


<https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop..v71i1.51679>

Efecto de factores sociodemográficos en la mortalidad del COVID-19 en Costa Rica: un enfoque geográfico

Roger Bonilla-Carrión ^{1*};  <https://orcid.org/0000-0002-8789-4494>

Ronald Evans-Meza ²;  <https://orcid.org/0000-0002-0875-9770>

Roberto Salvatierra-Durán ³;  <https://orcid.org/0000-0003-4442-7877>

1. Coordinación de Investigación, Escuela de Medicina, Universidad Hispanoamericana, San José, Costa Rica; roger.bonilla@uhispano.ac.cr (*Correspondencia)
2. Coordinación de Investigación, Escuela de Medicina, Universidad Hispanoamericana, San José, Costa Rica; revans@uhispano.ac.cr
3. Coordinación de Investigación, Escuela de Medicina, Universidad Hispanoamericana, San José, Costa Rica; roberto.salvatierra@uhispano.ac.cr

Recibido 04-VII-2022. Corregido 09-I-2022. Aceptado 28-III-2023.

ABSTRACT

The Effect of Sociodemographic Factors on COVID-19 Mortality in Costa Rica: A Geographic Approach

Introduction: The coronavirus disease (COVID-19) has spread among the population of Costa Rica and has had a great global impact. However, there are important geographic differences in mortality from COVID-19 among world regions and within Costa Rica.

Objective: To explore the effect of some sociodemographic factors on COVID-19 mortality in the small geographic divisions or *cantons* of Costa Rica.

Methods: We used official records and applied a classical epidemiological Poisson regression model and a geographically weighted regression model.

Results: We obtained a lower Akaike Information Criterion with the weighted regression (927.1 in Poisson regression versus 358.4 in weighted regression). The cantons with higher risk of mortality from COVID-19 had a denser population; higher material well-being; less population by health service units and are located near the Pacific coast.

Conclusions: A specific COVID-19 intervention strategy should concentrate on Pacific coast areas with denser population, higher material well-being and less population by health service units.

Key words: COVID-19; socio-demographic factors; generalized linear models (GLM); Poisson regression; geographically weighted regression (GWR); Costa Rica.

RESUMEN

Introducción: La enfermedad por coronavirus (COVID-19) se ha extendido entre la población de todo el país y ha tenido un gran impacto a nivel mundial. Sin embargo, existen diferencias geográficas importantes en la mortalidad de COVID-19 entre las diferentes regiones del mundo y en Costa Rica.

Objetivo: Explorar el efecto de algunos de los factores sociodemográficos en la mortalidad de COVID-19 en pequeñas divisiones geográficas o *cantones* de Costa Rica.

Métodos: Usamos registros oficiales y aplicamos un modelo de regresión clásica de Poisson y un modelo de regresión ponderada geográficamente.



Resultados: Obtuvimos un criterio de información de Akaike (AIC) más bajo con la regresión ponderada (927.1 en la regresión de Poisson versus 358.4 en la regresión ponderada). Los cantones con un mayor riesgo de mortalidad por COVID-19 tuvo una población más densa; bienestar material más alto; menor proporción de cobertura de salud y están ubicadas en el área del Pacífico de Costa Rica.

Conclusiones: Una estrategia de intervención de COVID-19 específica debería concentrarse en áreas de la costa pacífica con poblaciones más densas, mayor bienestar material y menor población por unidad de salud.

Palabras clave: COVID-19; factores socio-demográficos; modelos lineales generalizados (GLM); regresión de Poisson; regresión ponderada geográficamente (GWR); Costa Rica.

INTRODUCCIÓN

El COVID-19 también conocido como enfermedad por nuevo coronavirus es causada por el coronavirus 2 del síndrome respiratorio agudo severo (SARS-CoV-2). Los síntomas del COVID-19 aparecen entre dos y catorce días (período de incubación), con un promedio de cinco días, después de la exposición al virus. La pandemia de la enfermedad empezó a finales del 2019 y se ha extendido entre la población, teniendo un gran impacto a nivel mundial (Carr, 2020; Evans et al. 2022; Lai et al. 2020; Guan et al. 2020; Huang et al. 2020; Velavan & Meyer, 2020; Zhang et al. 2021).

Para controlar la pandemia, es importante analizar los factores de riesgo del COVID-19. Aunque muchos estudios han investigado acerca de la epidemiología, diagnóstico y tratamiento del COVID-19 (Pan et al. 2020; Wu & McGoogan, 2020), pocos han informado sobre la distribución geográfica del COVID-19 en relación con los factores sociodemográficos de las diferentes regiones.

En epidemiología, la mayoría de las investigaciones utilizan modelos de regresión clásicos, como los modelos lineales generalizados (GLM) (Blume et al. 2007; Ludbrook, 2010). Sin embargo, estos modelos clásicos generan un sesgo al estimar parámetros promedios sobre todas las regiones estudiadas, sin considerar una eventual variación geográfica. Los modelos de regresión ponderada geográficamente (GWR) son un enfoque robusto para analizar las variaciones geográficas de los fenómenos epidemiológicos como la mortalidad y otros problemas de salud en la geografía

(Thapa & Estoque, 2012; Fotheringham et al., 2002; Wheeler & Páez, 2010).

Los objetivos principales de este artículo fueron: a) Describir las características geográficas de la mortalidad por COVID-19 entre los cantones de Costa Rica y b) Explorar la variante relación espacial de la mortalidad por COVID-19 y variables sociodemográficas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Fuente de datos: Usando los datos disponibles acerca del COVID-19 en Costa Rica, se realizó un estudio epidemiológico y geográfico, en donde el cantón de Costa Rica es la unidad básica geográfica (82 cantones), los cuales estaban geo-referenciados con el sistema de referencia de latitud/longitud, los cuales fueron obtenidos de Google Earth (Google, s.f.). Se utilizaron los datos de las defunciones totales por COVID-19 entre el 18 de marzo del 2020 al 18 de marzo del 2022 disponibles en el Ministerio de Salud de Costa Rica (Ministerio de Salud, 2022). Del Atlas de Desarrollo Humano cantonal, 2021 desarrollado por la Escuela de Estadística de la Universidad de Costa Rica (UCR) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2021), se obtuvieron los datos del índice de bienestar material (IBM). El IBM fue usado como una variable *proxy* del nivel socioeconómico de cada cantón y es un indicador que está entre cero y uno (valor más alto). También se obtuvieron datos de población, el área en kilómetros cuadrados y el número de unidades de recursos humanos de primera línea en la prestación de servicios de

salud (EBAIS) para cada uno de los cantones en Costa Rica. Dicha información fue obtenida del contenido de los indicadores para el Índice de Progreso Social Cantonal, desarrollado por la Escuela de Negocios del Instituto Centroamericano de Administración de Empresas (INCAE, 2020). Para cada cantón, se dividió la población entre el área en kilómetros cuadrados para obtener la densidad poblacional.

Análisis de datos: La mortalidad por COVID-19 fue medida como el número de defunciones por COVID-19 en los cantones de Costa Rica, que fueron compensadas por la población del cantón (*offset*). Las variables explicativas fueron: (1) La densidad poblacional, que es una variable que aumenta el riesgo de mortalidad de COVID-19 (Carozzi, 2020; Kadi & Khelifaoui, 2020; Khavarian-Garmsir et al., 2021). (2) El índice de bienestar material, que puede modificar la mortalidad por COVID-19 (Carhuapoma-Yance et al., 2021; Cruz-Castanheira & Monteiro da Silva, 2021; Dorregaray-Farge et al., 2021; Varotsos, et al., 2021). (3) Proporción de habitantes cubierta por unidades de servicios de salud (EBAIS) definida como el radio de los habitantes entre

el número de EBAIS y es una variable *proxy* de la cobertura de salud. (4) La cercanía a los centros turísticos del Océano Pacífico. Esto último, es un factor que incrementa el riesgo de mortalidad por COVID-19 (Bonilla-Carrión, 2022; Bonilla-Carrión & Zapata-Quintanilla, 2021; Bonilla-Carrión et al., 2021). El software R 4.0.5 (R Core Team, 2021) fue utilizado para mapear la distribución geográfica de la mortalidad por COVID-19 y las variables explicativas por cantón. Los códigos de los cantones, las defunciones por COVID-19, la población por cantón, la densidad poblacional, el índice de bienestar material y la cobertura por EBAIS se procesaron en una hoja electrónica de Microsoft EXCEL exportada al software R 4.0.5 (R Core Team, 2021). Los códigos de los cantones fueron obtenidos en el Instituto Geográfico Nacional y posteriormente la hoja electrónica con los datos fue enlazada al archivo de mapa para su graficación según los códigos de los cantones.

El modelo GLM fue realizado con el software R 4.0.5 (R Core Team, 2021) basado en el supuesto que la mortalidad por COVID-19 se ajusta a la distribución de Poisson. La fórmula de ajuste del análisis se expresa como:

$$\ln O_i = \beta_0 + \beta_1(DEN) + \beta_2(IBM) + \beta_3(EBAIS) + \beta_4(CPAC) + \varepsilon_i$$

En donde O_i es la mortalidad por COVID-19 en el cantón i , β_0 es la constante del modelo, β_j ($j = 1, 2, 3, 4$) son los parámetros del modelo correspondientes a las variables explicativas: densidad poblacional, bienestar material, cobertura por EBAIS y la cercanía a los centros turísticos. DEN es la densidad poblacional (habitantes por km^2) del cantón i ; IBM es el índice de bienestar material del cantón i ; EBAIS es la proporción de habitantes cubierta por EBAIS del cantón i ; CPAC es una

variable binaria, en donde el cantón i tiene el valor de 1 si posee costa en el Océano Pacífico y 0 en el resto de los casos y ε_i es el término de error para el cantón i .

En el modelo GWR, los coeficientes cambian según la ubicación geográfica, lo que significa que el modelo GWR puede captar la inestabilidad espacial de los datos y encontrar la asociación local entre la variable dependiente y las variables explicativas. La fórmula del modelo GWR está expresada como:

$$\ln O_i = \beta_0(u_i, v_i) + \beta_1(u_i, v_i)(DEN) + \beta_2(u_i, v_i)(IBM) + \beta_3(u_i, v_i)(EBAIS) + \beta_4(u_i, v_i)(CPAC) + \varepsilon_i$$

En donde (u_i, v_i) son las dos coordenadas para cada cantón y las definiciones de los otros parámetros del modelo son similares a los del modelo GLM mencionado anteriormente. El

software GWR 4.0 (Nakaya et al. 2005) fue usado para calibrar el modelo GWR con el método iterativo de mínimos cuadrados re-ponderados. Se utilizó un esquema de ponderación

basado en la distancia para asignar pesos a cada cantón, en donde el peso es mayor entre cantones más cercanos y a medida que los cantones se alejan, la ponderación disminuye. El tipo de *kernel* y la función de ponderación geográfica para estimar los coeficientes locales para cada cantón y el tamaño del ancho de banda (*bandwidth*) fue bicuadrado adaptativo. El mejor ancho de banda fue determinado automáticamente usando el método de búsqueda de la sección dorada (Golden-section search) basada en los criterios de información de Akaike más bajos (AIC).

El análisis completo consistió en ejecutar un modelo GLM usando el software R 4.0.5 (R Core Team, 2021) para estimar el efecto de las variables explicativas en la mortalidad por COVID-19 entre los 82 cantones de Costa Rica. Considerando que la auto-correlación espacial no puede ser ajustada por el modelo GLM, todas las variables explicativas fueron usadas en el modelo GWR en el software GWR 4.0® (Nakaya, 2005) para explorar las diferencias geográficas en el efecto de las variables dependientes e independientes. Finalmente, se utilizó el software R 4.0.5 para representar la distribución de la mortalidad por COVID-19 y las variables sociodemográficas en el mapa de Costa Rica, para reflejar las diferencias geográficas en la relación entre los factores sociodemográficos y la mortalidad por COVID-19.

RESULTADOS

Al 18 de marzo del 2022, se confirmaron 8197 defunciones por COVID-19 en los 82 cantones de Costa Rica, con una tasa de mortalidad de 158.8 por 100 mil habitantes. De los cantones estudiados, San José tiene la mortalidad más alta por COVID-19 (263.4 por cien mil habitantes), mientras otros cantones hacia el norte, el noroeste y al sur tienen la mortalidad más baja (Fig. 1). Los 12 cantones con la mortalidad más alta por COVID-19 se muestran en la Tabla 1. La I de Moran es una medida de autocorrelación espacial, la correlación de una señal entre otras regiones en el espacio. Al

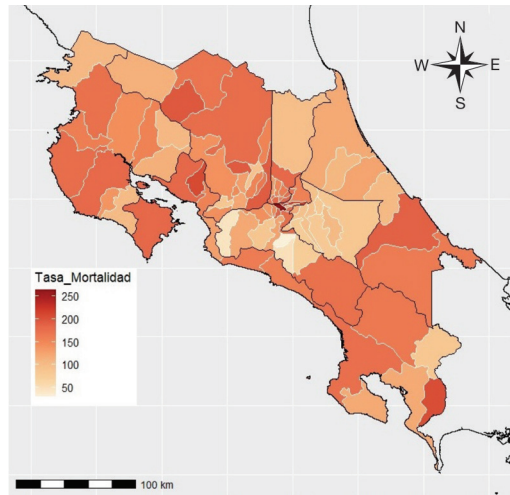


Fig. 1. Distribución espacial de la mortalidad por COVID-19 en Costa Rica. (Los colores más rojos son las tasas de mortalidad más altas). / **Fig. 1.** Spatial distribution of mortality from COVID-19 in Costa Rica. (The redder colors are the higher death rates).

calcular la I de Moran ($I = 0.235$, $P < 0.05$), la mortalidad de COVID-19 tuvo patrones de conglomeración. El centro de Costa Rica presenta una mayor densidad poblacional (Fig. 2A), el bienestar material es mayor en el centro, norte y noroeste de Costa Rica (Fig. 2B) y la proporción de habitantes cubiertos por EBAIS es mayor en varios cantones costeros, donde destacan algunos con mucha actividad turística (Fig. 2C). Los cantones que pertenecen a la costa Pacífica de Costa Rica se presentan en Fig. 2D. La Tabla 2 muestra una descripción de estas variables.

El modelo GLM muestra que la constante y las cuatro variables explicativas son significativas al 5% (Tabla 3). La densidad poblacional está positivamente asociada con la mortalidad por COVID-19. Cuando la densidad poblacional aumenta en mil habitantes por kilómetro cuadrado, la tasa de mortalidad por COVID-19 aumenta en un factor de 0.1 unidades. El bienestar material muestra una relación positiva con la tasa de mortalidad por COVID-19 y dicha asociación es significativa, la tasa de mortalidad por COVID-19 se incrementa en 0.38 unidades frente cambios unitarios del bienestar material.

TABLA 1 / TABLE 1

Resumen de los 12 cantones de Costa Rica con la mortalidad más alta por COVID-19 (18-Mar-2020 al 18-Mar-2022). / Summary of the 12 cantons of Costa Rica with the highest mortality from COVID-19 (Mar 18, 2020 to Mar 18, 2022).

Cantón	Defunciones confirmadas	Tasa de mortalidad ¹	Densidad poblacional ²	IBM ³	EBAIS ⁴	Costa pacífica
San José, SJ	921	263.4	7 836.8	0.7013	0.2533	No
Goicoechea, SJ	301	215.5	4 434.2	0.7044	0.1472	No
Montes de Oro, PU	30	207.5	59.1	0.7917	0.5176	No
Corredores, PU	108	204.0	85.3	0.7214	0.1443	No
Tibás, SJ	169	197.7	10 489.1	0.5760	0.3210	No
Guatuso, AL	38	195.3a	25.7	0.6470	0.2722	No
Zarcelero, AL	28	193.3	93.4	0.7991	0.5164	No
Alajuela, AL	610	191.8	818.9	0.8035	0.1918	No
Limón, LI	189	188.9	56.7	0.6994	0.4048	No
Alajuelita, SJ	179	186.7	4 528.5	0.6447	0.1396	No
Santo Domingo, HE	91	184.0	1 991.2	0.8548	0.3250	No
Puntarenas, PU	258	181.7	77.1	0.7396	0.4459	Sí

¹ Por cien mil habitantes. ² Habitantes por km². ³ Índice de bienestar material. ⁴ Proporción de habitantes cubiertos por EBAIS. / ¹ Per 100 thousand population. ² Population per km². ³ Material wellbeing index. ⁴ Proportion of population covered by health system. / SJ: San José, PU: Puntarenas, AL: Alajuela, HE: Heredia, LI: Limón.

TABLA 2 / TABLE 2

Resumen de las estadísticas descriptivas de las variables del modelo GLM para la mortalidad por COVID-19 en Costa Rica (18-Mar-2020 al 18-Mar-2022). / Summary of the descriptive statistics of the variables of the GLM model for mortality from COVID-19 in Costa Rica (Mar 18, 2020 to Mar 18, 2022).

Estadística	Defunciones confirmadas	Tasa de mortalidad ¹	Densidad poblacional ²	IBM ³	EBAIS ⁴
Mínimo	3	28.8	15.7	0.5625	0.0000
Percentil 25	35	105.2	48.4	0.6524	0.1648
Mediana	59	145.2	89.2	0.7217	0.2699
Percentil 75	108	172.5	814.5	0.7929	0.3759
Máximo	921	263.4	10 489.1	0.9388	1.0000

¹ Por cien mil habitantes. ² Habitantes por km². ³ Índice de bienestar material. ⁴ Proporción de habitantes cubiertos por EBAIS. / ¹ Per 100 thousand population. ² Population per km². ³ Material wellbeing index. ⁴ Proportion of population covered by health system.

TABLA 3 / TABLE 3

Estadísticas resumen del modelo GLM para la mortalidad por COVID-19 en Costa Rica (18-Mar-2020 al 18-Mar-2022). / Summary statistics of the GLM model for COVID-19 mortality in Costa Rica (Mar 18, 2020 to Mar 18, 2022).

Variable	Coefficiente	Error estándar	Valor z	p
Densidad poblacional ¹	0.0001	0.0000	16.6600	0.0000
IBM ²	0.3831	0.1567	2.4450	0.0145
EBAIS ³	-0.2432	0.0868	-2.8020	0.0051
Costa pacífica	0.1491	0.0346	4.3100	0.0000
Constante	-6.8010	0.1221	-55.6940	0.0000

AIC= 927.1. ¹ Habitantes por km². ² Índice de bienestar material. ³ Proporción de habitantes cubiertos por EBAIS. / AIC= 927.1. ¹ Population per km². ² Material wellbeing index. ³ Proportion of population covered by health system.

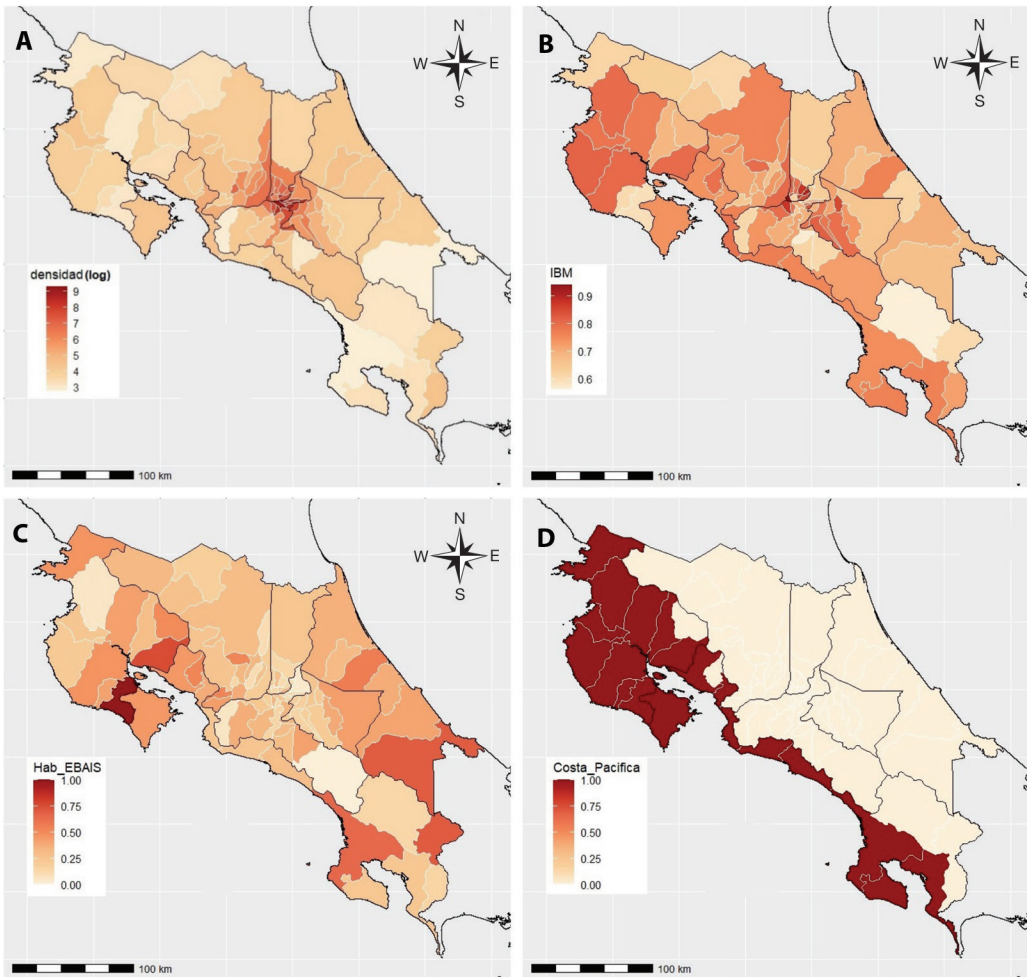


Fig. 2. Distribución espacial de las variables explicativas para mortalidad por COVID-19 en Costa Rica. **A.** Densidad poblacional (Habitantes por km², en log), **B.** Índice de bienestar material (IBM), **C.** Proporción de habitantes cubiertos por EBAIS, **D.** Costa pacífica, tiene valor de 1 si el cantón tiene costa en el Océano Pacífico. / **Fig. 2.** Spatial distribution of the explanatory variables for mortality from COVID-19 in Costa Rica. **A.** Population density (Population per km², in log), **B.** Material wellbeing index (MBI), **C.** Proportion of population covered by health system, **D.** Pacific coast, has a value of 1 if the canton has a coast on the Pacific Ocean.

La proporción de habitantes cubiertos por EBAIS muestra una relación inversa con la tasa de mortalidad por COVID-19 y dicha asociación es significativa. Esto sugiere que el aumento de cobertura por EBAIS podría reflejar un deterioro en la atención de la salud, que hace que la tasa de mortalidad por COVID-19 aumente en los cantones. Finalmente, a mayor pertenencia de los cantones a las zonas turísticas en la costa Pacífica de Costa Rica se dan mayores tasas de mortalidad por COVID-19,

el coeficiente es 0.1491 es significativo al 5%, el pertenecer a la costa Pacífica hace que la tasa de mortalidad por COVID-19 aumente en 0.1491 unidades.

El ajuste del modelo GWR con constante y variables explicativas que varían geográficamente de un cantón a otro es mejor (Tabla 4) pues se encontró un AIC significativamente más bajo que el del modelo GLM (358.4 en GWR versus 927.1 en GLM, respectivamente). En la tabla 4 se muestran los valores mínimos,

TABLA 4 / TABLE 4

Estadísticas resumen del modelo GWR para la mortalidad por COVID-19 en Costa Rica (18-Mar-2020 al 18-Mar-2022). / Summary statistics of the GWR model for COVID-19 mortality in Costa Rica (Mar 18, 2020 to Mar 18, 2022).

Variable	Mínimo	Promedio	Dev. estándar	Máximo
Densidad poblacional ¹	0.0671	0.1101	0.0188	0.1471
IBM ²	-0.0607	0.0372	0.0470	0.1323
EBAIS ³	-0.1055	-0.0375	0.0302	0.0508
Costa pacífica ⁴	-0.0251	0.0464	0.0379	0.1469
Constante	-6.6415	-6.5206	0.0523	-6.4377

AIC = 358.4. ¹ Habitantes por km². ² Índice de bienestar material. ³ Proporción de habitantes cubiertos por EBAIS ⁴ Costa pacífica, tiene valor de 1 si el cantón tiene costa en el Océano Pacífico. / AIC = 358.4. ¹ Population per km². ² Material wellbeing index. ³ Proportion of population covered by health system. ⁴ Pacific coast, has a value of 1 if the canton has a coast on the Pacific Ocean.

promedio, máximo y desviación estándar de los 82 coeficientes estimados.

La Fig. 3 muestra una representación visual de los coeficientes que varían geográficamente para las cuatro variables explicativas en el modelo GWR. Cada uno de los cuatro mapas refleja la relación entre la variable explicativa y la mortalidad por COVID-19, distribuida según cantones del país. Un tono más oscuro implica una mayor relación entre la mortalidad y la variable. La densidad poblacional está asociada siempre de forma positiva con la mortalidad por COVID-19, cuyos más altos coeficientes se encuentran al sur del Gran Área Metropolitana y hacia el Pacífico central (Ej: Parrita, Dota, Quepos, El Guarco) (Fig. 3A). El bienestar material y la tasa de mortalidad por COVID-19 están asociados en promedio de forma positiva (modelo GLM) y esta asociación se ve más incrementada en el noroeste de Costa Rica (Ej: La Cruz, Liberia, Carrillo, Upala) y se presenta con debilidad en los cantones al sur y fronterizos con Panamá (Fig. 3B). La cobertura por EBAIS tiene, en promedio, una asociación negativa con la tasa de mortalidad por COVID-19 y dicha asociación es más significativa en los cantones del Pacífico central (Ej: Garabito, Parrita, Turubares, Puriscal) y la mayoría de los coeficientes disminuyen hacia el noreste de Costa Rica y hacia el sur (Fig. 3C). Los cantones más cercanos a la costa Pacífica hacen que la mortalidad por COVID-19 se incremente y en particular en los cantones del sur de Costa

Rica (Ej: Pérez Zeledón, Dota, Quepos, Paraíso) y dicha asociación disminuye en la zona norte del país (Guanacaste y la Zona Norte, San Carlos) (Fig. 3D). En resumen, existen efectos de estos cuatro factores sociodemográficos en la mortalidad por COVID-19 en los cantones de Costa Rica.

DISCUSIÓN

Para analizar los factores de riesgo potenciales del COVID-19, se diseñó un Sistema de Información Geográfica (SIG) para mostrar las distribuciones geográficas de la mortalidad por COVID-19 con factores sociodemográficos: la densidad poblacional, el bienestar material, la cobertura de salud y la pertenencia a la costa Pacífica. En este artículo se comparó el modelo GWR y el modelo GLM para identificar el modelo idóneo para describir la relación entre las variables sociodemográficas y la mortalidad por COVID-19. En comparación con el modelo GLM, el ajuste del modelo GWR muestra un mejor ajuste.

Con respecto a la densidad poblacional, el modelo GWR y el modelo GLM mostraron una relación positiva entre la densidad poblacional de los cantones y la mortalidad por COVID-19. En el modelo GWR, este efecto disminuye desde el noroeste de Costa Rica, que tiene una menor densidad de población, hacia el centro y el Pacífico central del país, que tienen una mayor densidad. La mortalidad por COVID-19

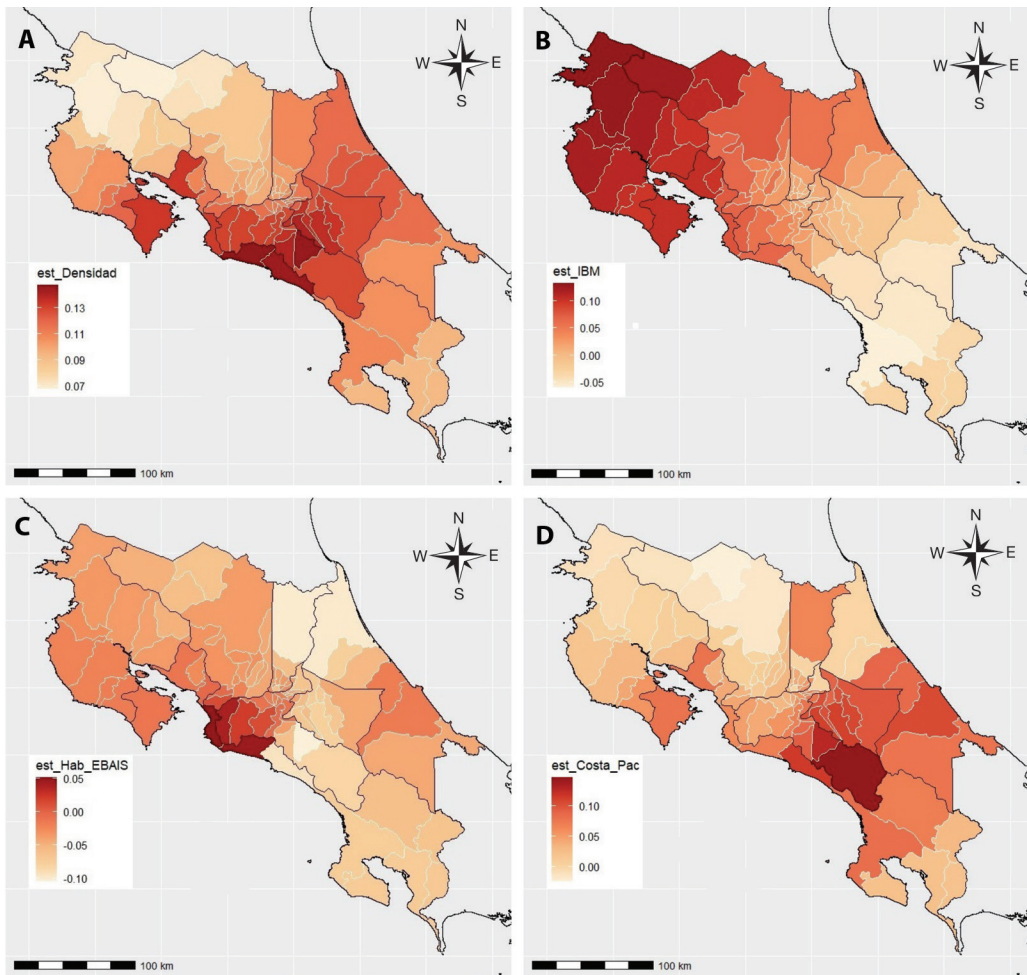


Fig. 3. Distribución espacial de los coeficientes de las variables explicatorias en el modelo de regresión ponderada geográficamente (GWR) para mortalidad por COVID-19 en Costa Rica. **A.** Densidad poblacional (Habitantes por km² en log), **B.** Índice de bienestar material (IBM), **C.** Cobertura de habitantes por EBAIS, **D.** Costa pacífica, tiene valor de 1 si el cantón tiene costa en el Océano Pacífico. / **Fig. 3.** Spatial distribution of the coefficients of the explanatory variables in the geographically weighted regression (GWR) model for mortality from COVID-19 in Costa Rica **A.** Population density (Population per km², in log), **B.** Material wellbeing index (MBI), **C.** Proportion of inhabitants covered by EBAIS, **D.** Pacific coast, has a value of 1 if the canton has a coast on the Pacific Ocean.

es mayor en los cantones con mayor densidad poblacional. Este patrón ha sido documentado en estudios que afirman que la mayor población y la aglomeración de personas favorecen el contagio por COVID-19 (Zazo-Moratalla & Álvarez-Agea, 2020). Zhang & Schwartz (2020) afirman que la densidad poblacional es una variable que predice la mortalidad por COVID-19 para las áreas metropolitanas, como

las del centro de Costa Rica. Se requieren mayores estudios para analizar en detalle la relación de la densidad poblacional con la mortalidad por COVID-19.

Según el modelo GLM y el modelo GWR, los cantones con un bienestar material más alto tienen un mayor riesgo de COVID-19. Jeanne et al. (2022) afirman que el COVID-19 tiende a aparecer primero en las regiones

económicamente más desarrolladas y tras la propagación inicial, el virus se propaga más tarde a las áreas en desarrollo. En este trabajo, los coeficientes más altos del modelo GWR están en el noroeste del país, particularmente en la provincia de Guanacaste. Es importante recordar que en estas zonas existen las llamadas *zonas azules*, lugares en el mundo donde se encuentran las personas más longevas, con un porcentaje alto de personas que superan los 100 años de edad (Madrigal-Leer et al., 2020). Aunque la alta longevidad obedece a múltiples factores, es posible que ésta produzca valores más altos del índice de bienestar material y que se ejerza una influencia más significativa en la provincia de Guanacaste, aunado a la presencia de cantones con alta actividad turística y en consecuencia, aumente la mortalidad por COVID-19. Se requiere más estudios para conocer las causas en detalle.

El modelo GLM mostró que la cobertura por EBAIS está asociada de manera negativa con la mortalidad por COVID-19. El modelo GWR mostró que dicha asociación es más fuerte en los cantones del Pacífico central y disminuye hacia el noreste de Costa Rica y hacia el sur, lo que indica que la cobertura podría mitigar la propagación del COVID-19 en determinadas regiones del país. Esto apunta a que existe una disparidad regional de la cobertura de salud en Costa Rica. Para controlar eficientemente la mortalidad por COVID-19, es necesario promover el uso de los recursos de salud disponibles y accesibles en las regiones de Costa Rica. Esta situación podría generar una guía sobre cómo prepararse para posibles brotes locales.

El estudio finalmente mostró que los cantones más cercanos a la costa Pacífica hacen que la mortalidad por COVID-19 se incrementa, particularmente en los cantones del sur de Costa Rica y esa mortalidad disminuye en la zona norte del país. En la provincia de Guanacaste, en donde existe mucho turismo, la relación con la mortalidad por COVID-19 es mayor. El estudio muestra que la cercanía a los centros turísticos, es un factor que incrementa el riesgo de contagio por COVID-19 en algunas

regiones específicas (Bonilla-Carrión, 2022; Bonilla-Carrión & Zapata-Quintanilla, 2021; Bonilla-Carrión et al., 2021). Para el control de la mortalidad por COVID-19, es necesario incentivar las medidas de prevención de la enfermedad en las regiones turísticas (vacunación esquema completo, uso de mascarilla, lavado de manos, distanciamiento, etc.).

El presente estudio tiene algunas limitaciones. En primer lugar, las diferencias pueden explicarse a factores de confusión no observados, como la edad, sexo, altitud de las ciudades de Costa Rica y otros factores no tomados en cuenta en el análisis. En segundo lugar, como los datos de mortalidad por COVID-19 se basan en datos de vigilancia, no es posible demostrar la relación causal entre las variables sociodemográficas y la mortalidad por COVID-19. En tercer lugar, debido a que en cada país existen diferentes políticas para manejar el tema de la pandemia del COVID-19, estos resultados no pueden ser generalizados. Sin embargo, desde la literatura actual, este estudio es el primero en combinar los datos de mortalidad por COVID-19 y la información sociodemográficos en un SIG y analizar los posibles factores de riesgo de la mortalidad por COVID-19 en Costa Rica, desde un enfoque geográfico.

Declaración de ética: los autores declaran que todos están de acuerdo con esta publicación y que han hecho aportes que justifican su autoría; que no hay conflicto de interés de ningún tipo; y que han cumplido con todos los requisitos y procedimientos éticos y legales pertinentes. Todas las fuentes de financiamiento se detallan plena y claramente en la sección de agradecimientos. El respectivo documento legal firmado se encuentra en los archivos de la revista.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Hispanoamericana por el apoyo administrativo para la ejecución de este trabajo. Al Ministerio de Salud de Costa Rica, la Escuela de Estadística de la Universidad de Costa Rica (UCR), el



Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y la Escuela de Negocios del Instituto Centroamericano de Administración de Empresas (INCAE) por suministrar la información base para la redacción de este artículo.

REFERENCIAS

- Blume, J. D., Su, L., Olveda, R. M., & McGarvey, S. T. (2007). Statistical evidence for GLM regression parameters: a robust likelihood approach. *Statistics in Medicine*, 26(15), 2919–2936. <https://doi.org/10.1002/sim.2759>
- Bonilla-Carrión, R. (2022). Guatemala: Análisis geostadístico del COVID-19 en el primer año de pandemia. *Revista Médica (Colegio de Médicos y Cirujanos de Guatemala)*, 161(1), 2–7. <https://doi.org/10.36109/rmg.v161i1.474>
- Bonilla-Carrión, R., & Zapata-Quintanilla, E. (2021). Análisis geoespacial del COVID-19 en Honduras a los 18 meses de pandemia. *Revista Médica (Colegio de Médicos y Cirujanos de Guatemala)*, 160(3), 212–223. <https://doi.org/10.36109/rmg.v160i3.448>
- Bonilla-Carrión, R., Evans-Meza, R., & Salvatierra-Durán, R. (2021). Análisis geográfico de la morbilidad del COVID-19 en Costa Rica, 2020–2021. *Revista Hispanoamericana de Ciencias de la Salud*, 7(1), 3–10. <https://doi.org/10.56239/rhcs.2021.71.468>
- Carhuapoma-Yance, M., Apolaya-Segura, M., Valladares-Garrido, M. J., Failoc-Rojas, V. E., & Díaz-Vélez, C. (2021). Índice desarrollo humano y la tasa de letalidad por Covid-19: Estudio ecológico en América. *Revista del Cuerpo Médico Hospital Nacional Almanzor Aguinaga Asenjo*, 14(3), 362–366. <https://doi.org/10.35434/rcmhnaaa.2021.143.1258>
- Carozzi, F. (2020). Urban density and covid-19. *SSRN Electronic Journal*, 13440. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3643204>
- Carr, D. (2020). *Sharing research data and findings relevant to the novel coronavirus (COVID-19) outbreak*. Wellcome Trust. <https://wellcome.ac.uk/press-release/sharing-research-data-and-findings-relevant-novel-coronavirus-covid-19-outbreak>
- Cruz-Castanheira, H., & Monteiro da Silva, J. H. (2021). *Mortalidad por COVID-19 y las desigualdades por nivel socioeconómico y por territorio*. La Comisión Económica para América Latina (CEPAL). <https://www.cepal.org/es/enfoques/mortalidad-covid-19-desigualdades-nivel-socioeconomico-territorio>
- Dorregaray-Farge, Z. E., Soto, A., & De la Cruz Vargas, J. (2021). Correlación entre mortalidad por covid-19, índices de riqueza y desarrollo humano y densidad poblacional en distritos de Lima Metropolitana durante el 2020. *Revista de la Facultad de Medicina Humana*, 21(4), 780–789. <https://dx.doi.org/10.25176/rfmh.v21i4.3987>
- Evans, R., Bonilla, R., Salvatierra, R., & González, L. (2022). *Una Pandemia en Perspectiva 100*. Universidad Hispanoamericana. <https://uh.ac.cr/investigaciones/detalle/una-pandemia-en-perspectiva-100->
- Fotheringham, A. S., Brunsdon, C., & Charlton, M. (2007). *Geographically weighted regression: The analysis of spatially varying relationships*. John Wiley & Sons.
- Google (s.f.). [Mapa Geográfico de los cantones de Costa Rica mediante Google Earth]. Recuperado el 15 de marzo del 2022, de <https://www.google.com/earth/>
- Guan, W. J., Ni, Z. Y., Hu, Y., Liang, W. H., Ou, C. Q., He, J. X., Liu, L., Shan, H., Lei, C. L., Hui, D. S. C., Du, B., Li, L. J., Zeng, G., Yuen, K. Y., Chen, R. C., Tang, C. L., Wang, T., Chen, P. Y., Xiang, J., ... Zhong, N. S. (2020). Clinical characteristics of 2019 novel coronavirus infection in China. *New England Journal of Medicine*, 382, 1708–1720. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2002032>
- Huang, C., Wang, Y., Li, X., Ren, L., Zhao, J., Hu, Y., Zhang, L., Fan, G., Xu, J., Gu, X., Cheng, Z., Yu, T., Xia, J., Wei, Y., Wu, W., Xie, X., Yin, W., Li, H., Liu, M., ... Cao, B. (2020). Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *Lancet*, 395(10223), 497–506. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30183-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30183-5)
- INCAE. (2020). *Índice de Progreso Social Cantonal 2019*. INCAE Business School. <https://www.incae.edu/es/clacds/proyectos/indice-de-progreso-social-cantonal-2019.html>
- Jeanne, L., Bourdin, S., Nadou, F., & Noiret, G. (2022). Economic globalization and the COVID-19 pandemic: global spread and inequalities. *GeoJournal*, 1–8. <https://doi.org/10.1007/s10708-022-10607-6>
- Kadi, N., & Khelfaoui, M. (2020). Population density, a factor in the spread of COVID-19 in Algeria: statistic study. *Bulletin of the National Research Centre*, 44(1), 138. <https://doi.org/10.1186/s42269-020-00393-x>
- Khavarian-Garmsir, A. R., Sharifi, A., & Moradpour, N. (2021). Are high-density districts more vulnerable to the COVID-19 pandemic? *Sustainable Cities and Society*, 70, 102911. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102911>
- Lai, Y. J., Chang, C. M., Lin, C. K., Yang, Y. P., Chien, C. S., Wang, P. H., & Chang, C. C. (2020). Severe acute respiratory syndrome coronavirus-2 and the deduction effect of angiotensin-converting enzyme 2 in pregnancy. *Journal of the Chinese Medical Association*, 83(9), 812–816. <https://doi.org/10.1097/jcma.0000000000000362>

- Ludbrook, J. (2010). Linear regression analysis for comparing two measurers or methods of measurement: but which regression? Linear regression for comparing methods. *Clinical and Experimental Pharmacology & Physiology*, 37(7), 692–699. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1681.2010.05376.x>
- Madrugal-Leer, F., Martínez-Montandón, A., Solís-Umaña, M., Helo-Guzmán, F., Alfaro-Salas, K., Barrientos-Calvo, I., Camacho-Mora, Z., Jiménez-Porras, V., Estrada-Montero, S., & Morales-Martínez, F. (2020). Clinical, functional, mental and social profile of the Nicoya Peninsula centenarians, Costa Rica, 2017. *Aging Clinical and Experimental Research*, 32(2), 313–321. <https://doi.org/10.1007/s40520-019-01176-9>
- Ministerio de Salud. (2022). *Situación Nacional COVID-19*. Ministerio de Salud de Costa Rica. <https://geovision.uned.ac.cr/oges/>
- Nakaya, T., Fotheringham, A. S., Brunson, C., & Charlton, M. (2005). Geographically weighted Poisson regression for disease associative mapping. *Statistics in Medicine*, 24, 2695–2717. <https://doi.org/10.1002/sim.2129>
- Pan, A., Liu, L., Wang, C., Guo, H., Hao, X., Wang, Q., Huang, J., He, N., Yu, H., Lin, X., Wei, S., & Wu, T. (2020). Association of public health interventions with the epidemiology of the COVID-19 outbreak in Wuhan, China. *Journal of the American Medical Association*, 323(19), 1915–1923. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.6130>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2021). *Atlas de desarrollo humano cantonal, 2021*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. <https://www.cr.undp.org/content/costarica/es/home/atlas-de-desarrollo-humano-cantonal.htm>
- R Core Team. (2021). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Thapa, R. B., & Estoque, R. C. (2012). Geographically Weighted Regression in Geospatial Analysis. In Y. Murayama (Ed.), *Progress in Geospatial Analysis* (pp. 85–96). Springer Japan.
- Varotsos, C. A., Krapivin, V. F., & Xue, Y. (2021). Diagnostic model for the society safety under COVID-19 pandemic conditions. *Safety Science*, 136(105164), 105164. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105164>
- Velavan, T. P., & Meyer, C. G. (2020). The COVID-19 epidemic. *Tropical Medicine & International Health: TM & IH*, 25(3), 278–280. <https://doi.org/10.1111/tmi.13383>
- Wheeler, D. C., & Páez, A. (2010). Geographically Weighted Regression. In M. Fisher, & A. Getis (Eds.), *Handbook of Applied Spatial Analysis* (pp. 461–486). Springer Berlin Heidelberg.
- Wu, Z., & McGoogan, J. M. (2020). Characteristics of and important lessons from the Coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak in China: Summary of a report of 72 314 cases from the Chinese center for disease control and prevention. *Journal of the American Medical Association*, 323(13), 1239–1242. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.2648>
- Zazo-Moratalla, A., & Álvarez-Agea, A. (2020). CIUDAD COVID-19: una nueva inequidad en el espacio y el tiempo urbano. *Urbano*, 23(41), 04–09. <https://doi.org/10.22320/07183607.2020.23.41.00>
- Zhang, C. H., & Schwartz, G. G. (2020). Spatial disparities in Coronavirus incidence and mortality in the United States: An ecological analysis as of may 2020. *The Journal of Rural Health: Official Journal of the American Rural Health Association and the National Rural Health Care Association*, 36(3), 433–445. <https://doi.org/10.1111/jrjh.12476>
- Zhang, H., Liu, Y., Chen, F., Mi, B., Zeng, L., & Pei, L. (2021). The effect of sociodemographic factors on COVID-19 incidence of 342 cities in China: a geographically weighted regression model analysis. *BMC Infectious Diseases*, 21(1), 428. <https://doi.org/10.1186/s12879-021-06128-1>