

Modelamiento kriging del comportamiento vertical de ruido ambiental mediante mapas temáticos durante festividades culturales en Puno y Juliaca, Perú






Kriging modeling of vertical behavior of environmental noise through thematic maps during cultural festivities in Puno and Juliaca, Perú

Grover Marín-Mamani¹, Esteban Marín-Paucara²,
Néstor Bolívar-Espinoza³, Vitaliano Enriquez-Mamani⁴,
Francisco Curro-Pérez⁵

Fecha de recepción: 12 de marzo de 2020
Fecha de aprobación: 19 de julio de 2020

Marín-Mamani, G; Marín-Paucara, E;
Bolívar-Espinoza, N; Enriquez-Mamani, V;
Curro-Pérez, F. Modelamiento kriging del comportamiento vertical de ruido ambiental mediante mapas temáticos durante festividades culturales en Puno y Juliaca, Perú. *Tecnología en Marcha*. Vol. 34-3 Julio-Setiembre 2021. Pág 3-14.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v34i3.4989>

- 1 Doctoris Scientiae en Ciencia Tecnología y Ambiente. Universidad Nacional del Altiplano, Perú. Correo electrónico: Grovermarinma20@gmail.com.
 <https://orcid.org/0000-0003-4222-6297>
- 2 Magister Scientiae en Gestión de Recursos Naturales y Medio Ambiente. Universidad Nacional del Altiplano, Perú. Correo electrónico: esmarinpa@gmail.com.
 <https://orcid.org/0000-0001-8868-6868>
- 3 Magister Scientiae en Educación, Especialidad: con Mención en: Didáctica de la Matemática. Universidad Nacional de Juliaca, Perú.
 <https://orcid.org/0000-0003-1286-7480>
- 4 Magister en Contabilidad y Finanzas. Universidad Nacional de Juliaca, Perú. Correo electrónico: Ey_enriquez@hotmail.com
 <https://orcid.org/0000-0002-9858-2488>
- 5 Magister Scientiae en Informática, Especialidad: con Mención en: Informática Educativa. Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba, Perú. Correo electrónico: currofp@gmail.com.
 <https://orcid.org/0000-0003-2886-4516>



Palabras clave

Contaminación acústica; geoestadística; kriging; mapa temático.

Resumen

La contaminación acústica afecta la calidad de vida de las personas en todo el mundo. El origen puede deberse a diversas causas entre ellas actividades culturales. El objetivo fue modelar la distribución vertical en mapas temáticos utilizando la técnica Kriging en la parada veneración de la Virgen de la Candelaria en Puno y la parada del carnaval de Juliaca en Perú. Las mediciones se realizaron con los métodos vial y la rejilla, con cuatro indicadores (L_{min} , L_{max} , L_{Apk} y L_{Aeq}). Se usaron 28 muestras con un total de 112 puntos de monitoreo, que se modelaron por cota a una razón de cada 5 metros. Se calcularon matemáticamente los valores en las cotas 5, 20, 50 y 100 metros para ver el comportamiento altimétrico del dB(A), como control de usar los datos con el sonómetro a dichas altitudes, que se encuentran georreferenciadas en 19 L UTM WGS 84, para lo que utilizó un Sonómetro CASELLA CEL 6X0. En ambas ciudades se obtuvo que el ruido se atenúa al aumentar la altura, estando los valores para las cotas +5 m y +20 m, en ambos casos por encima de los valores permisibles de L_{Aeq} , según el Decreto Supremo N° 085-2003-PCM (mínimo 50 dB y máximo 60 dB). No se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas en los niveles de ruido para ambas ciudades con 95% de confianza en cada uno de los indicadores medidos.

Keywords

Acoustic pollution; geostatistics; kriging; thematic map.

Abstract

Noise pollution affects the quality of life of people all over the world. The origin can be due to various causes including cultural activities. The objective was to model the vertical distribution on thematic maps using the Kriging technique in the parade of the Virgin of Candelaria in Puno and the parade of the Juliaca carnival in Peru. The measurements were made using the road and grid methods, with four indicators (L_{min} , L_{max} , L_{Apk} and L_{Aeq}). Twenty-eight samples were used with a total of 112 monitoring points, which were modeled by height at a ratio of every 5 meters. The values at the 5, 20, 50 and 100 meter elevations were mathematically calculated to see the altimetric behavior of the dB(A), as a control to use the data with the sound level meter at these altitudes, which are georeferenced in 19 L UTM WGS 84, for which he used a CASELLA CEL 6X0 Sound Level Meter. In both cities it was obtained that the noise is attenuated when the altitude increases, being the values for the altitudes +5 m and +20 m, in both cases above the permissible values of L_{Aeq} , according to the Supreme Decree N° 085-2003-PCM (minimum 50 dB and maximum 60 dB). No statistically significant differences in the noise levels were evident for both cities with 95% confidence in each of the measured indicators.

Introducción

El diccionario de la real academia española define al sonido como: “sensación producida en el órgano del oído por el movimiento vibratorio de los cuerpos, transmitido por un medio elástico, como el aire”. El estudio del sonido está relacionado con la acústica, la cual se define como “el área de la Física que se ocupa del estudio de las ondas de presión, responsables de los sonidos y adquiere importancia en la medida en que la percepción de estos constituye, junto

con las imágenes, la principal forma de relación del ser humano con el entorno” [1]. El sonido se mide en decibeles (dB), que son definidos como “la unidad utilizada para expresar la magnitud de una modificación en una señal o nivel sonoro” [2].

Cuando el sonido se difunde de forma inarticulada, se produce lo que se conoce como ruido, el cual puede generar la denominada contaminación por ruido, lo que se ha convertido en un problema de continua prioridad en las principales ciudades del mundo, por lo que se dedican esfuerzos importantes para controlarlo [3]. El ruido ambiental es un problema mundial, sin embargo, la forma en que el problema es tomado en consideración varía dependiendo del país y de su cultura, economía y política [4]. Este problema persiste, incluso en áreas donde se han realizado esfuerzos importantes y se han utilizado numerosos recursos para regular, evaluar y amortiguar fuentes de ruido o para la construcción de barreras de ruido.

El ruido como fuente de contaminación tiene efectos sobre la salud, las cuales comprenden desde molestar asociado a intranquilidad, inquietud, desasosiego, depresión, desamparo, ansiedad o rabia, llegándose a tener que niveles de sonido muy elevados pueden causar pérdida de la capacidad auditiva [5]. Por lo anterior, se han realizado diversas investigaciones donde se han medido los niveles de ruido en diferentes partes del mundo, como la realizada en el Campus de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Perú [6]; así mismo se midieron los niveles de ruido ambiental en la ciudad de Santiago de Chile [7]. También estudiaron el efecto de ruido en una biblioteca universitaria en México [8]. En la ciudad de Madrid, España también se reporta la evaluación del ruido ambiental urbano [9].

Las técnicas de predicción geoestadísticas se han venido utilizando para la estimación de los valores de un parámetro en puntos específicos conociendo su valor en puntos cercanos. La fortaleza de la geoestadística es la interpolación kriging, la cual es una técnica considerada muy robusta por estar basada en una función continua que explica el comportamiento de la variable en las distintas direcciones del espacio, que permite asociar la variabilidad del estimado o grado de incertidumbre [10]. En estudios acústicos, la técnica de estimación kriging también ha sido utilizada por otros investigadores como, los mapas de ruido realizados en la ciudad de Cuenca, Ecuador [11]; así como también se analizó el uso de la interpolación kriging en la generación de mapas de ruido en un distrito de Paris, Francia [12].

Con base en lo anterior y en función de la importancia de la problemática, se evaluó el uso de la técnica kriging para estimar los niveles de ruido ambiental en el plano vertical en las ciudades de Puno y Juliaca en Perú, durante las festividades culturales propias de la región, con la finalidad de establecer sus posibles efectos en la población y saber cómo se comporta el ruido en diferentes niveles de altura, lo que puede servir como base para investigaciones de prevención en las fechas de dichas actividades culturales.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en inmediaciones céntricas de la ciudad de Puno y Juliaca, ubicadas en la coordenada cartográfica UTM WGS 84 zona 19 S. La ciudad de Puno está ubicada entre las coordenadas geográficas 15°50'15" Latitud Sur y 70°01'18" Longitud Oeste a una altura de 3819 m s. n. m. y la ciudad de Juliaca se encuentra ubicada entre las coordenadas geográficas es de 15°29'24" de Latitud Sur y 70°08'00" de Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich a una altura de 3824 m s. n. m.

La población de estudio, está representada por las tramas urbanas donde se desarrollan festividades culturales más importantes de la región Puno, la festividad Virgen de la Candelaria y el carnaval de Juliaca, donde interaccionan las variables espaciales coordenadas (X, Y, Z), y los decibelios (dB). El área de influencia de los efectos ambientales sonoros producto

de actividades culturales en la parada de la festividad Virgen de la Candelaria determina el espacio físico del trabajo de investigación, que tiene un área de 13 811 854,67 m². El área de influencia de la parada del carnaval de Juliaca, tiene un área de 23 811 954,6668 m². Para la muestra se usó la metodología de la rejilla [13], para establecer la muestra en una grilla de 100 x 100 metros, las zonas públicas donde se desarrollaron actividades por la festividad Virgen de la Candelaria de Puno y el carnaval de Juliaca, para establecer los puntos de muestreo se usó el método de viales [14], metodología que consiste en identificar las vías que van a ser ocupadas por actividades ya sean de tráfico o alguna distinta asumiendo que las jerarquías de ruidos serán las mismas. Las muestra se obtuvieron de las vías que conformaban el recorrido de los conjuntos y comparsas musicales en la festividad de la virgen de candelaria Puno y el carnaval de Juliaca, con un tamaño muestral 112 puntos por ciudad con un nivel de confianza de 90% y un error de estimación de 10% máximo.

Para el modelamiento se realizó a través de la geoestadística, midiendo los niveles de ruido por cada 5 metros, en los que se calcularon matemáticamente los valores en las cotas 5, 20, 50 y 100 metros para ver el comportamiento altimétrico del ruido en dB. Los puntos de monitoreo se georreferenciaron en un sistema de información geográfica para mapear los resultados de la investigación en el seccionamiento de los recorridos de las paradas. A partir de los resultados se establecieron los siguientes pasos, análisis exploratorio de datos mediante histograma de frecuencia, para calcular el coeficiente de variación, la ubicación espacial de muestra a través del análisis de tendencia para la obtención del orden de las ecuaciones y se generó un mapa de Voronoi. El análisis estructural de datos, se comparó con los modelos de kriging.

Las mediciones fueron realizadas con un sonómetro CASELLA CEL 6X0 y las estaciones de medición se muestran en los cuadros 1 y 2.

Cuadro 1. Estaciones de monitoreo parada Virgen de la Candelaria.

Estación	Coordenadas UTM 19S Datum		Estación	Coordenadas UTM 19S Datum	
	WGS 84			WGS 84	
1	391034.9	8248199.7	15	390600.2	8249317.1
2	391030.4	8248300.1	16	390499.5	8249290.7
3	391024.6	8248399.4	17	390400.2	8249267.7
4	391022.3	8248499.3	18	390300.4	8249243.2
5	391043.9	8248600.0	19	390200.6	8249221.1
6	391018.0	8248699.3	20	390100.4	8249199.6
7	391013.7	8248799.0	21	390000.2	8249180.4
8	391009.3	8248899.3	22	390002.6	8249099.3
9	391000.7	8248999.5	23	390043.8	8248999.5
10	390968.6	8249098.8	24	390085.5	8248898.8
11	390932.1	8249199.1	25	390100.4	8248799.0
12	390895.2	8249298.8	26	390000.2	8248783.7
13	390800.2	8249362.6	27	389900.4	8248763.5
14	390700.0	8249339.1	28	389899.4	8248699.3

Cuadro 2. Estaciones de monitoreo parada carnaval de Juliaca.

Estación	Coordenadas UTM 19S Datum		Estación	Coordenadas UTM 19S Datum	
	WGS 84			WGS 84	
1	379322.27	8284793.15	15	390600.20	8249317.06
2	379293.90	8284863.36	16	390499.47	8249290.68
3	379262.50	8284939.20	17	390400.18	8249267.66
4	379233.35	8285016.71	18	390300.41	8249243.19
5	379204.11	8285089.68	19	390200.64	8249221.13
6	379176.28	8285160.12	20	390100.40	8249199.55
7	379145.94	8285238.62	21	390000.15	8249180.36
8	379116.90	8285313.69	22	390002.55	8249099.30
9	379085.71	8285390.64	23	390043.80	8248999.53
10	379058.62	8285463.18	24	390085.53	8248898.80
11	379026.04	8285537.24	25	390100.40	8248799.04
12	378989.57	8285618.81	26	390000.15	8248783.69
13	378960.53	8285695.43	27	389900.38	8248763.54
14	378936.19	8285774.51	28	389899.42	8248699.27

Para el comportamiento vertical del sonido en dB se consideró que las fuentes de emisión son adireccionales y puntuales en cada muestra, y se utilizó para el cálculo la siguiente ecuación [15]:

$$L = Lw - 20 \log d - 11 \quad (1)$$

Dónde: L representa la intensidad sonora a la altura del cálculo, Lw representa el nivel de potencia de la fuente sonora puntual inicial (LAeq monitoreo en dB), d es la distancia constante (cota +5, +20, +50 y +100).

Para los cálculos estadísticos se utilizó el *software* IBM SPSS 22 y para la geoestadística método kriging para la predicción de la zonificación de ruidos con el *software* ArcGIS 10.3.

Resultados y discusión

En el cuadro 3 se muestran los resultados obtenidos al aplicar la ecuación 1 para determinar la distribución vertical del sonido en la festividad Virgen de la Candelaria de la ciudad de Puno. Se observa en el cuadro 3, el cálculo del comportamiento vertical del sonido con fuente de emisión puntual en Puno del LAeq, para la cota +5 m, con un comportamiento de la media de 68.68 ± 1.04 dB, en el caso cota +20 m, el valor medio es de 56.64 ± 1.04 dB. Ambos valores anteriores mostrados, sobrepasan los límites mínimos y máximos permisibles, los cuales se ubican en un rango entre 50 y 60 dB [16].

Cuadro 3. Comportamiento LAeq vertical dB puntual parada Virgen de la Candelaria en Puno.

Punto	Cota	dB(A)	+ 5 m	+ 20 m	+ 50 m	+ 100 m
1	3810.0	76.7	51.7	39.7	31.7	25.7
2	3810.1	81.4	56.4	44.4	36.4	30.4
3	3810.2	96.1	71.1	59.1	51.1	45.1
4	3810.3	97.3	72.3	60.3	52.3	46.3
5	3810.4	99.2	74.2	62.2	54.2	48.2
6	3810.5	99.8	74.8	62.8	54.8	48.8
7	3810.6	97.2	72.2	60.2	52.2	46.2
8	3810.7	94.9	69.9	57.9	49.9	43.9
9	3810.8	94.8	69.8	57.8	49.8	43.8
10	3810.9	94.0	69.0	57.0	49.0	43.0
11	3810.9	91.7	66.7	54.7	46.7	40.7
12	3810.9	84.9	59.9	47.9	39.9	33.9
13	3810.9	99.2	74.2	62.2	54.2	48.2
14	3811.0	92.0	67.0	55.0	47.0	41.0
15	3811.1	97.7	72.7	60.7	52.7	46.7
16	3811.2	96.7	71.7	59.7	51.7	45.7
17	3811.3	96.9	71.9	59.9	51.9	45.9
18	3811.4	90.7	65.7	53.7	45.7	39.7
19	3811.5	98.8	73.8	61.8	53.8	47.8
20	3811.6	92.3	67.3	55.3	47.3	41.3
21	3811.7	97.5	72.5	60.5	52.5	46.5
22	3812.0	91.4	66.4	54.4	46.4	40.4
23	3812.1	95.9	70.9	58.9	50.9	44.9
24	3812.2	97.2	72.2	60.2	52.2	46.2
25	3812.3	95.3	70.3	58.3	50.3	44.3
26	3812.4	86.1	61.1	49.1	41.1	35.1
27	3812.5	93.8	68.8	56.8	48.8	42.8
28	3812.6	93.2	68.2	56.2	48.2	42.2

En el caso de las cotas +50 m +100 m, el valor de las medias es de 48.68 ± 1.05 dB y 42.66 ± 1.05 dB respectivamente, los cuales se encuentran por debajo del límite inferior permisible, esto, es debido a que las alturas promedio de las edificaciones es de 20 metros de altura impidiendo que el ruido se disperse a menor altitud manteniendo los niveles de contaminación acústica por encima al límite máximo permisible. Lo anterior coincide con la misma tendencia reportada, al evaluar el ruido vertical en una zona urbana de Cuiabá, Várzea Grande / MT, Brasil [17].

En el cuadro 4, se muestran los resultados obtenidos al aplicar la ecuación 1 a los datos obtenidos en la parada carnaval de Juliaca en cada una de los puntos verticales.

La tendencia de los resultados mostrados en el cuadro 4, sigue el mismo comportamiento que el observado en los resultados mostrados en cuadro 3. El análisis estadístico de los resultados obtenidos mostró que las medias de los valores son estadísticamente iguales entre los dos lugares evaluados en cada uno de los puntos verticales con un nivel de confianza de 95% (p -valor = 0.133).

Cuadro 4. Comportamiento LAeq vertical dB puntual parada carnaval de Juliaca.

Punto	Cota	dB(A)	+ 5 m	+ 20 m	+ 50 m	+ 100 m
1	3821.0	87.2	62.2	50.2	42.2	36.2
2	3821.1	84.3	59.3	47.3	39.3	33.3
3	3821.2	77.7	52.7	40.7	32.7	26.7
4	3821.3	87.3	62.3	50.3	42.3	36.3
5	3821.3	91.8	66.8	54.8	46.8	40.8
6	3821.3	91.6	66.6	54.6	46.6	40.6
7	3821.3	97.4	72.4	60.4	52.4	46.4
8	3821.4	87.1	62.1	50.1	42.1	36.1
9	3821.4	97.9	72.9	60.9	52.9	46.9
10	3821.4	91.8	66.8	54.8	46.8	40.8
11	3821.5	80.6	55.6	43.6	35.6	29.6
12	3821.5	93.8	68.8	56.8	48.8	42.8
13	3821.5	79.3	54.3	42.3	34.3	28.3
14	3821.6	85.8	60.8	48.8	40.8	34.8
15	3821.6	87.2	62.2	50.2	42.2	36.2
16	3821.7	89.3	64.3	52.3	44.3	38.3
17	3821.7	93.1	68.1	56.1	48.1	42.1
18	3821.7	89.9	64.9	52.9	44.9	38.9
19	3821.8	103.1	78.1	66.1	58.1	52.1
20	3821.8	89.7	64.7	52.7	44.7	38.7
21	3821.8	94.2	69.2	57.2	49.2	43.2
22	3821.8	98.0	73.0	61.0	53.0	47.0
23	3821.9	95.0	70.0	58.0	50.0	44.0
24	3821.9	98.1	73.1	61.1	53.1	47.1
25	3821.9	90.8	65.8	53.8	45.8	39.8
26	3822.0	88.3	63.3	51.3	43.3	37.3
27	3822.0	100.6	75.6	63.6	55.6	49.6
28	3822.0	81.5	56.5	44.5	36.5	30.5

De acuerdo a las estimaciones realizadas para la ciudad de Juliaca, con valores promedios de sonido de 65.46 ± 1.21 dB para la cota +5 m, 53.42 ± 1.21 dB en el caso de la cota +20 m, 45.46 ± 1.21 dB en la cota +50 m y finalmente 39.44 ± 1.21 dB para la cota +100 m. Igualmente se comprobó la concordancia con lo mostrado al evaluar el ruido vertical en una zona urbana de Cuiabá, Várzea Grande / MT, Brasil [17]. También se destacó la fuerte dependencia del sonido respecto a la distancia medida desde el punto donde se genera, para la ciudad de Madrid, España, observación que coincide con lo observado [9]. La investigación desarrollada en una zona residencial de Santiago de Chile se reportó un valor de ruido vertical promedio de 57.5 dB [7], valor que aunque sobrepasa el límite mínimo establecido [16], es inferior al medido a menor altura en la presente investigación, lo que se debe a que la presencia de gran cantidad de personas en las actividades culturales, genera un aumento en los niveles del sonido, por lo que los resultados se consideran consistentes. El comportamiento gráfico de los resultados se muestra en la figura 1.

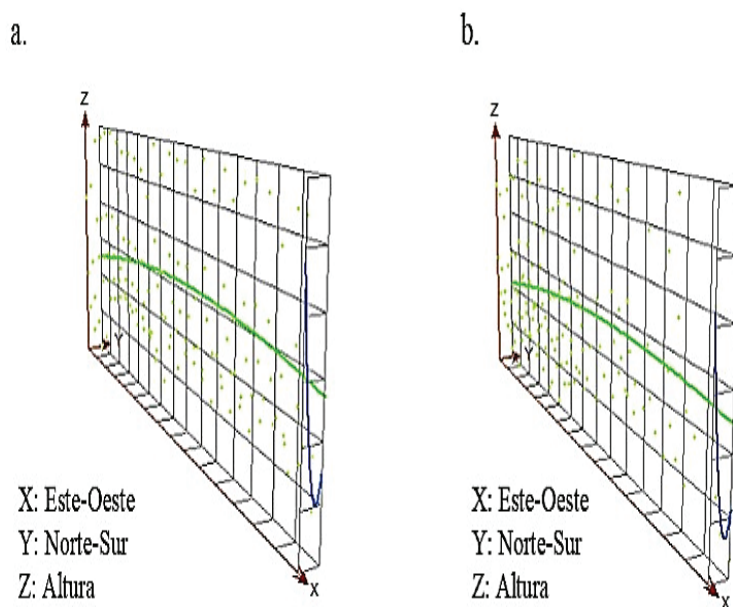


Figura 1. Tendencia LAeq vertical. (a) Caso estudio parada Virgen de la Candelaria Puno. (b) parada carnaval Juliaca.

En la figura 1, se observa que las tendencias verticales del LAeq para ambas localidades, de norte a sur (línea azul) y de este a oeste (línea verde), forma una curva usando una ecuación de segundo orden.

En la figura 2, se observa el resultado del mapeo vertical del sonido en la parada Virgen de la Candelaria en Puno, destacándose 10 zonas verticales en base a los niveles de sonido calculados mediante la técnica kriging.

El 30% muestran contaminación en el mapa de ruidos vertical se encuentran entre un mínimo de 25.7 dB y el máximo 99.8 dB de las muestras de LAeq vertical Candelaria el error mínimo fue de 1.1% y el máximo de 3.36%, el nivel de confiabilidad del mapa fue de 96.64%. El comportamiento vertical del ruido en la Av. Costanera, Jr. Lampa y Av. La torre a una altura de 20 metros presenta valores superiores el límite máximo de 60 dB, sin embargo, a partir de los 30 metros el valor disminuye a 53.15 dB, que se encuentra entre los límites permisibles [16].

En el caso del mapeo kriging para la parada carnaval de Juliaca, se observa en la figura 3, que existen 10 zonas verticales diferenciadas, lo cual coincide con lo observado en la otra localidad.

En el caso de la figura 3, el comportamiento vertical del ruido en la Av. 4 de noviembre, Jr M. Nuñez, Jr Libertad, Jr Cusco y Jr. Junin, presentan contaminación acústica a una altura de 22 metros sin embargo a los 30 metros se estimó un valor de 52.90 dB, que se encuentra entre los límites permisibles [16], teniéndose una confiabilidad del 95.39% en la estimación.

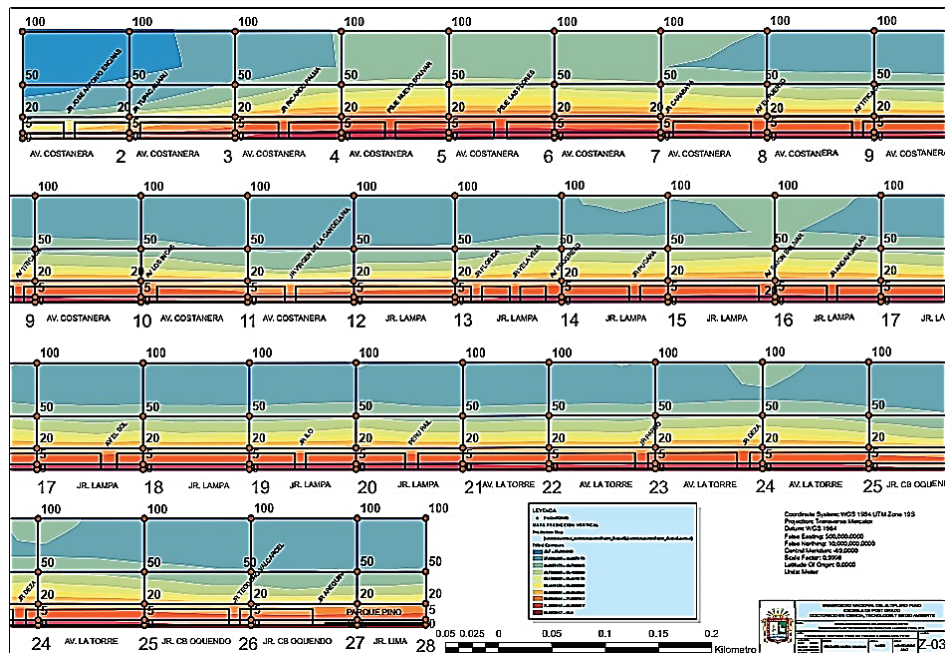


Figura 2. Predicción vertical para dB en parada de Virgen de la Candelaria en Puno.

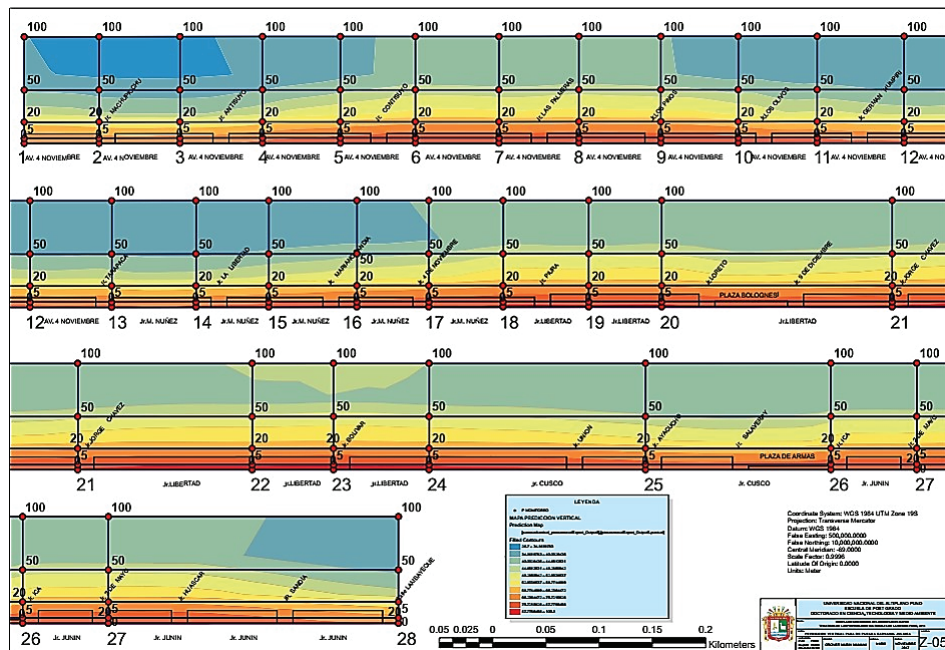


Figura 3. Predicción vertical para dB en parada carnaval en Juliaca.

En ciudades pequeñas como las estudiadas, se han medido niveles de ruido superiores a 85 dB, por lo que hay muchas personas que pueden ser afectados y sufren efectos sobre la salud, como perturbaciones del sueño [18]. Así mismo, se ha observado que, en los espacios públicos, dejando de lado el tráfico, la fuente de ruido principal es la gente gritando en la calle, pero no es la única razón del ruido [19], lo que es consistente con lo observado, ya que la gente que participa en las festividades culturales en las localidades estudiadas fueron la fuente principal del ruido, llegando a los niveles medidos a alturas cercanas al suelo.

Los resultados también son consistentes con otros estudios realizados, en donde los autores indican que la geoestadística es una técnica reforzada que cuenta con factores como número y distribución ordenada de muestras que representan grado de contaminación con resultados satisfactorios, el método de interpolación kriging para mapas con cambio de plano x , y a x , z ó y , z muestra resultados densos de estimaciones para entender la fluctuación e intensidad de puntos proyectados a ciertas alturas [20], [21]. Se considera que, en los modelos verticales para la ionosfera, el kriging y métodos de redes neuronales (modelos matemáticos) son las herramientas más adecuadas para modelado vertical [22], sin embargo, también se ha reportado, que las medidas de incertidumbre (predicción de mapas en z) que muestran de tamaño de un bloque ordenado de una variable no es un buen indicador de la incertidumbre de la información [23]. Otras investigaciones, dan a conocer que los datos de GPS y datos del SIG para generación de mapas de ruido de tráfico vehicular son optimizados mediante algoritmos kriging, demostrando precisión y eficacia en tiempo real [24], [25].

El uso de la técnica de interpolación kriging, presenta como fortaleza, que con ella se puede tener conocimiento del comportamiento de la variable en el espacio [10], [26], por lo que permite la posibilidad de realizar simulaciones probabilísticas, representando el resultado del kriging como la probabilidad de que la variable alcance un determinado valor, lo que les da validez estadística a los resultados obtenidos en el presente estudio. Por otro lado, también se considera que la efectividad del kriging como método de predicción está sujeta a la cantidad de puntos de medición que se obtengan, a mayor densidad de puntos, mayor es la confiabilidad de la predicción [12].

En relación al estudio realizado, se cuenta con escasos antecedentes en relación a mapas verticales de ruido, sin embargo, la metodología aplicada sienta las bases para posibles investigaciones que se orienten a la generación de mapas de ruido que contribuyan a minimizar el impacto del ruido producto de eventos culturales, para que los mismos puedan ser disfrutados por las personas sin riesgo. También puede ser importante para la ubicación y direccionamiento de las rutas de movilización en las festividades por zonas donde las edificaciones no amplifiquen el sonido generado.

Conclusiones

1. El modelamiento kriging para la elaboración de mapas temáticos verticales mostraron flexibilidad, lográndose un nivel de confiabilidad mayor al 95% en todas las estaciones monitoreadas tanto en Puno como Juliaca, obteniéndose niveles de sonido que superan los rangos permisibles (50 - 60 dB), que se extienden hasta una altura de 20 metros aproximadamente que equivale a un edificio de 7 pisos.
2. Los niveles de contaminación sónica puntual reducen su intensidad en tramos mayores a la cota +20 m, +50 m y +100 m de altitud. El efecto que tienen los pavimentos y las viviendas hacen que la intensidad se mantenga a alturas menores de 20 metros, lo que lleva a que en Puno y Juliaca la contaminación alcanza estándares normales para el LAeq a los 30 metros de altura con un aproximado de 53.15 dB y 52.90 dB respectivamente, salvo el caso donde las edificaciones son de 3 pisos, la contaminación se mantiene a 10 metros, en el caso de las plazas esta se disminuye por la amplitud de su espacio público, en las intersecciones de las calles el ruido se bifurca perdiendo fuerza por las colindancias, convirtiendo a las zonas de edificación con altura considerable zonas críticas de contaminación.

Referencias

- [1] J.M. Merino y L. Muñoz-Repiso, "La percepción acústica: Física de la audición." *Revista de Ciencias*, vol. 2, pp. 19-26, 2013.
- [2] E.J. Menso, "El decibel: características y aplicaciones." *Revista Telegráfica electrónica Argentina*, vol. 81, no. 939, pp. 34-39, 1993.
- [3] C.O. Olague-Caballero, G. Wenglas-Lara y J.G. Duarte-Rodríguez. "Contaminación por ruido en carreteras de acceso a la ciudad de Chihuahua." *CienciaUAT*, vol. 11, no. 1, pp. 101-115, 2016.
- [4] Brüel & Kjær (2000). Ruido ambiental. [On line]. Disponible en: <https://www.bksv.com/media/doc/br1630.pdf>
- [5] J.R. Chávez. "Ruido: Efectos Sobre la Salud y Criterio de su Evaluación al Interior de Recintos." *Ciencia y Trabajo*, vol. 8, no. 20, pp. 42-46, 2006.
- [6] R. Salas y E. Barboza. "Evaluación del ruido ambiental en el Campus de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Perú." *Revista Indes*, vol. 2, no. 1, pp. 88-9, 2016.
- [7] L. Platzer, R. Iñiguez, J. Cevo y F. Ayala. "Medición de los niveles de ruido ambiental en la ciudad de Santiago de Chile." *Revista de otorrinolaringología y cirugía de cabeza y cuello*, vol. 67, pp. 122-128, 2007.
- [8] F. Moreno, M.G. Orozco y M.D.R. Zumaya. "Los niveles de ruido en una biblioteca universitaria, bases para su análisis y discusión." *Investigación bibliotecológica*, vol. 29, no. 66, pp. 197-224, 2005.
- [9] A.M. Moreno y P. Martínez. "El ruido ambiental urbano en Madrid. Caracterización y evaluación cuantitativa de la población potencialmente afectable." *Boletín de la Asociación Española de Geografía*, vol. 40, pp. 153-179, 2005.
- [10] A. Gallardo. "Geoestadística." *Ecosistemas*, vol. 15, no. 3, pp. 1-11, 2006.
- [11] D.O. Martínez, D.O. "Elaboración del mapa de ruido del área urbana de la Ciudad de Cuenca – Ecuador, empleando la técnica de interpolación geoestadística Kriging ordinario." *Revista Ciencias Espaciales*, vol. 8, no. 1, pp. 411-440, 2015.
- [12] P. Aumond, A. Can, V. Mallet, B. De Coensel, C. Ribeiro, D. Botteldooren and C. Lavandier. "Kriging-based spatial interpolation from measurements for sound level mapping in urban areas." *Journal of the Acoustical Society of America*, *Acoustical Society of America*, vol. 143, no. 5, pp. 2847-2857, 2018.
- [13] M. Ausejo. "Estudio de la validación, errores e incertidumbre en la elaboración de mapas de ruido." Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, España, 2009.
- [14] J. Romeu, S. Jiménez, M. Genescà, T. Pàmies and R. Capdevila. "Spatial sampling for night levels estimation in urban environments." *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 120, no. 2, pp. 791-800, 2006.
- [15] R. Estellés. "Acústica arquitectónica definiciones, formulas y tablas." Montevideo: Universidad de la República.
- [16] Decreto Supremo N° 085-2003-PCM. (30 de octubre 2003). Reglamento de estándares nacionales de calidad ambiental para ruido. [On line]. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/>
- [17] A.E. Bento, L. Cleonice, J. Correia y I.J. Apolônio. "Predicción del ruido urbano debido a la implementación del Sistema de Tren Eléctrico Urbano (VLT) por medio de simulación computacional." *INTERAÇÕES, Campo Grande, MS*, vol. 18, no. 4, pp. 81-97, 2017.
- [18] M.J. Ballesteros, M.D. Fernández and J.A. Ballesteros. "Acoustic evaluation of leisure events in two mediterranean cities." *Applied Acoustics*, vol. 89, pp. 288-296, 2015.
- [19] M.J. Ballesteros, M.D. Fernández, I. Flindell, A.J. Torija and J.A. Ballesteros. "Estimating leisure noise in Spanish cities." *Applied Acoustics*, vol. 86, pp. 17-24, 2014.
- [20] Y. Yang, J. Wu and G. Christakos. "Prediction of soil heavy metal distribution using Spatiotemporal Kriging with trend model." *Ecological Indicators*, vol. 56, pp. 125-133, 2015.
- [21] S.H. Monger, E.R. Morgan, A.R. Dyreson and T.L. Acker. "Applying the kriging method to predicting irradiance variability at a potential PV power plant." *Renewable Energy*, vol. 86, pp. 602-610, 2016.
- [22] C. Jiang, C. Zhou, J. Liu, T. Lan, G. Yang, Z. Zhao, P. Zhu, H. Sun and X. Cui. "Comparison of the Kriging and neural network methods for modeling foF2 maps over North China region." *Advances in Space Research*, vol. 6, pp. 38-46, 2015.
- [23] M. Lark. "Block correlation and the spatial resolution of soil property maps made by kriging." *Geoderma*, vol. 260, pp. 233-242, 2015.

- [24] X. Peng, K. Wang and Q. Li. "A new power mapping method based on ordinary kriging and determination of optimal detector location strategy." *Annals of Nuclear Energy*, vol. 68, pp. 118-123, 2014.
- [25] M. Cai, J. Zou, J. Xie and X. Ma. "Road traffic noise mapping in Guangzhou using GIS and GPS." *Applied Acoustics*, vol. 87, 94-102, 2015.
- [26] P. Afzal, N. Madani, S. Shahbeik and A.B. Yasrebi. "Multi-Gaussian kriging: a practice to enhance delineation of mineralized zones by Concentration–Volume fractal model in Dardevey iron ore deposit, SE Iran." *Journal of Geochemical Exploration*, vol. 158, pp. 10-21, 2015.