

# Modelamiento kriging para mapas acústicos de las festividades culturales de la Región de Puno: Estudio del caso

## Kriging modeling for acoustic maps of the cultural festivities of the Puno Region: Case study

Recibido: noviembre 05 del 2018 | Revisado: diciembre 10 del 2018 | Aceptado: enero 14 del 2019

GROVER MARÍN MAMANI<sup>1</sup>  
 ESTEBAN MARÍN PAUCARA<sup>2</sup>  
 RUSSEL A. LOZADA VILCA<sup>3</sup>  
 NÉSTOR BOLÍVAR ESPINOZA<sup>4</sup>  
 FRANCISCO CURRO PÉREZ<sup>5</sup>

### RESUMEN

Las actividades culturales forman parte de la identidad ética en diversas regiones del mundo y en algunos lugares, generan contaminación acústica. El propósito del estudio de caso fue determinar el modelamiento espacial del decibelio en mapas temáticos mediante las ecuaciones Kriging en las paradas, veneración de la Virgen de la Candelaria en Puno y del carnaval de Juliaca. Las mediciones se realizaron utilizando el método vial y la rejilla. Se establecieron 56 puntos de muestreo, además, cuatro indicadores donde los promedios para la ciudad de Puno fueron los siguientes: Lmin-74,72±4,42 dB(A); Lmax-108,16±6,18 dB(A); LApk-125,32±9,36 dB(A) y LAeq-93,668±5,29 dB(A) mientras que, en la ciudad de Juliaca fueron: Lmin-72,14±4,56 dB(A); Lmax-104,83±7,57 dB(A); LApk-122,48±10,37 dB(A) y LAeq-90,443±6,420 dB(A) donde al comparar los indicadores entre las ciudades, existió diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) según la prueba t-Student. Los mapas ajustados al modelo J-Bessel mostraron coherencia gráfica ( $p < 0,05$ ) para el LAeq de Puno y Juliaca. La exposición prolongada a las actividades culturales en la región fueron elevadas donde se requiere, la restricción durante las horas de exposición.

**Palabras clave:** exposición acústica, J-Bessel, mapa vertical, festejos populares

### ABSTRACT

Cultural activities are part of the ethical identity in various regions of the world and in some places, generate noise pollution. The purpose of the case study was to determine the spatial modeling of the decibel in thematic maps by means of the Kriging equations at the stops, veneration of the Virgen de la Candelaria in Puno and the carnival of Juliaca. The measurements were made using the road method and the grid. 56 sampling points were established, in addition, four indicators where the averages for the city of Puno were the following: Lmin-74.72 ± 4.42 dB (A); Lmax-108.16 ± 6.18 dB (A); LApk-125.32 ± 9.36 dB (A) and LAeq-93.668 ± 5.29 dB (A) while, in the city of Juliaca were: Lmin-72.14 ± 4.56 dB (A); Lmax-104.83 ± 7.57 dB (A); LApk-122.48 ± 10.37 dB (A) and LAeq-90.443 ± 6.420 dB (A) where when comparing the indicators between the cities, there were statistically significant differences ( $p < 0.05$ ) according to the t-Student test. The maps adjusted to the J-Bessel model showed graphical coherence ( $p < 0.05$ ) for the LAeq of Puno and Juliaca. Prolonged exposure to cultural activities in the region were high where restriction is required during the hours of exposure.

**Key words:** acoustic exhibition, J-Bessel, vertical map, popular festivals

- 1 Escuela Profesional de Arquitectura. Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" (UANCV). Juliaca, Perú.  
grover\_marin@hotmail.com
- 2 Universidad Nacional del Altiplano (UNAP). Puno, Perú.  
esmarinpa@hotmail.com
- 3 Universidad Peruana Unión (UP). Juliaca, Perú.  
lessurlv2@yahoo.es
- 4 Universidad Nacional de Juliaca (UNAJ). Juliaca, Perú.  
nbolivar@unaj.edu.pe
- 5 Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba (UNIQ). Cusco, Perú.  
francisco.curro@uniq.edu.pe

<https://doi.org/10.24265/campus.2019.v24n27.06>

## Introducción

La contaminación acústica es un problema ambiental (Vasilyev & Rozenberg, 2007) y de gran preocupación en la sociedad (Chokri *et al.*, 2017). Este fenómeno formado por vibraciones tiene como indicador el decibelio (Murphy *et al.*, 2016; Shi *et al.*, 2018), pues la sucesión de compresiones provocadas por ondas acústicas durante sus desplazamientos en el medio hace que, la presión existente fluctúe en torno a su valor de equilibrio (Perelomova, 2014; Fuentes *et al.*, 2014).

El ruido intermitente resulta el más constante (cualquier ambiente y espacio público) siendo EL Leq, la energía acústica que contiene el ruido en determinado tiempo (Yang & Cheng, 2016; Yousif & Zuri, 2017). El factor de duración en la medición estadística de la exposición al ruido se ha introducido como magnitud de nivel de presión acústica equivalente (Leq) (Makarewicz, 1984; Fujiwara *et al.*, Meiarashi, Namikawa & Hasebe, 2005).

Abad *et al.*, (2011) y Meyer *et al.*, (2017) señalan que, el estrés en el ámbito laboral y social constituye uno, de los efectos indeseables del ruido y este, incide negativamente en la salud humana.

El Ministerio del Ambiente en el Perú (MINAM, 2003) indica que los valores permisibles durante el día son de 60 dB y 50 dB para la noche. La Oficina de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA, 2011) dictaminó mediante la RCD N°003-2011- OEFA/CD que el valor del ruido recomendado debe ser de 55 dB (A) aunque este valor al parecer se supera en las actividades o festejos populares en algunas ciudades del Perú.

El propósito del estudio fue determinar el modelamiento espacial del decibelio en mapas temáticos mediante las ecuaciones Kriging en las paradas, veneración de la Virgen de la Candelaria en Puno y en el carnaval de Juliaca.

## Materiales y métodos

El estudio se realizó en zonas céntricas durante el desarrollo de las paradas, veneración de la Virgen de la Candelaria en Puno (15°50'15" Latitud Sur, 70°01'18" Longitud Oeste, altura de 3819 m.s.n.m.) y del carnaval de Juliaca (15°29'24" de Latitud Sur, 70°08'00" de Longitud Oeste, altura de 3824 m.s.n.m.).

Se modificó la metodología de Muriello (2012) donde la frecuencia de lectura en cada uno de los puntos de monitoreo se inició a las 8:00 am., registrando los valores durante cinco minutos, además, considerar 10 minutos adicionales para el desplazamiento entre un punto y otro. Se muestreó 28 puntos en cada ciudad siendo utilizado para la medición, un sonómetro con filtro (A) el cual estuvo soportado por trípode a una altura de 120 metros.

La geoestadística del monitoreo se modeló para analizar el comportamiento planimétrico del dB(A) en formatos de motores de cálculo compatibles (Paredes *et al.*, 2013). Asimismo, la georreferencia de los puntos de muestreo fue colocada en un sistema de información geográfica para la construcción y digitalización de una base de datos gráfica. Para la comparación de los datos se utilizó el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido DECRETO SUPREMO N° 085-2003-PCM.

Se utilizó el programa profesional Statgraphisc Centurion 18 para el tratamiento estadístico de los datos donde la normalidad del contraste del conjunto de los datos fue mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Para la comparación entre la media de los indicadores se utilizó la prueba t-Student considerando significativos los resultados cuando  $p < 0,05$ .

## Resultados y discusión

La Tabla 1 muestra los resultados de los indicadores medidos para la ciudad de Puno y Juliaca donde se observó, valores por encima a lo recomendado por la norma peruana.

Tabla 1

*Concentraciones de decibeles en las ciudades de Puno y Juliaca*

Indicadores	Puno	Juliaca	Valor de Referencia	
			diurno	nocturno
Lmin	74,72±4,42	72,14±4,56		
Lmax	108,16±6,18	104,83±7,57		
LApk	125,32±9,36	122,48±10,37		
LAeq	93,668±5,29	90,443±6,420	<b>60</b>	<b>50</b>

### Comparación de Medias

#### - Indicador Lmin

- Suponiendo varianzas iguales:  $t = 8,59869$ ; valor-P = 0,00100517

#### - Indicador Lmin

- Suponiendo varianzas iguales:  $t = 40,5551$  valor-P = 0,00000220904

#### - Indicador Apk

- Suponiendo varianzas iguales:  $t = 37,6313$ ; valor-P = 0,00000297789

- 

#### - LAeq

- Suponiendo varianzas iguales:  $t = 71,7457$ ; valor-P = 2,26152E-7

Puesto que los intervalos no contenían el valor 0, existió una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las ciudades de Puno y Juliaca con un nivel de confianza del 95,0%.

Se encontró que los 56 puntos de muestreo superaron los valores permisibles por la norma reguladora lo que resulta un problema ambiental preocupante, pues pudiera traer consigo, males-tares en la sociedad.

Durante un estudio realizado por Trombetta, Belisario & Alves, (2002) se encontró que, en Curitiba-Brasil, el valor máximo monitoreado de Lmax y LAeq fue de 85 dB(A) producto de tráfico circulante siendo en este estudio superior el cual se atribuyó a los conjuntos de danzarines y bandas de músicos. Asimismo, los valores promedios de Lmin dB(A) fueron cercanos al valor máximo reportado lo cual indica que, las exposiciones presentan un riesgo elevado. Resultados similares revelaron el comportamiento cotidiano del decibelio para el LAeq (69,16 dB(A), atribuido al tráfico rodado en la propia ciudad de Puno (Marín, Marín & Argota, 2017). Otro estudio en 25 nú-

cleos urbanos de ciudades europeas, la exposición a la banda de ruido fue más baja que 70 dB(A), cuyas exposiciones presentan un riesgo elevado (Margaritis & Kang, 2017).

Con relación al valor promedio de LA<sub>p</sub>k dB(A) las concentraciones halladas pueden ser severas para las embarazadas,

además de personas de la tercera edad como lo refiere Auger *et al.*, (2018).

Por otra parte, la Tabla 2 muestra las ecuaciones de los modelos del semivariograma funcionales que resultaron de las regresiones por los 11 modelos matemáticos para el dataset con una tendencia de datos de segundo orden.

Tabla 2  
*Ecuaciones de los modelos del semivariograma*

Modelo	Ecuación funcional	IC** (%)	R <sup>2***</sup>
Circular	$y = 0,307527506028042^* x + 65,497487382610$	98,520	0,676
Spherical	$y = 0,307538211094973^* x + 65,495432195844$	98,523	0,698
Tetraspherical	$y = 0,307475485748074^* x + 65,500299467864$	98,528	0,689
Pentaspherical	$y = 0,307355803993600^* x + 65,510560842344$	98,528	0,655
Exponential	$y = 0,308410106730351^* x + 65,4096469046413$	98,496	0,678
Gauss	$y = 0,304702765223183^* x + 65,7646043811608$	98,597	0,678
Rational quadratic	$y = 0,307735895800513^* x + 65,4708901892537$	98,571	0,685
Hole effect	$y = 0,406748789769047^* x + 56,3655198969547$	94,831	0,835
K-bessel	$y = 0,305059795445018^* x + 65,7299706523434$	98,598	0,680
J-Bessel	$y = 0,391844936932175^* x + 57,623006678266$	95,606	0,851
Stable	$y = 0,304702765223183^* x + 65,7646043811608$	98,597	0,674

**Leyenda:** \* Error del mapa, \*\* Índice de confianza, \*\*\* Coeficiente de determinación

Los 11 modelos matemáticos del semivariograma para el modelamiento kriging en el proceso geoestadístico arrojaron comportamiento similar con respecto a su confiabilidad resultante. Sin embargo, fueron distintas sus representaciones gráficas. El índice de confianza, el coefi-

ciente de determinación y la coherencia gráfica se muestran en la Figura 1, donde el modelo *j-Bassel* el que mostró, 0,851 sobre la mayor bondad de ajuste entre la ecuación estimada y la nube de puntos, además, el índice de confianza fue mayor al 95% para la superficie de respuesta y

su gráfica resultó coherente con el trazo de la ruta de monitoreo lo cual fue esperado para el modelado.

Similar resultado reportó Henríquez *et al.*, (2012) quienes indicaron que, la variabilidad espacial en mapas generados mediante procesos de interpolación con modelos de semivariograma tipo *J-Bessel* fueron herramientas útiles en aproximación al grado de acierto optimo en predicción.

Asimismo, Paredes *et al.*, (2013) utilizaron el método probabilístico kriging ordinary con modelo matemático *J-Bessel* reduciendo errores sistemáticos y mejorando la precisión estadística de los residuales en el LAeq del decibelio. La importancia en estos avances muestra en el estudio de Zannin *et al.*, (2013) que los modelos de interpolación son un enfoque nuevo en la caracterización de la contaminación acústica ambiental, además, de ser útil para la visualización del impacto ambiental en el paisaje urbano.

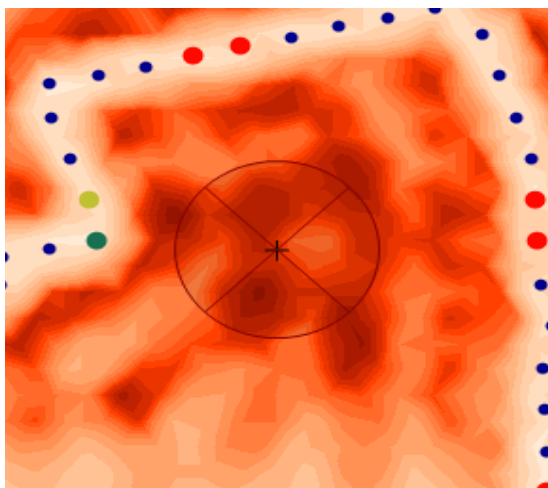


Figura 1. Predicción estándar / mapa superficie / modelo matemático superficie *j-Bessel*

Los resultados encontrados pueden considerarse corroborativos a los reportados por López & Muños (2009) con lo cual, utilizar metodologías en base a modelos matemáticos del semivariograma reducen de forma eficiente la probabilidad de error e incrementan los índices de confianza en mapas temáticos. De igual modo, auxiliarse de distintos modelos matemáticos del semivariograma para obtener el modelo geoestadístico adecuado permite mostrar la exposición al ruido ambiental como lo señalaron Wang, Chen & Cai, (2018) durante un estudio realizado en Guangzhou, China.

Los resultados de Ilker, Koseoglu & Ozer (2016) demostraron que los valores interpolados fueron confiables a 95% de sus mapas Isparta-Turquía. Sin embargo, en los resultados de Murillo *et al.*, (2012) la interpolación dentro de un mismo método, no presentó variaciones significativas. Este resultado posiblemente sea a consecuencia de la comparación entre modelo de interpolación cokriging, kriging, IDW e isoline spline y a la variación de los modelos matemáticos usados en estos métodos de interpolación los cuales fueron distintos.

Se concluyó que, los decibeles ocasionados por el ruido durante las actividades culturales de las paradas, veneración de la Virgen de la Candelaria en Puno y del carnaval en Juliaca fueron elevados y probablemente, existió ocurrencia de daños a la salud por lo que, debe restringirse los horarios de exposición.

## Referencias

- Abad, T.L., Colorado, A.D., Martín R.D. & Retana, M.Ma. (2011). Ruido ambiental, seguridad y salud. Tecnología y Desarrollo. *Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente*; 8, 1-25.
- Auger, N., Duplaix, M., Bilodeau, B.M., Lo, E. & Smargiassi, A. (2018). Environmental noise pollution and risk of preeclampsia. *Environmental Pollution*; 239, 599–606. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.04.060>
- Chokri, O., Taktak, M., Zain, A., Hantati, T., Dauchez, N. & *et al.* (2017). Acoustic characterization of a porous absorber based on recycled sugarcane wastes. *Applied Acoustics*; 120, 90-97. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.01.010>
- Fuentes, C.A., Beckers, K., Pfeiffer, H., Trana, L.Q.N., Dupont, G.C. & *et al.* (2014). Equilibrium contact angle measurements of natural fibers by an acoustic vibration technique. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*; 455, 164-173. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2014.04.054>
- Fujiwara, T., Meiarashi, S., Namikawa, Y. & Hasebe, M. (2005). Reduction of equivalent continuous A-weighted sound pressure levels by porous elastic road surfaces. *Applied Acoustics*; 66, 766-778. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2004.12.004>
- Henríquez, C., Méndez, J. C. & Masis, R. (2012). Interpolación De Variables De Fertilidad De Suelo. *Agro-nomía Costarricense*, 37(2), 71-82. Google Scholar
- Ilker, H.B., Koseoglu, H. & Ozer, Y.C. (2016). Performance evaluation of IDW, Kriging and multiquadric interpolation methods in producing noise mapping: A case study at the city of Isparta, Turkey. *Applied Acoustics*, 112, 147–157. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.05.024>
- López, Q.A., Muñoz, F. & *et al.* (2009). Geostatistical computing of acoustic maps in the presence of barriers. *Mathematical and Computer Modelling*; 50(5-6), 929–938. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2009.05.021>
- Makarewicz, R. (1984). Equivalent Level of Railroad Noise with and Without Barrier. *Applied Acoustics*; 17, 45-59. [https://doi.org/10.1016/0003-682X\(84\)90031-8](https://doi.org/10.1016/0003-682X(84)90031-8)
- Marín, M.G., Marín, P.E. & Argota, P.G. (2017). Zonificación acústica generada por decibeles no permisibles antropogénicos en la ciudad de Puno, Perú. *Revista Campus*, 22(23), 57-64. <https://doi.org/10.24265/campus.2017.v22n23.05>
- Margaritis, E. & Kang, J. (2017). Relationship between green space-related morphology and noise pollution. *Ecological Indicators*, 72, 921–933. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.09.032>

- Meyer, R., Lavandier, C., Gauvreau, B. & Benetto, E. (2017). Influence of the search radius in a noise prediction software on population exposure and human health impact assessments. *Applied Acoustics*; 127, 63-73. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.05.028>
- MINAM. (2003). *El Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para ruido* (D.S. N° 085-2003-PCM). Recuperado del sitio de internet del Ministerio del Ambiente del Perú: <http://www.Minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/02/RMN%C2%>
- Murillo, D., Ortega, I., Carrillo, J. D., Pardo, A. & Rendon, J. (2012). A Comparison of Interpolation Methods for Creating Noise Maps in Urban Environments Une Comparaison Des Methodes D' Interpolation Pour La. *Ing. USBMed*, 3(1), 62-68. <https://doi.org/10.21500/20275846.265>
- Murphy, M.F., Edwards, T., Hobbs, G., Shepherd, J. & Bezombes, F. (2016). Acoustic vibration can enhance bacterial biofilm formation. *Journal of Bioscience and Bioengineering*; 20(20), 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2016.05.010>
- OEFA. (2011). *Reglamento del Procedimiento Administrativo Sancionador del Organismo de Evaluación Fiscalización Ambiental* (RCD N° 003-2011-OEFA/CD). [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=819](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=819)
- Paredes, H.C.U., Salinas, C.W.E., Martínez, B.X. & Jiménez, H.S.B. (2013). Evaluación y comparación de métodos de interpolación determinísticos y probabilísticos para la generación de modelos digitales de elevación. *Investigaciones Geográficas: Boletín Del Instituto de Geografía UNAM*; 82, 118-130. <https://doi.org/10.14350/rig.35906>
- Perelomova, A. (2014). Thermal self-fraction effects of acoustic beam in a vibrationally relaxing gas. *Appl. Math. Modelling*; 38(23), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2014.04.055>
- Shi, S., Su, Z., Jin, G. & Liu, Z. (January, 2018). Vibro-acoustic modeling and analysis of a coupled acoustic system comprising a partially opened cavity coupled with a flexible plate. *Mechanical Systems and Signal Processing*; 98, 324-343. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2017.04.045>
- Vasilyev, A.V. & Rozenberg, G.S. (2007). Monitoring of Noise Pollution in Living Area of TogliattiCity and Estimation of It Influence to the Health of Inhabitants. *Proc. Of Scientific-Practical Journal "Safety in Technosphere"*; 3, 9-12.
- Trombetta, Z.P.H., Belisario, D.F. & Alves, B.W. (2002). Environmental noise pollution in the city of Curitiba, Brazil. *Applied Acoustics*; 63, 351-358. [https://doi.org/10.1016/S0003-682X\(01\)00052-4](https://doi.org/10.1016/S0003-682X(01)00052-4)
- Wang, H., Chen, H. & Cai, M. (2018). Evaluation of an urban traffic Noise - Exposed population based on points of interest and noise

- maps: The case of Guangzhou. *Environmental Pollution*; 239, 741–750. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.036>
- Yang, C & Cheng, L. (2016). Prediction of noise inside an acoustic cavity of elongated shape using statistical energy analyses with spatial decay consideration. *Applied Acoustics*; 113, 34-38. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.06.004>
- Yousif, A.Y. & Zuri, S.A. (2017). Improved signal de-noising in underwater acoustic noise using Stransform: a performance evaluation and comparison with the wavelet transform. *Journal of Ocean Engineering and Science*; 1-29. <https://doi.org/10.1016/j.joes.2017.08.003>
- Zannin, P.H.T., Engel, M.S., Fiedler, P.E.K. & Bunn, F. (2013). Characterization of environmental noise based on noise measurements, noise mapping and interviews: A case study at a university campus in Brazil. *Cities*, 31, 317–327. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2012.09.008>