

Variaciones geográficas de morbilidad por COVID-19 en El Salvador: análisis estadístico espacial con SaTScan

Geographic variations of morbidity due to COVID-19 in El Salvador: spatial statistical analysis with SaTScan

Roger Bonilla-Carrión⁽¹⁾.

1. Escuela de Estadística, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

Correspondencia: Roger Bonilla-Carrión, roger.bonilla@ucr.ac.cr
ORCID: 0000-0002-8789-4494

DOI: <https://doi.org/10.36109/rmg.v161i4.556>

Recibido: 1 de Julio 2022 - **Aceptado:** 14 de Julio 2022 - **Publicado:** Diciembre 2022

Resumen

Antecedentes. El COVID-19 es un problema de salud pública en los países en vías de desarrollo, incluyendo El Salvador. Muchos estudios han investigado acerca de la epidemiología y tratamiento del COVID-19, pero pocos han informado sobre la distribución geográfica del COVID-19, la variabilidad y agrupamiento espacial, para diseñar políticas de salud a nivel local. **Objetivo.** El objetivo de este estudio es investigar la variabilidad y agrupamiento espacial de morbilidad por COVID-19 en El Salvador. **Métodos.** Se realizó una revisión retrospectiva de los registros de COVID-19 utilizando datos informados al Ministerio de Salud del gobierno de El Salvador entre el 13 de Marzo del 2020 y el 13 de Junio del 2022. Se incluyeron y geocodificaron 261 municipios en el estudio y se utilizaron estadísticas espaciales de exploración espacial para identificar clústeres de COVID-19. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando los programas Microsoft EXCEL y SaTScan y los mapas se realizaron usando el programa R. **Resultados.** La morbilidad por COVID-19 en El Salvador presentó evidencia estadística de agrupamiento espacial. Se encontraron cinco clústeres puramente espaciales muy probables en San Salvador (RR=2.22, p=0.00), San Miguel (RR=2.25, p=0.00), Santa Ana (RR=1.82, p=0.00), Chalatenango (RR=2.85, p=0.00) y Nombre de Jesús (RR=1.57, p=0.00). **Conclusión.** La COVID-19 no ocurrió al azar, sino que presentó heterogeneidad espacial. Se recomienda tomar en cuenta la heterogeneidad espacial identificada en los clústeres para la prevención y el control del COVID-19.

Palabras clave: COVID-19, morbilidad, análisis geoestadístico, clústeres, El Salvador.

Abstract

Background: COVID-19 is a public health problem in developing countries, including El Salvador. Many studies have investigated the epidemiology and treatment of COVID-19, but few have reported on the geographic distribution of COVID-19, variability and spatial clustering, to design health policies at the local level. **Objective:** the objective of this study is to investigate the variability and spatial clustering of COVID-19 morbidity in El Salvador. **Methods:** a retrospective review of COVID-19 records was conducted using data reported to the Ministry of Health of the government of El Salvador between March 13, 2020 and June 13, 2022. 261 municipalities were included and geocoded in the study and spatial statistics from space exploration were used to identify clusters of COVID-19. Statistical analyzes were performed using the Microsoft EXCEL and SaTScan programs and the maps were made using the R program. **Results:** COVID-19 morbidity in El Salvador presented statistical evidence of spatial clustering. Five very likely purely spatial clusters were found in San Salvador (RR=2.22, $p=0.00$), San Miguel (RR=2.25, $p=0.00$), Santa Ana (RR=1.82, $p=0.00$), Chalatenango (RR=2.85, $p=0.00$) and Nombre de Jesús (RR=1.57, $p=0.00$). **Conclusion:** COVID-19 did not occur randomly, but presented spatial heterogeneity. It is recommended to take into account the spatial heterogeneity identified in the clusters for the prevention and control of COVID-19.

Keywords: COVID-19, morbidity, geostatistical analysis, clusters, El Salvador.

Introducción

El COVID-19 es un problema de salud pública en los países en vías de desarrollo, incluyendo El Salvador. Pocos estudios han informado sobre la distribución geográfica del COVID-19, la variabilidad y agrupamiento espacial. La comprensión de la epidemiología y el patrón de las enfermedades en el espacio son necesarias para el manejo y el control de las enfermedades [1]. Evitar el contagio comunitario es uno de los objetivos en salud pública, a través del control de los casos [2]. La comparación de las tasas entre zonas es una práctica muy común en epidemiología, pero son limitadas porque los casos pueden estar influidos por la geografía local (pobreza, temperatura, precipitaciones, etc.). Las fronteras administrativas están trazadas por criterios institucionales que pueden no reflejar la realidad epidemiológica creando sesgos de selección [3]. La heterogeneidad espacial de las tasas de COVID-19 en El Salvador aún no se ha investigado. Para el adecuado diseño de políticas de prevención y control de la enfermedad por coronavirus COVID-19, es muy importante conocer el patrón espacial de los casos [4]. Este estudio investigó los patrones espaciales de la morbilidad por COVID-19 en El Salvador, mediante el análisis estadístico espacial con SaTScan. El análisis con SaTScan funciona muy bien en la identificación de clústeres en comparación con otras técnicas de análisis espacial [5-6]. El objetivo de este estudio fue investigar la variabilidad y agrupamiento espacial de morbilidad por COVID-19 en El Salvador. Este es el primer estudio en El Salvador que identifica clústeres espaciales de morbilidad por COVID-19.

Material y métodos

Área de estudio. El área de estudio incluyó los municipios de El Salvador, ubicado entre los 13.0° y 14.5° de latitud norte y los 87.5° y 90.5° de longitud oeste (Fig. 1). Se realizó un análisis espacial en los 261 municipios de El Salvador. Según el Censo Nacional de Población y Vivienda de El Salvador del año 2007 que fue la base a nivel de municipios. La población proyectada para 2021 en El Salvador es de aproximadamente 6 323 485. El Salvador tiene dos estaciones: la seca, de Noviembre a Abril y la lluviosa, de Mayo a Octubre. Además, El Salvador se ve afectado por la estación de huracanes del Caribe, de Junio a Noviembre. Las frecuentes tormentas tropicales y huracanes aumentan el caudal de los ríos locales, afectando algunas de las áreas con inundaciones. La temperatura media anual en El Salvador es de 24.8 C, presentándose la temperatura promedio más baja en los meses de Diciembre (23.8 C) y Enero (23.9 C), mientras que el mes más cálido es Abril (32.0 C). La precipitación promedio anual es de 1 823 mm [7]. Un clúster es un área geográfica en donde los casos reportados son mayores a los esperados.

Recopilación de datos y control de calidad. Se hizo una recopilación de datos retrospectivos sobre los casos por COVID-19 a nivel de municipio, disponibles en el Ministerio de Salud del gobierno de El Salvador [8], durante un periodo de 27 meses, desde el 13 de marzo del 2020 hasta el 13 de junio del 2022. Se incluyeron y geocodificaron 261 municipios en el estudio con ayuda del Google Earth (<https://www.google.com/earth/>). Los datos de población para el estudio fueron proyectados exponencialmente con base en los resultados a nivel municipal del Censo Nacional de Población y Vivienda de El Salvador de 2007 de la Dirección General de Estadística y Censos de El Salvador (DIGESTYC) [9]. El mapa de polígonos a nivel de municipio se obtuvo de un mapa vectorial en formato GeoJSON y las capas (layers) de datos espaciales se crearon en R [10]. **Análisis de datos. Distribución espacial de la morbilidad por COVID-19.** Se describió la morbilidad por COVID-19 a partir de la tasa de morbilidad, que se calculó como la razón de los casos observados entre la población de un municipio y multiplicado por 100 mil habitantes. Se calculó la estadística global I de Moran para identificar los patrones de autocorrelación positiva o clústeres en la morbilidad por COVID-19 en Costa Rica. **Análisis de clústeres espaciales.** Los clústeres puramente espaciales, se analizaron utilizando la herramienta de estadística espacial SaTScan™ desarrollada por Kulldorff [11]. Se utilizó el modelo discreto de Poisson bajo el supuesto que el número de casos de COVID-19 en cada municipio se distribuyó según la distribución de Poisson. Los casos de COVID-19 se tomaron como casos, que fueron compensadas por la población del cantón (offset), que se usó para ajustar el modelo de Poisson [11]. Luego, los datos de Poisson se analizaron con las estadísticas de escaneo puramente espacial (purely spatial scan). El error tipo 1 se definió en $\alpha = 0.05$ para probar si el grupo era significativo. Los análisis estadísticos se realizaron usando Microsoft Excel, SaTScan y R [10]. Se utilizó una hoja de cálculo de Microsoft Excel para describir los datos. Los clústeres espaciales se analizaron utilizando el programa SaTScan. **Consideraciones éticas.** El autor declara que en el estudio no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales, los datos utilizados provienen de las bases de datos retrospectivas, públicas y anonimizadas de las estadísticas producidas el Ministerio de Salud del Gobierno de El Salvador. El autor declara que en este artículo no aparecen datos de pacientes. No se recibió patrocinio de ningún tipo para llevar a cabo este artículo. El autor declara que no existen conflictos de intereses.

Resultados

Se obtuvo información de los 261 municipios de El Salvador, en donde se reportaron 161 941 casos de COVID-19 entre el 13 de Marzo del 2020 y el 13 de Junio del 2022. Distribución espacial de la morbilidad por COVID-19 La tasa de morbilidad por COVID-19 durante el período de estudio fue de 2560.9 por 100 mil habitantes. La morbilidad más alta (12 390.6 por 100 mil habitantes) se dio en el municipio de El Rosario, departamento de Morazán y en cuatro municipios del departamento de Chalatenango: Azacualpa (8458.6), Chalatenango (7725.1), Nueva Trinidad (7211.2) y Comalapa (6165.4). Las tasas de morbilidad más bajas (52.8 por 100 mil ocurrieron en el municipio de San Fernando, Departamento de Morazán; en San Lorenzo, Departamento de San Vicente (107.4) y en el municipio de Teotepeque, Departamento de La Libertad (168.1)(Fig. 1 y Cuadro 1). Al calcular la estadística global I de Moran (I de Moran = 0.059, $p < 0.05$), la morbilidad por COVID-19 tuvo patrones de autocorrelación positiva o clústeres en El Salvador.

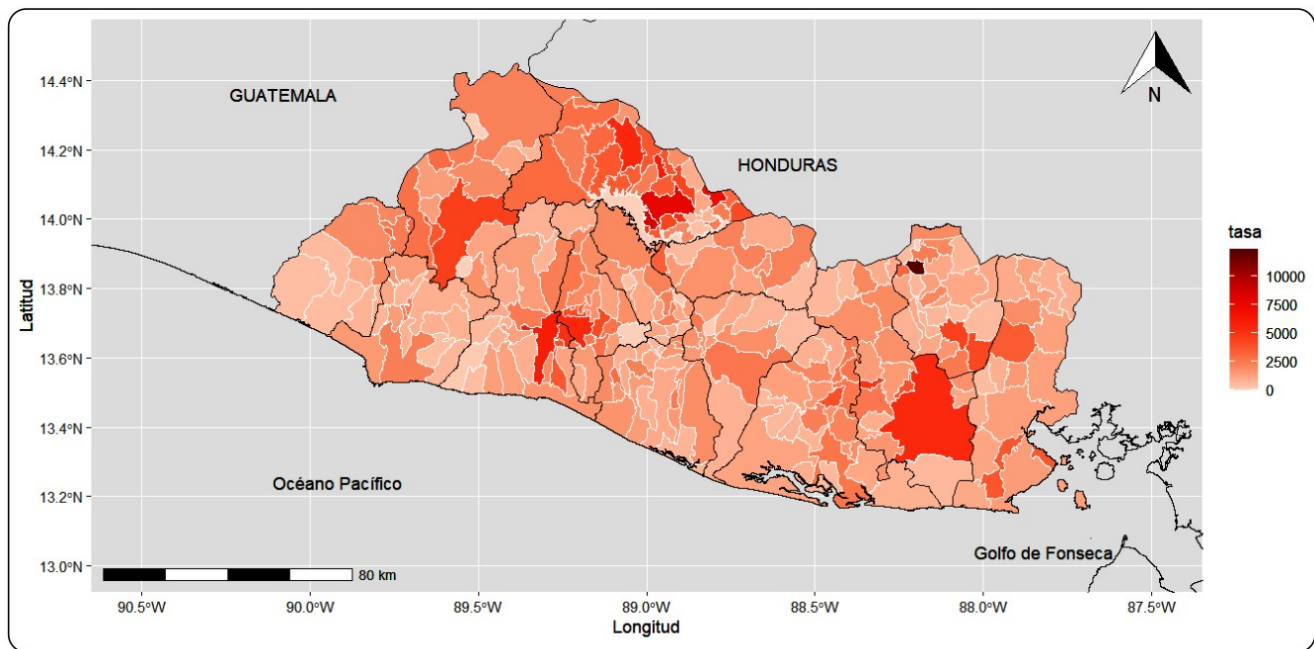


Fig. 1. Tasas de morbilidad de COVID-19 en El Salvador por municipios, 13 de Mar, 2020-13 de Jun, 2022 (por 100 mil habitantes).

Cuadro 1. Población, Defunciones, Tasa de mortalidad por COVID-19 por departamentos y municipios en El Salvador, 13 de Mar, 2020-13 de Jun, 2022 (por 100 mil habitantes). Tasas más altas y más bajas.

Tasas más altas				Tasas más bajas			
Depto/municipio	Población	Defunc	Tasa	Depto/municipio	Población	Defunc	Tasa
MORAZÁN				MORAZÁN			
El Rosario	184	1 485	12 390.6	San Fernando	1	1 894	52.8
CHALATENANGO				SAN VICENTE			
Azacualpa	90	1 064	8 458.6	San Lorenzo	7	6 519	107.4
Chalatenango	2 118	27 417	7 725.1	LA LIBERTAD			
Nueva Trinidad	113	1 567	7 211.2	Teotepeque	25	14 873	168.1
Comalapa	173	2 806	6 165.4				

Fuente: Elaboración propia basado en los datos del Ministerio de Salud, Gobierno de El Salvador (casos de COVID-19) y la Dirección General de Estadística y Censos de El Salvador (DIGESTYC) (datos de población).

Clústeres puramente espaciales de COVID-19. La morbilidad por COVID-19 en El Salvador presentó evidencia estadística de agrupamiento espacial. Se encontraron cinco clústeres puramente espaciales muy probables en San Salvador (RR=2.22, p=0.00), San Miguel (RR=2.25, p=0.00), Santa Ana (RR=1.82, p=0.00), Chalatenango (RR=2.85, p=0.00) y Nombre de Jesús (RR=1.57, p=0.00)(Fig. 2, Cuadro 2).

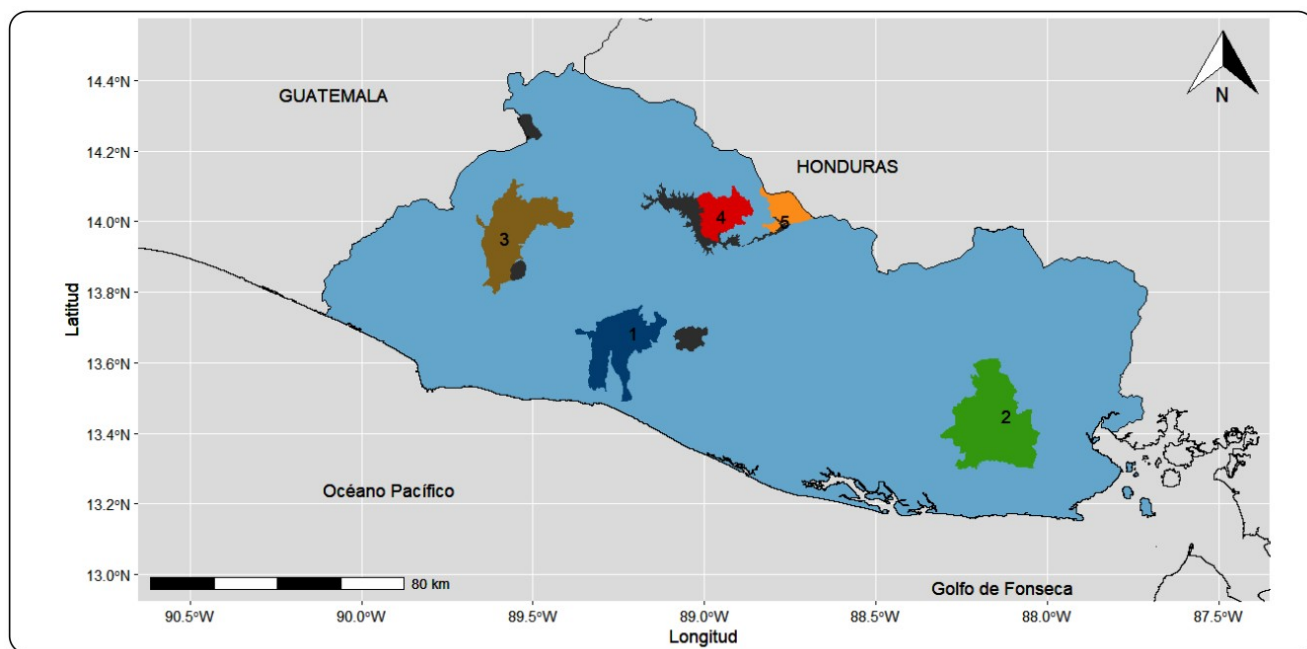


Fig. 2. Clústeres espaciales de morbilidad de COVID-19 en El Salvador por municipios, 13 de Mar, 2020-13 de Jun, 2022.

Cuadro 2. Clústeres espaciales de morbilidad de COVID-19 en El Salvador por municipios, Marzo 2020-Junio 2022.

Clúster	Nombre del clúster ^a	Población	Obs ^b	Exp [†]	RR	Valor-p
1	San Salvador (10)	1 121 537	52 431	28 722.0	2.22	0.00*
2	San Miguel (1)	234 207	12 907	5 997.9	2.25	0.00*
3	Santa Ana (2)	282 572	12 699	7 236.5	1.82	0.00*
4	Chalatenango (6)	34 233	2 471	876.7	2.85	0.00*
5	Nombre de Jesús (4)	10 263	413	262.8	1.57	0.00*

RR, Riesgo relativo. ^a Número de municipios entre paréntesis. ^b Número de casos observados en un clúster. [†] Número de casos esperados en un clúster. Fuente: Elaboración propia basado en los datos del Ministerio de Salud, Gobierno de El Salvador (casos de COVID-19) y la Dirección General de Estadística y Censos de El Salvador (DIGESTYC) (datos de población).

Discusión

Los patrones de distribución espacial, de los casos de COVID-19 en los municipios de El Salvador no fueron aleatorios sino que presentó heterogeneidad espacial. El modelo puramente espacial identificó un clúster más probable en San Salvador, un clúster que presenta alta densidad de población y actividad comercial que puede explicar las altas tasas de morbilidad por COVID-19 [12]. Los clústeres de San Miguel y Santa Ana también presentan altas densidades de población, en estos lugares predomina la pobreza y la marginación, factores que pueden explicar las altas tasas de morbilidad por COVID-19 [13]. El clúster de Chalatenango presenta también una alta densidad de población, ruralidad, pobreza y marginación. La presencia de lluvias en la zona, favorece los problemas respiratorios, y esos factores combinados están asociados a la morbilidad por COVID-19 [14]. Finalmente, el clúster de Nombre de Jesús es un punto ciego fronterizo con Honduras y es un lugar de difícil acceso a los servicios de salud, En ese clúster rural hay pobreza y bajos niveles educativos. Esos factores y el tráfico internacional de personas hacen que se incremente la morbilidad por COVID-19 [15]. Una limitación de este estudio es la falta de información sobre el COVID-19 en unidades geográficas más pequeñas. Lo anterior hace que exista una alta probabilidad que los clústeres significativos sean grandes, reproduciendo un sesgo de selección. Otro problema de la falta de disponibilidad de datos, es que este estudio no pudo evaluar la asociación entre la morbilidad del COVID-19 y la temperatura, las precipitaciones, la ruralidad, la pobreza o marginación. El método de estadísticas de exploración espacial es muy eficaz para detectar clústeres locales con buena precisión y podría ayudar a los profesionales de la salud a evaluar los clústeres de COVID-19 y la detección temprana de brotes. Esta técnica se ha utilizado para detectar, analizar y caracterizar los patrones espaciales de los clústeres de COVID-19 en Centroamérica [16]. Los clústeres con este método son circulares y de tamaño diferente a las áreas dentro de los límites del municipio. Eso podría resultar en la exclusión o inclusión de municipios que registren un exceso o menor riesgo. Sin embargo, el análisis de clústeres puede proporcionar información valiosa sobre la heterogeneidad espacial del COVID-19 que puede ser relevante para estudios futuros en El Salvador. Los resultados de este estudio permitirán a los investigadores a generar hipótesis sobre los factores ambientales o socioeconómicos que podrían estar influyendo en la distribución del COVID-19. Se recomienda tomar en cuenta la heterogeneidad espacial identificada en los clústeres para la prevención y el control del COVID-19.

Agradecimientos

El autor agradece al Ministerio de Salud del Gobierno de El Salvador por suministrar la información base para este artículo (casos de COVID-19) y a la Dirección General de Estadística y Censos de El Salvador (DIGESTYC) por los datos de población. El autor agradece a la Escuela de Estadística de la Universidad de Costa Rica por su apoyo técnico y administrativo.

Referencias bibliográficas / References

1. Nykiforuk JC, Laura M. Flaman ML. Exploring the utilization of geographic information systems in health promotion and public health. Technical report; #08-001. In: The Centre for Health Promotion Studies, School of Public Health, Alberta Uo, editors. 2008.
2. Rodríguez-Morales AJ, Sánchez-Duque JA, Hernández Botero S, Pérez-Díaz CE, Villamil-Gómez WE, Méndez CA, et al. Preparación y control de la enfermedad por coronavirus 2019 (COVID-19) en América Latina. *Acta Médica Perú* [Internet]. 2020;37(1):3-7. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.35663/amp.2020.371.909>
3. Kulldorff M. & Information Management Services Inc. SaTScan v. 3.0.5: Software for the Spatial and Space-Time Scan Statistics. Bethesda, Maryland: National Cancer Institute. USA; 2002.
4. Ramírez-Valverde G, Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, Ramírez-Valverde B, Colegio de Postgraduados campus Puebla. Modelo estadístico para defunciones y casos positivos de Covid-19 en México. *EconoQuantum* [Internet]. 2020;18(1):1-20. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18381/eq.v18i1.7223>
5. Jackson MC, Huang L, Luo J, Hachey M, Feuer E. Comparison of tests for spatial heterogeneity on data with global clustering patterns and outliers. *Int J Health Geogr* [Internet]. 2009;8(1):55. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1186/1476-072X-8-55>
6. Song C, Kulldorff M. Power evaluation of disease clustering tests. *Int J Health Geogr* [Internet]. 2003;2(1):9. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1186/1476-072X-2-9>
7. Dirección General del Observatorio de Amenazas [Internet]. Gobierno de El Salvador. [citado el 15 de junio de 2022]. Disponible en: <https://www.snet.gob.sv/>
8. Ministerio de Salud de El Salvador. COVID-19 [Internet]. Situación Nacional COVID-19. [citado el 15 de junio de 2022]. Disponible en: <https://covid19.gob.sv>
9. Dirección General de Estadística y Censos de El Salvador (DIGESTYC). El Salvador. Estimaciones y Proyecciones Nacionales de Población. [Internet]. Gobierno de El Salvador. [citado el 15 de junio de 2022]. Disponible en: <http://www.digestyc.gob.sv/>
10. Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing [Internet]. Vienna, Austria; 2016. Disponible en: <https://www.R-project.org/>
11. Kulldorff M. A spatial scan statistic. *Commun Stat Theory Methods* [Internet]. 1997;26(6):1481-96. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/03610929708831995>
12. Wong DWS, Li Y. Spreading of COVID-19: Density matters. *PLoS One* [Internet]. 2020;15(12):e0242398. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0242398>
13. Dorregaray FZE, Soto TA, De-La-Cruz VJ. Correlation between mortality due to COVID-19, wealth index, human development and population density in districts of Metropolitan Lima during 2020. *Rev Fac Med Humana* [Internet]. 2021;21(4):758-67. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.25176/rfmh.v21i4.3987>
14. Domínguez RJ, Estupiñán VM, Garcés-Ghilardi R, Alvarado-Gamarra G, Del-Águila O, Lope Tenorio AF, et al. Cross-sectional study of the clinical characteristics and outcomes of children hospitalized with COVID-19 in Lima, Peru. *Medwave* [Internet]. 2021;21(1):e8107. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5867/medwave.2021.01.8107>
15. Rodríguez-García-de-Cortázar A, Leralta-Piñán O, Jiménez-Pernett J, Ruiz-Azarola A. COVID-19 en migrantes y minorías étnicas. *Gac Sanit* [Internet]. 2021;35(5):499-501. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaceta.2020.06.002>
16. Bonilla-Carrión R. Guatemala: Análisis geoestadístico del COVID-19 en el primer año de pandemia. *Rev méd (Col Méd Cir Guatem)* [Internet]. 2022;161(1):2-7. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.36109/rmg.v161i1.474>