.36	59.81	89.13	4.51	5.83%
6:30pm	77.13	69.47	85.43	2.71	3.51%
6:40pm	75.67	63.06	90.82	3.35	4.42%
6:50pm	74.70	66.69	83.81	2.78	3.72%
7:00pm	77.09	59.80	84.78	3.62	4.70%

Fuente: Datos monitoreados procesados con R 3.4.3



Fuente: Datos procesados con R.3.4.3

Figura 2: Modelos de variograma exponencial para los niveles de ruido monitoreados desde las 6:00pm a 7:00pm, Centro Histórico de Trujillo, 2019

Tabla 2

Parámetros estimados de los modelos de Variograma Exponencial según hora de monitoreo.

Hora	Parámetros del modelo Exponencial	
	Meseta (c)	Rango (α)
6:00 pm	28.74	409.50
6:10 pm	43.14	409.50
6:20 pm	66.74	819.18
6:30 pm	36.05	847.85
6:40 pm	38.78	434.00
6:50 pm	26.33	512.00
7:00 pm	22.24	587.13

Nota:

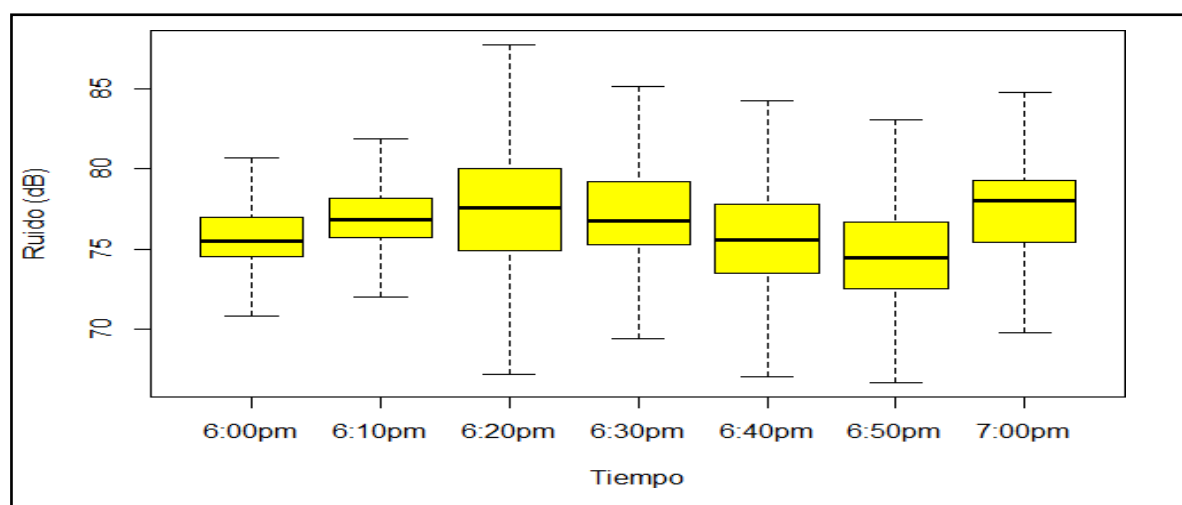
Meseta (c): variabilidad máxima; Rango (α): distancia en metros Fuente: Datos procesados con R.3.4.3

Tabla 3

Resumen de niveles de ruido estimados de 6pm a 7pm en el Centro Histórico de Trujillo, 2019

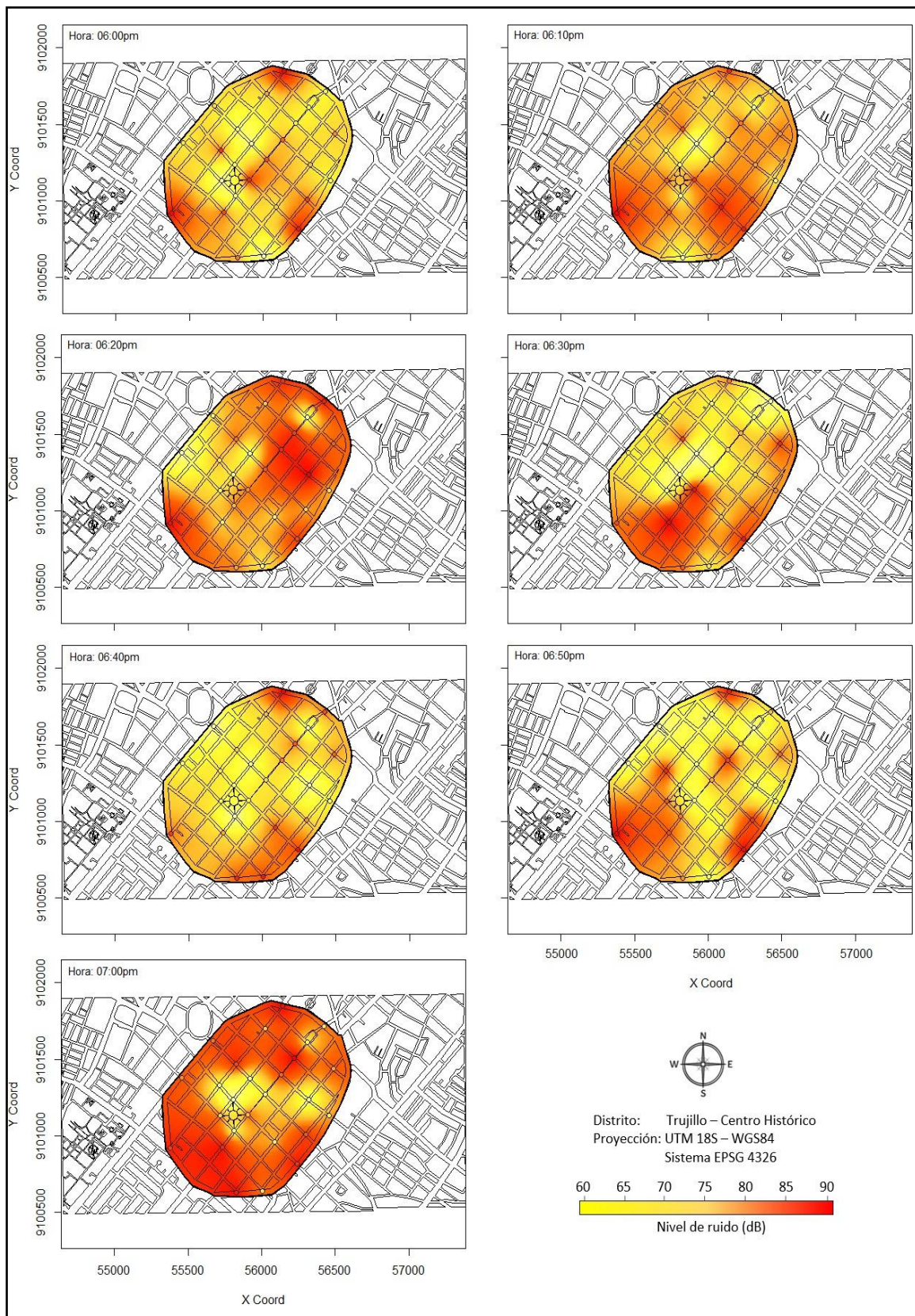
Horario	Promedio	Mínimo	Máximo	Desv. Estándar	Coef. Variación
6:00pm	75.28	65.90	86.60	5.40	7.17%
6:10pm	76.21	59.50	90.40	6.18	8.12%
6:20pm	77.28	59.70	89.20	7.29	9.44%
6:30pm	76.60	66.70	88.00	5.51	7.19%
6:40pm	75.21	62.80	91.10	6.71	8.92%
6:50pm	74.50	66.60	83.90	5.08	6.82%
7:00pm	75.70	59.60	84.90	6.88	9.09%

Fuente: Datos procesados con R.3.4.3



Fuente: Datos procesados con R.3.4.3

Figura 2. Distribución de niveles de ruido estimados de 6pm a 7pm en el Centro Histórico de Trujillo, 2019



Fuente: Datos procesados con R.3.4.3

Figura 3: Distribución espacial de los niveles de ruido mediante la interpolación por el método de kriging ordinario, Centro Histórico de Trujillo, 2019

DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presenta la caracterización de los niveles de ruido monitoreados en el horario de 6:00 a 7:00 pm en el Centro Histórico de Trujillo, obteniéndose un promedio de ruido entre 74.70 dB y 77.36 dB, siendo el horario de 6:20 pm el que presenta el mayor nivel. Estos niveles de ruido están por encima de lo establecido en los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Ruido del DECRETO SUPREMO N° 085-2003-PCM 085-2 y del Organismo Mundial de la Salud [OMS] (1999), que consideran como límite superior deseable de 50 dB. Kinsler et al (2008) menciona que se considera un ruido moderado al oído hasta aproximadamente 60 dB; de sobrepasar estos niveles de ruido podría estar produciendo efectos fisiológicos y psicológicos no deseados en los pobladores del centro histórico de Trujillo, lo que concuerda con los resultados de estudios internacionales realizados por Lamarque (1975), Zans (1987), Lopez y Herranz (1991), citados por Martínez (2005). Otros autores como IDEAM (2009) indican que niveles de ruido entre 85 dB y 90 dB con el tiempo pueden significar riesgos significativos en la salud, citado por Chaparro y Linares (2017).

También estos resultados concuerdan con los obtenidos por Reyes (2011), Chaparro y Linares (2017), Fritsch, et al (2007), Cattaneo, et al (2012), Velazco (2015), Bochi y Muñoz (2005), quienes concluyen que los niveles de ruido en las zonas de estudio están por encima de los 70 dB.

Los resultados de del presente estudio también concuerdan con las investigaciones a nivel local realizadas por Pastor (2005) y Atala (2013), quienes encontraron que los niveles de ruido oscilan entre 65 dB y 75 dB; con algunos puntos georreferenciados que tuvieron niveles de ruido de 85 dB a 90 dB y que son generados mayormente por el tránsito vehicular y por la presencia de zonas comerciales.

Los niveles de ruido monitoreados de la estructura espacial se realizaron cada 10 minutos, (6:00, 6:10, 6:20, 6:30, 6:40, 6:50 y 7:00 pm) obteniéndose su variograma para cada uno de estos tiempos. Estos variogramas lo visualizamos en la Figura 2. El variograma analiza la estructura del comportamiento espacial de los datos a una dirección establecida, es decir, evalúa el rango (distancia) de influencia (variabilidad) de la variable regionalizada calculando la variabilidad según diferentes distancias (variograma experimental). Es necesario especificar que el análisis de dicha estructura corresponde a las mediciones en un instante dado y, razón por la cual se presentan siete variogramas.

En todos los gráficos de variograma, observamos que existen al menos un punto atípico que modifica la tendencia de las estructuras espaciales, sin embargo, para efectos de modelación este no representa un grave problema y se puede omitir la influencia de dichos valores, dado que lo importante es identificar (estimar) los parámetros del modelo de variograma teórico en toda la estructura. Así pues, se identifican las mesetas y rangos en modelos exponenciales que tipifican el comportamiento espacial de los niveles de ruido.

Los parámetros de estos variogramas se muestran en la Tabla 2. En dicha tabla, observamos que para los horarios 6:50 pm y 7 pm la variación de los niveles de ruido alcanzan una meseta (variabilidad máxima) inferior a 30 dB² (26.33 dB² y 22.24 dB² respectivamente), esto supone que en dichos horarios la variación de los niveles de ruido son menos inestables (o más homogéneos) que en los otros horarios monitoreados, a saber, si observamos la meseta correspondiente al variograma de las 6:20 pm, veremos que tiene un mayor valor (66.74 dB², el valor más elevado de todos), así pues, este representa heterogeneidad en las mediciones, y lo mismo sucede con los demás horarios.

Las estimaciones de niveles de ruido en toda el área dentro del perímetro del centro histórico de Trujillo se muestran en la Tabla 3 y Figura 3, estas son calculadas mediante el método de interpolación espacial Kriging Ordinario. Para realizar dicha interpolación, se debe tener en cuenta la inherente relación con los correspondientes variogramas, dado que la meseta y el rango son parámetros que permiten identificar el lugar y la cantidad de puntos que participan en el proceso de estimación (interpolación) de un punto nuevo, es decir, el valor estimado del nivel de ruido en un lugar georreferenciado donde no se ha monitoreado.

Por ejemplo, observemos el gráfico del variograma para las 6:40pm, los puntos tienen una tendencia creciente a medida que se va ampliando la distancia h en el cálculo, estos valores se van volviendo “estables” con un valor 38.78dB^2 (meseta) a una distancia $h=434$ metros (rango). El modelo estimado es el siguiente:

$$\gamma_{(h)} = 38.78 \left[1 - e^{-\frac{3|h|}{434}} \right] ; \text{ para } h \geq 0$$

esto quiere decir que a una distancia aproximada de 434 metros en adelante (aproximadamente 3 cuadras) los niveles de ruido son muy diferentes respecto de su fuente de origen (cada vez menores), por lo tanto, solo dentro de este rango de distancia podemos considerar las muestras como válidas para interpolar nuevos valores en lugares no muestreados. De la misma manera, debe entenderse el proceso de interpolación en los mapas de los diferentes horarios. En la Figura 3 que representa la distribución espacial mediante los mapas de calor para los diferentes horarios establecidos, se puede apreciar que en el mapa de calor de las 7.00 pm, la mayoría de puntos georreferenciados dentro del Centro Histórico de Trujillo presentan niveles de ruido entre 80 y 90 dB sobrepasando los niveles de ruido estándar establecidos, siendo este el horario que presenta un área espacial mayor de contaminación sonora.

CONCLUSIONES

- Los niveles de ruido monitoreados en el horario de 6:00 a 7:00 pm en el Centro Histórico de Trujillo, tienen en promedio de 74.70 dB a 77.36 dB, siendo el horario de 6:20 pm el que presenta el mayor nivel; sobrepasando los niveles de ruido por encima de lo establecido en los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Ruido del Decreto Supremo N° 085-2003-PCM 085-2 y del Organismo Mundial de la Salud [OMS] (1999), que consideran como límite superior deseable de 50 dB.
- Considerando el variograma experimental, la estructura espacial de los datos monitoreados en los horarios de 6:00 a 7:00 pm presentan al menos un punto atípico, modificando dicha estructura, identificando las mesetas y rangos de modelos exponenciales de las estructuras espaciales de los niveles de ruido.
- La estructura espacial de los datos monitoreados a partir del variograma experimental el modelo exponencial, observándose que para los horarios 6:50 pm y 7pm la variación de los niveles de ruido alcanzan una meseta inferior a 30 dB^2 .
- Los niveles de ruido en las áreas no muestreadas dentro del perímetro del centro histórico de Trujillo, se estimaron mediante el método de interpolación espacial Kriging Ordinario.
- En los mapas de calor de los horarios establecidos se observan espacios geográficos de niveles altos niveles de ruido entre 80 dB y 90 dB dentro del perímetro del Centro Histórico de Trujillo, siendo el horario de las 7:00 pm el que presenta la mayor área de contaminación sonora espacial.

Recomendaciones

- Utilizar la geoestadística en futuros estudios de contaminación sonora y otras áreas.
- Ampliar horarios y áreas geográficas para recolectar datos georreferenciados, en la realización de futuros estudios de contaminación sonora en la ciudad de Trujillo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Atala, M., (2013). Monitoreo de Ruido Ambiental realizado en la ciudad de Trujillo. Informe N° 1-LI-OEFA/DE-SDCA. file:///C:/Users/Mar%C3%ADa.DESKTOP/E0GKSFI/Downloads/2837.pdf
- Boschi, C. & y Muñoz, G. (2005). Medición de la contaminación sonora en la Ciudad de Mendoza. Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería 2005. EnIDI 2005, Mendoza, Argentina. file:///D:/PIC%20-UNT/PIC.2019/12...Medición%20de%20la%20contaminación%20sonora%20en%20la%20Ciudad%20de%20Mendoza_EnIDI2005.pdf
- Bello, M. (2009). Evaluación de los niveles de contaminación acústica del centro de la ciudad de Talca. Revista Interamericana de ambiente y turismo. Volumen 5, Número 1, P. 1-10. Interamerican Journal of Environment and Tourism. file:///D:/PIC%20-UNT/PIC.2019/1.26-120-1-PB.pdf
- Cattaneo, M., et al. (2012). *Estudio de la contaminación sonora en la ciudad de Buenos Aires. Facultad de Ingeniería. Universidad de Palermo.* file:///D:/PIC%20-UNT/PIC.2019/4%20Directiva%20N004-2013_UNT%20Normas%20para%20organizar%20la%20%20Carpeta%20Doc%20ente.pdf
- Chaparro, M. A., Linares, C. (2017). *Evaluación del cumplimiento de los niveles de presión sonora (ruido ambiental) en la Universidad Libre Sede el Bosque.* Tesis para el título de Ingeniero Ambiental. Universidad Libre. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Ambiental Bogotá. file:///D:/PIC%20-UNT/PIC.2019/Proyecto%20Ruido%20UL%2017.02.2017.pdf
- DECRETO SUPREMO N° 085-2003-PCM 085-2. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Ruido. Presidencia del Consejo de Ministros. Lima-Perú. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=3692
- Fritsch, R. Locatelli, R., Grala, E. (2007). Evaluación de ruido urbano: El caso de la zona centro de Passo Fundo. file:///D:/PIC%20-UNT/PIC.2019/3331-1-1108-1-10-20100608.pdf
- Jiménez, R., Velásquez, J., (2015). *Mediciones de ruido ambiental y elaboración del plan de descontaminación por ruido en Villa María, Caldas.* Informe Plan de descontaminación primera versión. Corpo Caldas. <http://www.corpocaldas.gov.co/publicaciones/543/Informe%20final%20ruido%20Villamaria-2015%20Reducido.pdf>
- Girado, R. (2015). *Introducción a la geoestadística teoría y aplicación.* Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá. Facultad de Ciencias. Departamento de Estadística. https://geoinnova.org/blog-territorio/wp-content/uploads/2015/05/LIBRO_-DE-_GEOESTADISTICA-R-Giraldo.pdf
- Kinsler, L. (2008). *Fundamentos de Acústica.* 4ta Impresión. México. Limusa. <https://www.worldcat.org/title/fundamentos-de-acústica/oclc/934263967?referer=di&ht=edition>
- Martínez, A. S., (2005). Ruido por tráfico urbano: conceptos, medidas descriptivas y valoración económica. Revista de Economía y Administración. Universidad Autónoma del Occidente. file:///D:/PIC%20-UNT/PIC.2019/RUIDO_0.PDF
- Organización Mundial de la Salud (1999). *Guidelines for Community Noise.* Berglund, B., Lindvall, T., Schwela, T., (Eds.) <http://www.who.int/docstore/peh/noise/Comnoise-1.pdf>
- Ortega, B., Cardona, M. (2005). Metodología para evaluación del ruido ambiental urbano en la ciudad de Medellín. Revista Facultad Nacional de Salud Pública, vol. 23, núm. 2, pp. 70-77 Universidad

- de Antioquia .png, Colombia.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=12011106008>. Revista Facultad Nacional de Salud Pública. ISSN: 0120-386X revistasaludpublica@udea.edu.co Universidad de Antioquia Colombia.
- Pastor, J. & Zamarreño, R (2005). Efectos de la Contaminación Acústica sobre la Capacidad Auditiva de los Pobladores de la ciudad de Trujillo-Perú. Tesis para optar el Grado de Doctor en Medio Ambiente. Escuela de Postgrado. Universidad Nacional de Trujillo.
- Reyes, H. (2011). Estudio y Plan de Mitigación del Nivel de Ruido Ambiental en la Zona Urbana de la ciudad de Puyo. Tesis para obtención del título de Ingeniero en Biotecnología Ambiental. Riobamba. Ecuador.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2009/1/236T0064.pdf>
- Rubio, L. et al (2019). Identificación de conglomerados espacio-temporales en casos de cáncer, Provincia de Trujillo, 2007-2016. Investigación Estadística 2(1): 44-55 (2019) 44 REVISTA DE INVESTIGACIÓN ESTADÍSTICA.
<http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/REDIES/article/view/2844>
- Sanja Grubeša, Antonio Petošić, Mía Suhanek & Ivan Đurek (2018) *Mobile crowdsensing accuracy for noise mapping in smart cities*, *Automatika*, 59:3-4, 286-293.
<https://doi.org/10.1080/00051144.2018.1534927>
- Velazco, M. (2015, p 5). *Mediciones de ruido ambiental y elaboración del plan de descontaminación por ruido en Villamaría, Caldas*. Corporación Autónoma Regional de Caldas. CORPOCALDAS. Primera Versión. Bogotá D.C., Colombia. Disponible en: [file:///D:/PIC%20-UNT/PIC.2019/8 Informe%20Plan%20de%20descontaminación%20Villamaría.pdf](file:///D:/PIC%20-UNT/PIC.2019/8%20Informe%20Plan%20de%20descontaminación%20Villamaría.pdf)
- Yépez D., Gomez, M., Sánchez L. y Jaramillo A. (2009). *Acoustic map making methodology as a tool for urban noise handling - Medellín case*. Revista DYNA, 76(158), p. 29-40.
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/10243/40048>