REVISTA ECUATORIANA DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN EN SALUD PÚBLICA

CÓDIGO ISSN 2588-0551

DOI: https://doi.org/10.31790/

Artículo Original

# Índice de vulnerabilidad para COVID-19 por medio de análisis espacial a nivel cantonal en Ecuador

*Vulnerability index for COVID-19 through spatial analysis at the cantonal level in Ecuador*

Acceso abierto

Citación

**Cotera-Mantilla,Max, Sánchez-Murillo,Marco, Lalangui, Karina.** Índice de vulnerabilidad para COVID-19 por medio de análisis espacial a nivel cantonal en Ecuador. **INSPILIP. 2022; 6 (3).**

**Revista científica INSPILIP. Volumen 6, número 3; año 2022, septiembre-diciembre.**

El autor declara estar libre de cualquier asociación personal o comercial que pueda suponer un conflicto de intereses en conexión con el artículo, así como el haber respetado los principios éticos de investigación, como por ejemplo haber solicitado las autorizaciones de la institución donde se realizó el estudio, permiso para utilizar los datos, consentimientos informados y en caso de tratarse de estudio observacionales y ensayos clínicos, autorización de un CEISH, ARCSA, Medio Ambiente, entre otros, de acuerdo a la categoría. Además, la licencia para publicar imágenes de la o las personas que aparecen en el manuscrito. Por ello INSPILIP no se responsabiliza por cualquier afectación a terceros, tampoco el INSPI como entidad editora, ni el Editor, la responsabilidad de la publicación es de absoluta responsabilidad de los autores.

Patricio Vega Luzuriaga
EDITOR EN JEFE

Cotera-Mantilla, Max [a] , max_vgom@hotmail.com
Sánchez-Murillo, Marco [a] , ma_sm@hotmail.com
Lalangui, Karina [a] , lalanguik@gmail.com

a. Instituto Nacional de Investigación en Salud Pública, Centro de Investigación EpiSIG, Quito, Ecuador

**Correspondencia: Max Cotera Mantilla Email: mcotera@inspi.gob.ec**

**Identificación de responsabilidad y contribución de los autores:** Los autores declaran haber contribuido en idea original (MC,MS,KL), parte metodológica (MC,MS,KL), redacción del borrador ( MC,MS,KL) y redacción del artículo (MC,MS,KL).

**Fecha de Ingreso:** 20/04/2022. **Fecha de Aprobación:** 02/08/2022. **Fecha de Publicación:** 05/09/2022.

## Resumen

El establecimiento de índices de enfermedad a nivel espacial, en áreas geográficas específicas, con base en indicadores preestablecidos, permite inferir en la población y sustentar la toma de decisiones. Objetivo: establecer un índice de vulnerabilidad para COVID-19 por medio de análisis espacial a nivel cantonal en Ecuador. Metodología: por medio de un estudio exploratorio transversal, se calculó un índice de vulnerabilidad, a nivel cantonal, con un modelo jerárquico aditivo compuesto y otro por componentes principales, basado en 13 indicadores, en cuatro dimensiones: demográfica, epidemiológica, infraestructura de salud y socioeconómica. Se utilizó un método de clasificación en quintiles, un quintil más alto denota mayor puntuación de vulnerabilidad relativa y se presentan los resultados por graficación espacial. Resultados: Se obtuvieron 2 tablas de los 221 cantones en el Ecuador, con las que se construyeron 2 modelos de vulnerabilidad con distintas valoraciones según cada cantón. Conclusiones: Se identificó y mapeó las comunidades que probablemente necesitarán un mayor apoyo durante el transcurso pandémico o endémico del brote actual de COVID-19, con base en los puntajes obtenidos mediante el análisis espacial. En consecuencia, se consideró a Azogues, Quilanga, Piñas, Limón Indanza, Guayaquil, Girón, Sucúa, Loja, Machala, Flavio Alfaro, Quito y Portoviejo, como el 5 % de los cantones con “vulnerabilidad muy alta”, en el modelo aditivo. Mientras que Quilanga, Limón Indanza, Girón, Guayaquil, La libertad, Ambato, Catamayo, Guaranda, Olmedo, Durán, Esmeraldas y Pasaje, se presentan, en el modelo, por análisis de componentes principales, como el 5 % de los cantones de “vulnerabilidad muy alta”.

**Palabras claves:** Vulnerabilidad en Salud. COVID-19. Análisis Espacial. Ecuador.

## Abstract

The establishment of disease indices at a spatial level, in specific geographic areas, based on pre-established indicators, allows inferring in the population and supporting decision-making. Objective: This work aims to establish a vulnerability index for COVID-19, through spatial analysis at the cantonal level in Ecuador. Methodology: A cross-sectional exploratory study was conducted, It was calculated a vulnerability index, on a different levels, in a specific region (cantón) with a compound additive hierarchical approach and another by principal components., based on 13 indicators, in four dimensions: Demographic, Epidemiological, Health Infrastructure and Socioeconomic. A quintile ranking method was used, with a higher quintile denoting a higher relative vulnerability score and the results are presented by spatial plotting. Results: 2 tables of the 221 cantons in Ecuador were obtained with which 2 vulnerability models were built with different indices according to each canton. Conclusions: The communities that will probably need greater support during the pandemic or endemic course of the current COVID-19 outbreak were identified and mapped, based on the scores obtained through spatial analysis, being Azogues, Quilanga, Piñas, Limón Indanza, Guayaquil, Girón, Sucua, Loja, Machala, Flavio Alfaro, Quito and Portoviejo, 5% of the cantons with "very high vulnerability" in the additive model, while Quilanga, Limón Indanza, Girón, Guayaquil, La libertad, Ambato, Catamayo, Guaranda, Olmedo, Durán, Esmeraldas and Pasaje are presented, in the principal components analysis model, as 5% of the cantons with "very high vulnerability".

**Keywords:** Health Vulnerability, COVID-19, Spatial Analysis, Ecuador

## Introducción

A finales del año 2019, un nuevo coronavirus de alta transmisibilidad comenzó a circular en el municipio de Wuhan, provincia de Hubei, China, el que presentaba un prolongado período de incubación (de 2 a 14 días), sin patrón semiológico específico, pero con un carácter sindrómico agudo respiratorio severo [1,2].

Por ello, se lo clasificó como una enfermedad respiratoria, producida por un agente etiológico de tipo viral, virus ARN de la familia Coronaviridae del tipo SARS que, tiempo después, se lo denominó SARS-CoV-2, mientras que a la enfermedad que este virus provoca se la denominó "enfermedad por coronavirus 2019", abreviándolo como "COVID-19" (por sus siglas en inglés), y desde entonces no se ha podido determinar el verdadero origen del virus [3].

El virus SARS-CoV-2 se diseminó por el resto de China y alcanzó, en pocas semanas, a otros países y continentes. En efecto, EE. UU. fue el primer país de América en confirmar, a mediados de enero, su primer caso [4]. El 29 de febrero, Ecuador confirmaba su primer caso y para finales de marzo los contagios ya ascendían a 2.302 [5].

La rápida propagación, a nivel mundial, de COVID-19 provocó un contagio masivo de la población y la eventual saturación de los sistemas de salud, lo que exigió a cada país una respuesta inmediata en busca de una forma de contención de la enfermedad, inicialmente por medio de aislamiento, distanciamiento y medidas de bioseguridad personal [6].

Actualmente, ya se dispone de vacunas frente a COVID-19, sin embargo, la imprevisibilidad de nuevas cepas conlleva nuevos riesgos para la salud de la población, principalmente en grupos vulnerables, este es el caso de la variable ómicron que, según la Organización Mundial de la Salud, tan solo en la primera semana de enero de 2022 provocó el mayor número de contagios notificados en una sola semana desde el inicio de la pandemia [7,8].

En este período, Ecuador no fue la excepción del resto de países tras la identificación del ingreso de la variante ómicron al país, también expuso una tendencia en aumento de casos [9].

Sin embargo, la vacunación, las medidas de aislamiento y distanciamiento social lograron la reducción del número de ocupación de camas para pacientes COVID-19. No obstante, la heterogeneidad social, demográfica y económica provocan que el país presente disparidad en cada una de sus unidades geopolíticas, lo que se considera un factor potencial para la propagación de la enfermedad [7].

La obtención de modelos de vulnerabilidad, mediante el cálculo de diversos indicadores, ayuda a identificar las zonas con mayor riesgo y facilita la respuesta en salud

pública para la focalización de recursos. Estos indicadores pueden combinarse para construir indicadores compuestos o índices, por ejemplo, los índices de vulnerabilidad social, índices de vulnerabilidad epidemiológica, categorizan, por análisis espacial, los sitios más vulnerables en la población, con base en los diversos indicadores de cada zona [10–12].

En este contexto, la presente investigación pretende establecer las etapas de un índice de vulnerabilidad por medio de selección de indicadores a nivel espacial cantonal, así como ajustar las escalas de medida de los indicadores, disminuyendo sesgos que influyen en la predicción del índice y permitiendo identificar y mapear, dentro de la unidad de análisis geoespacial (cantón), las comunidades que probablemente necesitarán un mayor apoyo durante el transcurso pandémico o endémico del brote actual de COVID-19.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

Ecuador se encuentra en América del Sur, limita con Colombia (norte), Perú (sureste) y el Océano Pacífico (oeste). Para el 2020, el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) estima que la población supera los 17 millones de habitantes 13. Políticamente, se divide en 24 provincias y 221 cantones.

### Selección de indicadores

Se realizó una selección específica de indicadores para medir el concepto de vulnerabilidad social. En algunos estudios se observó cómo algunos indicadores aparecen repetidamente en los análisis de vulnerabilidad social, por ello, estos estudios sirvieron como base para la selección de estos indicadores [14,15].

Se definieron cuatro dimensiones de vulnerabilidad. La dimensión demográfica asociada a las características de la población; la dimensión epidemiológica, que la componen indicadores asociados con el estado de salud de la población; la dimensión de salud, que se encuentra integrada por indicadores relacionados con la infraestructura de salud y el personal médico disponible, y la dimensión socioeconómica, relacionada con el bienestar de la población en términos educación y acceso a servicios básicos.

Para trabajar las cuatro dimensiones de vulnerabilidad se asumió que sustentan poca variabilidad y se mantienen constantes durante el período de análisis; la unidad de medida espacial establecida es el nivel geopolítico cantonal, en el cual se encuentra dividido el Ecuador.

Las cuatro dimensiones se describen a continuación:

***Dimensión Demográfica:***

Densidad Poblacional (dp).- Varios estudios señalan a la densidad poblacional, en proporción de los casos/muertes por COVID-19, como uno de los factores determinantes entre los indicadores que afectan la pandemia, no obstante, no se considera un determinante directo, sino más bien, puede estar asociado al alto índice de hacinamiento, lo que conlleva problemas asociados principalmente con la movilidad, acceso a vivienda y medidas sanitarias [16–19].

Porcentaje de la población de 50 años o más (pp50a).- Se tomaron datos del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), los cuales señalan que en América Latina y el Caribe, el 21% de la población presenta al menos un factor que los hace propensos a un mayor riesgo de experimentar síntomas graves de COVID-19. La prevalencia de al menos una de las afecciones es más alta en las personas mayores de 50 años [20].

Porcentaje de población urbana (ppu).- En base a la premisa observada de que el riesgo de infección del virus SARS-CoV-2 aumenta según el alto grado de concentración de la población, en áreas urbanas, con déficits de recursos de vivienda y servicios básicos 21, este indicador representó, de forma indirecta, el grado de hacinamiento a nivel cantonal.

***Dimensión Epidemiológica:***

Morbilidad relativa de diabetes, cáncer, problemas respiratorios y circulatorios (id, ic, icr, ir).- El curso de la pandemia reveló factores epidemiológicos importantes, como el que las personas con ciertas enfermedades no transmisibles (ENT), preexistentes, se muestran más susceptibles a enfermarse gravemente con COVID-19 22, siendo este un factor importante, de vulnerabilidad, a considerar, incluyéndose las ENT tales como: enfermedades cardiovasculares (hipertensión, personas que han tenido o están en riesgo de sufrir un ataque cardíaco o accidente cerebrovascular, etc.), enfermedad respiratoria crónica, diabetes y cáncer.

**Dimensión de infraestructura de salud:**

Debido a las diferencias propias de cada cantón, la distribución de recursos se considera distinta, sin embargo, la pandemia de COVID-19 evidenció las deficiencias en la infraestructura de salud en las poblaciones desatendidas y vulnerables [23].

Para esta dimensión se seleccionaron los siguientes indicadores como representantes para la dimensión de salud:

- Tasa de médicos generales y especialistas (tmge).
- Tasa de camas hospitalarias (tch).
- Tasa de personal de enfermería (tpe).

**Dimensión socioeconómica:**

El impacto económico de la pandemia de COVID-19 se concentra principalmente en el sector más pobre de la sociedad [7], por tal motivo, se ha considerado el acceso al agua y saneamiento, ya que son dos factores que determinan la situación económica de una población, el acceso a estos servicios no es equitativo y depende de las características socioterritoriales, en particular, entre las poblaciones más pobres [21].

Otro factor clave que agudiza las condiciones de desigualdad es la educación, la pérdida de este derecho restringe el entendimiento que representan las amenazas biológicas como el caso específico del SARS-CoV-2 [24]. Por ello, para esta dimensión se utilizaron los siguientes indicadores:

- Porcentaje de viviendas sin agua potable (pva).
- Porcentaje de viviendas sin alcantarillado (pval).
- Porcentaje de personas que abandonan sus estudios (ppae).

### 2.3 Recopilación y preparación de datos

Originalmente se recopilaron 117 variables específicas, sin procesar, que caracterizaron a los cuatro factores influyentes de vulnerabilidad escogidos. Después de realizar algunos cálculos para formular los indicadores compuestos que conforman el índice de vulnerabilidad, se derivó un conjunto de 13 indicadores.

Todas las variables se obtuvieron del INEC. La tabla 1 proporciona los nombres de los indicadores junto con sus definiciones y la fuente de los datos.

**Tabla 1.** Indicadores seleccionados para el análisis de vulnerabilidad

| Dimensión | Indicadores | Definición | Fuentes de la s variables |
|---|---|---|---|
| Demográfica | Densidad poblacional | Total de la población por unidad de área | Proyección 2020, INEC |
| | Población adulta | Porcentaje de la población de 50 años o más | Censo de población 2010, INEC |
| | Población urbana | Porcentaje de la población que vive en áreas urbanas | |
| Epidemiológica | Diabetes - CIE10: E10 - E14 | Tasa de morbilidad por cada 1.000 habitantes | Egresos hospitalarios 2020, INEC |
| | Neoplasma - CIE: C00 - D09, D37 -D48 | | |
| | Respiratorias – CIE: J30-J47, J60 -J67, J80 - J84 | | |
| | Enfermedades del sistema circulatorio (cardiovasculares) - CIE: I00-I99 | | |
| Infraestructura de salud | Médicos generales y especialistas | Tasa de médicos generales y especialistas 2018 por cada mil habitantes | RAS 2018, INEC |
| | Camas hospitalarias | Tasa de camas hospitalarias 2020, por cada mil habitantes | Camas hospitalarias 2020, INEC |
| | Personal de enfermería | Tasa de personal de enfermería, 2018 por cada mil habitantes | Actividades y recursos de salud 2018, INEC |
| Socioeconómica | Viviendas sin alcantarillado | Porcentaje de viviendas sin alcantarillado | Asociación de Municipalidades del Ecuador 2019, INEC |
| | Viviendas sin agua potable | Porcentaje de viviendas sin agua potable | |
| | Personas que abandonan sus estudios | Porcentaje de personas que abandonan sus estudios | Registro administrativo fin 2020, INEC |

### Normalización de indicadores

Los indicadores calculados en cada uno de los dominios tienen diferentes escalas y diferentes valores mínimos y máximos, es necesario realizar alguna forma de estandarización o normalización para asegurar que los valores sean comparables. Los indicadores se normalizaron en escala de 0 a 1, utilizando la siguiente fórmula:

$$\alpha = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

Donde α es el valor normalizado, X es el valor del indicador a ser normalizado y $X_{min}$ y $X_{max}$ son los valores mínimos y máximos respectivamente de cada indicador.

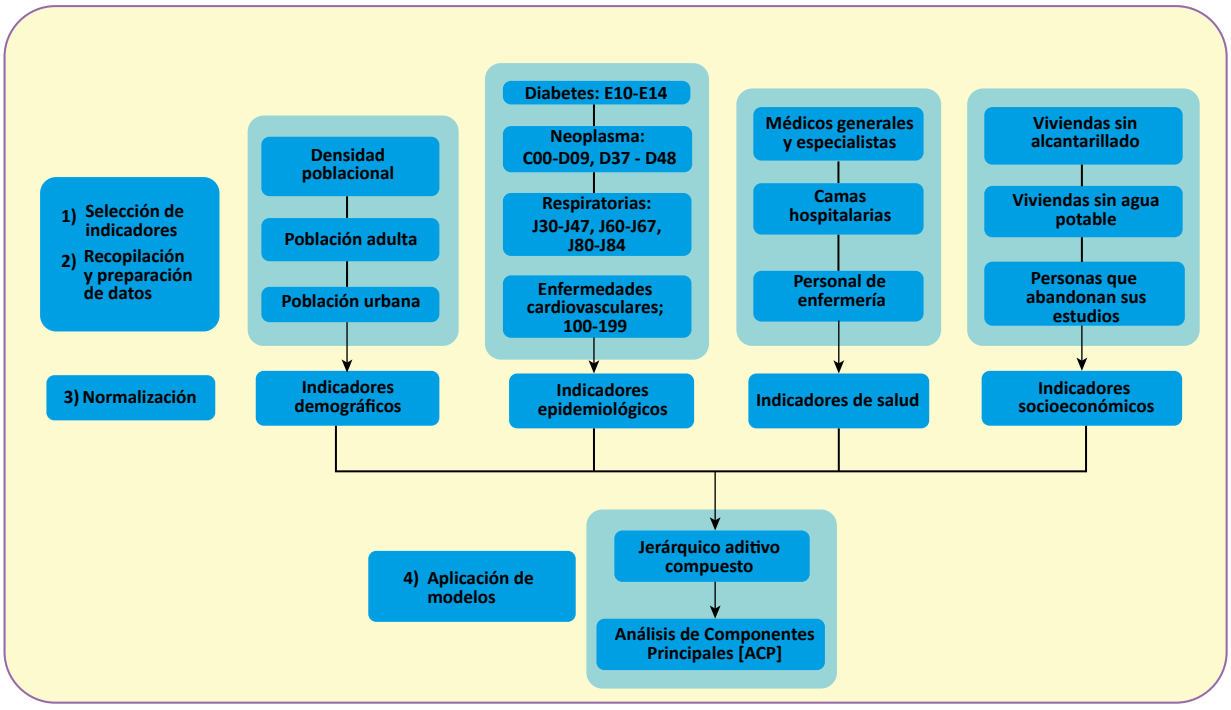
### Construcción del índice de vulnerabilidad

Se calculó un índice compuesto de vulnerabilidad jerárquico aditivo a nivel cantonal, basado en 13 indicadores, compuesto de cuatro dimensiones: demográfica, epidemiológica, infraestructura de salud y socioeconómica. También se propuso como segunda alternativa el uso del modelo de componentes principales para capturar la mayor parte de la variabilidad de los datos.

Posteriormente, se utilizó un método de clasificación de quintiles para evaluar la puntuación relativa de la vulnerabilidad, un quintil más alto denota una mayor puntuación de vulnerabilidad relativa y un quintil más bajo una menor puntuación de vulnerabilidad relativa; los resultados se presentaron de forma espacial a través del software QGIS 3.16.14, lo cual se amplía en el apartado "Representación espacial".

La figura 1 resume los datos de entrada y los métodos usados para definir los índices utilizados para los modelos de vulnerabilidad. Todos los cálculos de indicadores y análisis estadísticos se realizaron con R versión 4.0.4.

**Figura 1.** Representación esquemática de las capas de datos y los modelos utilizados para definir el Índice de Vulnerabilidad Social (IVS) y el análisis de componentes principales (PCA) a nivel cantonal en Ecuador



### Modelo jerárquico aditivo

Los índices aditivos basados en indicadores normalizados y sumados son útiles para identificar puntos críticos donde ocurren múltiples aspectos de vulnerabilidad. Primero, cada uno de los indicadores se calculó a partir de las respectivas fuentes de datos. Luego, debido a la inconmensurabilidad de las unidades en las que se miden los indicadores, se procedió a la normalización de los mismos, reajustando los valores entre 0 y 1. Finalmente, se calculó el promedio de cada una de las dimensiones de todos los cantones para conformar el índice de vulnerabilidad social.

La ecuación general que resume el modelo que se empleó para el índice de vulnerabilidad de cada cantón es:

$$IVS = \frac{1}{4}\left[ID + IE + IS + ISE\right]$$

### Donde

- ID: índice demográfico
- IE: índice epidemiológico.
- IS: índice de salud.
- ISE: índice socioeconómico

Cada uno es un subíndice que representa una dimensión de vulnerabilidad y son calculados por cada una de las siguientes fórmulas:

$$ID = \frac{dp + pp50a + ppu}{3}$$

$$IE = \frac{id + ic + icr + ir}{4}$$

$$IS = \frac{tmge + tch + tpe}{3}$$

$$ISE = \frac{pva + pval + ppae}{3}$$

En ausencia de una justificación para usar cualquier esquema de ponderación, se asignaron pesos iguales a cada indicador para calcular la vulnerabilidad de la dimensión.

### Análisis de componentes principales

Por otra parte, el análisis de componentes principales (PCA) es una herramienta de exploración de datos estadísticos multivariados basada en la ordenación, que convierte una serie de indicadores potencialmente correlacionados (con algún atributo compartido, como puntos en el espacio o el tiempo) en un conjunto de indicadores no correlacionados que capturan la variabilidad en los datos subyacentes [25].

En este estudio, se utilizó el PCA para reducir la dimensionalidad de los indicadores seleccionados, conservando tanta información como sea posible. Este procedimiento no puede ser realizado con valores faltantes, por tanto, cualquier registro de cantón que no posea un valor dentro de los 13 indicadores calculados, se sustituyó por el valor de cero.

### Representación espacial

Para la representación espacial de las cifras de vulnerabilidad, a nivel cantonal, se lo realizó a través del software libre QGIS versión 3.16.14, en el cual se ingresó por adición de texto delimitado por comas, la data (tabla), en formato "csv", de los 6 índices y modelos, con 221 entradas (correspondientes a los 221 cantones) y con base en un sistema de referencia de coordenadas (SRC) de tipo WGS 84 - EPSG:4326.

La tabla ingresada se unió a la tabla del vector cantonal mediante el complemento "Unir atributos por valor de campo". Se usó como referencia común de campo entre las dos tablas a la identificación (ID) de la división política administrativa (DPA) a nivel cantonal, con el tipo de unión "crear un objeto separado por cada objeto coincidente (uno a muchos)", obteniendo una nueva figura de tipo vector, al cual, dependiendo del índice o modelo, se le adjudicó una coloración más clara o más oscura según sus valores a nivel cantonal; esto por medio de graduación a través del control de propiedades de simbología, con un modo de conteo igual (cuantil) de 5 clases, de tal modo que se pudo dar una escala común de color a todos los índices o modelos, pese a llevar distintos valores cada uno. Se hizo una composición de imagen de cada índice o modelo por separado.

## Resultados

### Índices de vulnerabilidad

La figura 2 muestra la distribución de cada una de las dimensiones de vulnerabilidad, agrupadas por colores en 3 clases de vulnerabilidad (alta, media y baja). En el caso de la dimensión demográfica (figura 2A) los cantones más vulnerables se encuentran distribuidos mayormente al sur y oeste del Ecuador, resaltando los centros con mayor densidad poblacional a nivel urbano, como son: La Libertad, Guayaquil, Quito, Cuenca, etc., y debido a la variable de 50 años y más, los valores altos también se distribuyen en zonas rurales como Catamayo, Olmedo, Pasaje, Piñas, entre otros.

El índice epidemiológico (figura 2B) muestra un patrón territorial más identificable. Los cantones con mayor valoración se concentran principalmente al sur del Ecuador, en las provincias de Loja, Morona Santiago, Cañar, Azuay, El Oro y Zamora Chinchipe, y al oeste en la provincia de Manabí y Santo Domingo de los Tsáchilas.

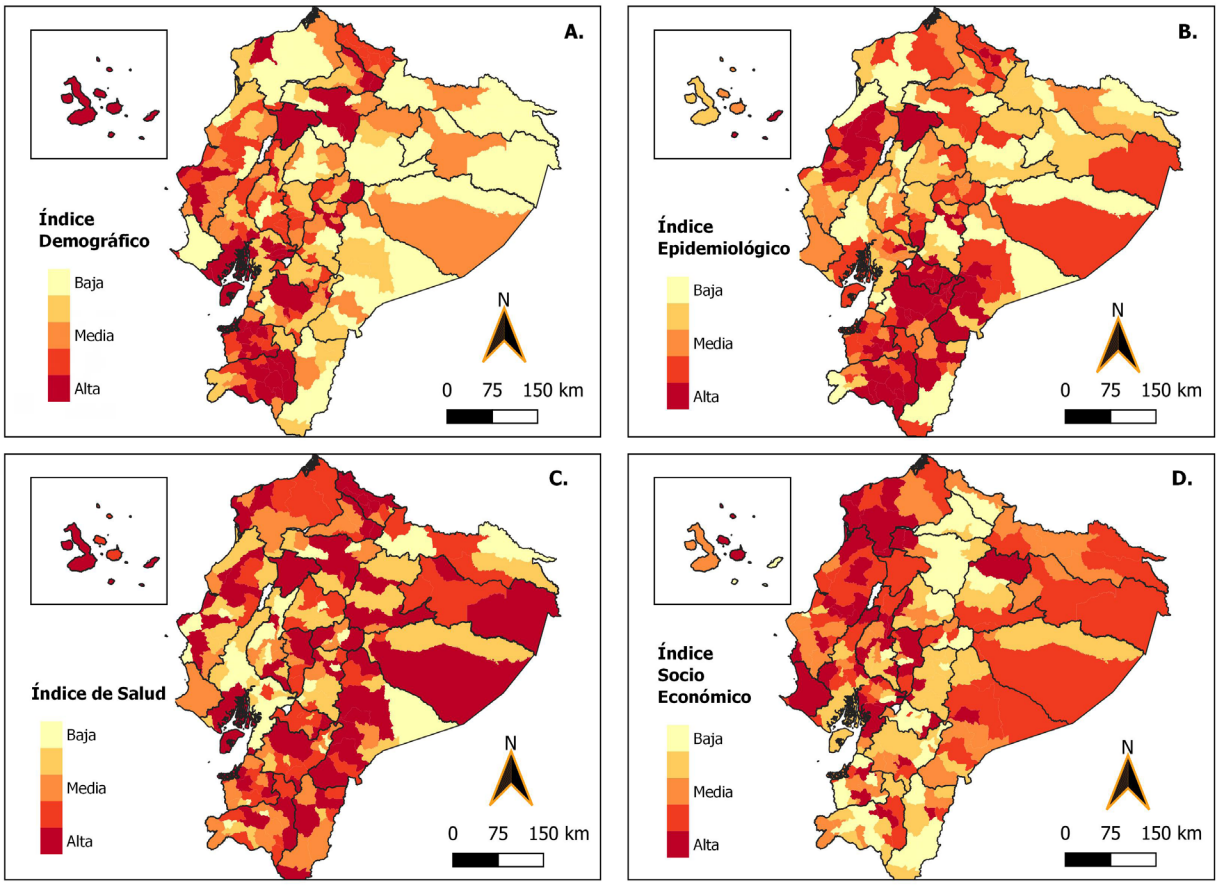
Por el contrario, el índice de salud (figura 2C) tiene una distribución más heterogénea, los cantones con la vulnerabilidad más alta se encuentra en la zona Insular y Amazonía del Ecuador. Los cantones más vulnerables son San Cristóbal, Aguarico, Tena, Quijos, Sucúa.

Finalmente, el índice socioeconómico (figura 2D) presenta una distribución diferente a las demás. Las áreas con una vulnerabilidad en la categoría alta se concentran en un 60 % en la Costa norte del país y el 28 % en la Sierra. Los cantones que se muestran, en este índice, como más vulnerables son: Piñas, Alfredo Baquerizo Moreno, Salitre, Azogues, Junín y Bolívar.

### Modelos de vulnerabilidad

Con base en la metodología empleada, por medio del análisis espacial geoestadístico, se obtuvieron 2 tablas (de 221 observaciones cada una) correspondientes a los 221 cantones del Ecuador, las cuales expresan, respectivamente, el modelo aditivo de vulnerabilidad y el modelo de vulnerabilidad por análisis de componentes principales.

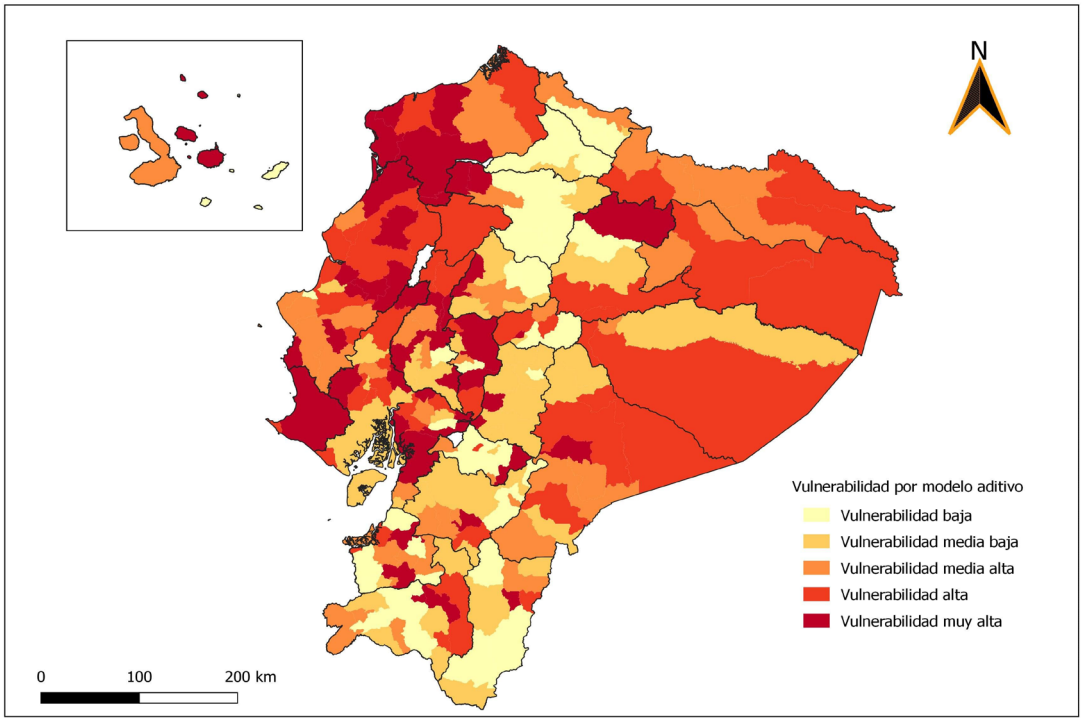
**Figura 2.** Índice de vulnerabilidad demográfico (A), epidemiológico (B), de salud (C) y socioeconómico (D), en los 221 cantones de Ecuador, agrupados en vulnerabilidad baja, media y alta

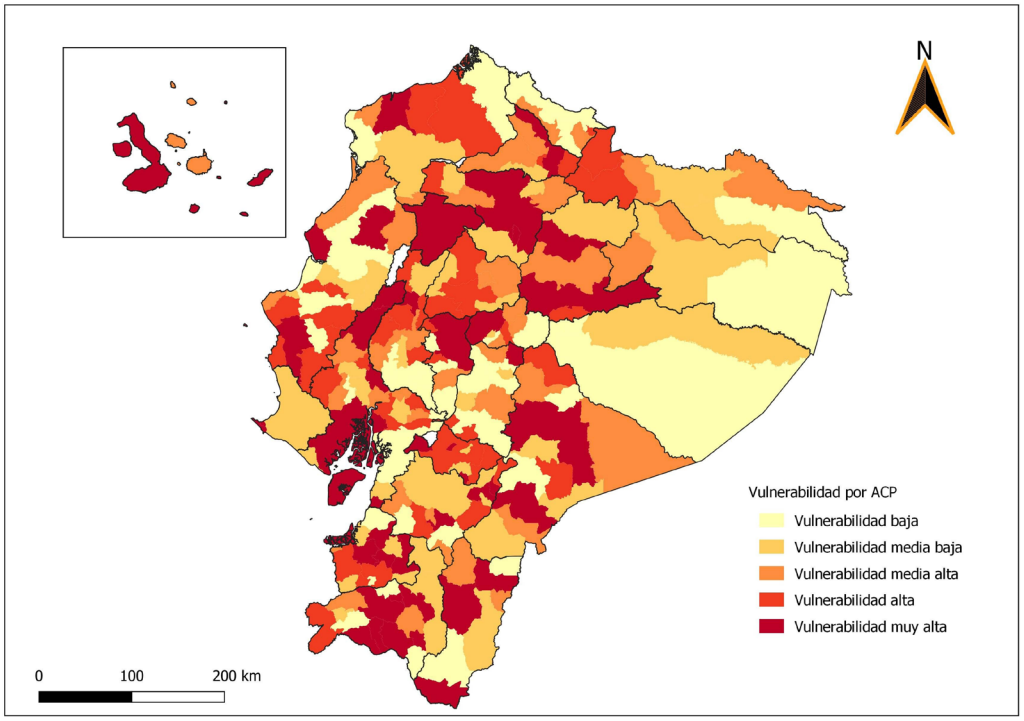


Se observaron 45 unidades geopolíticas en nivel de "vulnerabilidad muy alta", tanto para modelo aditivo de vulnerabilidad como para el modelo de vulnerabilidad por análisis de componentes principales, siendo coincidentes, entre los dos modelos, un aproximado del 10 % (9,95 %), que corresponde a 22 cantones.

**Tabla 2.** Puntajes del IVS y PCA: Quintil de vulnerabilidad muy alta

| Cantón | Vulnerabilidad aditivo | Cantón | Vulnerabilidad PCA |
|---|---|---|---|
| AZOGUES | 1 | QUILANGA | 1 |
| QUILANGA | 0,965666089 | LIMÓN INDANZA | 0,91101666 |
| PIÑAS | 0,911023065 | GIRÓN | 0,862227675 |
| LIMÓN INDANZA | 0,829009485 | GUAYAQUIL | 0,8443765 |
| GUAYAQUIL | 0,791055848 | LA LIBERTAD | 0,818737785 |
| GIRÓN | 0,754081561 | AMBATO | 0,817806341 |
| SUCÚA | 0,740277869 | CATAMAYO | 0,785992932 |
| LOJA | 0,739237943 | GUARANDA | 0,782345656 |
| MACHALA | 0,720706509 | OLMEDO | 0,780914565 |
| FLAVIO ALFARO | 0,719489018 | DURÁN | 0,779966583 |
| QUITO | 0,714584149 | ESMERALDAS | 0,755902201 |
| PORTOVIEJO | 0,708101368 | PASAJE | 0,751382632 |
| MANTA | 0,691988784 | ZAMORA | 0,737590944 |
| AMBATO | 0,651768295 | DELEG | 0,736944516 |
| BOLÍVAR | 0,651723012 | YANTZAZA (YANZATZA) | 0,731622099 |
| LA LIBERTAD | 0,650176219 | SALITRE | 0,726794535 |
| QUEVEDO | 0,640913496 | SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS | 0,724851431 |
| SAN CRISTÓBAL | 0,640712807 | EMPALME | 0,724282496 |
| PASAJE | 0,637759327 | TENA | 0,712929138 |
| CUENCA | 0,632817468 | EL PAN | 0,71057722 |
| DURÁN | 0,627748683 | FLAVIO ALFARO | 0,696075785 |
| SAN FERNANDO | 0,62502739 | QUITO | 0,693691531 |
| JUNÍN | 0,623334661 | SANTA ROSA | 0,685288923 |
| CATAMAYO | 0,604901739 | SAN VICENTE | 0,680961049 |
| GUARANDA | 0,599528683 | ZARUMA | 0,675193614 |
| MACARÁ | 0,597996231 | ATAHUALPA | 0,660947854 |
| OLMEDO | 0,597420442 | QUEVEDO | 0,657880263 |
| SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS | 0,594023747 | SAN CRISTÓBAL | 0,657782709 |
| ESMERALDAS | 0,590791689 | PALTAS | 0,65540806 |
| MUISNE | 0,584444508 | RUMIÑAHUI | 0,652232677 |
| RIOBAMBA | 0,579411262 | SOZORANGA | 0,647360945 |
| CHONE | 0,566276256 | JIPIJAPA | 0,644842183 |
| DELEG | 0,561677331 | MORONA | 0,641785 |
| PASTAZA | 0,547249522 | SUSCAL | 0,641504938 |
| LA CONCORDIA | 0,544391815 | MACARÁ | 0,637018203 |
| SAN MIGUEL | 0,541659931 | LA TRONCAL | 0,62656887 |
| MILAGRO | 0,535994412 | CALVAS | 0,625794359 |
| ALFREDO BAQUERIZO MORENO (JUJAN) | 0,531126111 | ISABELA | 0,618511555 |
| ZAMORA | 0,531073947 | BALZAR | 0,606037863 |
| AGUARICO | 0,530735444 | SALINAS | 0,605063233 |
| SUCRE | 0,529435852 | QUIJOS | 0,601824112 |




En la figura 3 se puede observar que el modelo aditivo de vulnerabilidad, bajo la adjudicación de una coloración más clara o más oscura, logra, en una división político administrativa de tipo cantonal, una representación espacial a nivel del Ecuador de la vulnerabilidad por COVID-19, en una escala expresadas en quintiles (según su nivel de vulnerabilidad baja, media baja, media alta, alta y muy alta), estableciendo una vulnerabilidad muy alta, mayor a 0,514436931 para 45 cantones, de los cuales el 5 % de estos presentó niveles superiores a 0,708101368, que corresponde a 12 cantones, los cuales son: Azogues, Quilanga, Piñas, Limón Indanza, Guayaquil, Girón, Sucúa, Loja, Machala, Flavio Alfaro, Quito y Portoviejo.

Bajo la adjudicación de una coloración, clara u oscura, se representa espacialmente la escala de análisis de componentes principales de vulnerabilidad.

En la figura 4 se puede observar que el modelo, bajo la adjudicación de una coloración más clara o más oscura, logra, en una división político administrativa de tipo cantonal, una representación espacial, a nivel del Ecuador, del análisis de componentes principales de vulnerabilidad

por COVID-19, basado en una escala expresadas en quintiles, según su nivel de vulnerabilidad (baja, media baja, media alta, alta y muy alta), estableciendo una vulnerabilidad muy alta, es decir, mayor a 0,591429514 para 45 cantones, de los cuales, el 5 % de estos presentó niveles superiores a 0,751382632, que corresponde a 12 cantones, los cuales son: Quilanga, Limón Indanza, Girón, Guayaquil, La libertad, Ambato, Catamayo, Guaranda, Olmedo, Durán, Esmeraldas y Pasaje.

## Discusión

Sigue viéndose incierta la forma en que el Ecuador podría superar la pandemia por COVID-19, sin embargo, se puede atisbar un escenario plausible de gestión con base en los antecedentes observados en otras realidades regionales y aprovechando, además, que el virus demoró unas pocas semanas más en llegar al Ecuador, en comparación con otros países de la región, brindando la oportunidad de aprender de ellos y de otros contextos similares [5].

Medidas como el distanciamiento social, uso de mascarilla e higiene frecuente de manos se vieron efectivas para frenar la rápida propagación del virus [26,27], así como la implementación complementaria de un esquema profiláctico vacunal [28], pero existen factores adicionales, propios de cada localidad, que se conjugan para que se presente un escenario de mayor o menor afectación por COVID-19 [10–12].

En cantones como Quito y Guayaquil, se sostenía, a inicios de la pandemia, la percepción de que enfrentarían, con alta operatividad, a las exigencias que derivasen de la pandemia; sin embargo, ambos cantones se vieron afectados en niveles no antes observados [29,30].

En realidad, la percepción del impacto de la pandemia en cualquier ciudad (cantón) del Ecuador estuvo fuera de toda certeza, debido al plano subjetivo de afección que derivó del ingreso de una enfermedad emergente de la envergadura de COVID-19 [31,32], siendo los índices aditivos ponderados una valiosa alternativa para la asignación de un puntaje que permitió medir, relativamente, el grado de afección de un cantón. A tal modo que, sumando diversos factores propios de cada cantón, se objetivizó, en la medida de lo que permitieron los datos existentes, un índice de vulnerabilidad; sin embargo, no es posible superar toda subjetividad y es necesario utilizar las cifras de forma acrítica [10].

Una apropiada manera de abordar la subjetividad en el índice obtenido es por medio del desarrollo de un marco conceptual claro, identificando los “supuestos” y fuentes de datos, sin dejar de mantener la transparencia en la elección de indicadores, subíndices y funciones de agregación [33].

Por lo tanto, una evaluación de la validez y confiabilidad de los resultados depende tanto del análisis crítico de las opciones metodológicas en la creación del índice como de las cifras y las clasificaciones en sí mismas, ya que un índice es tan bueno como la calidad de las fuentes de datos que utiliza [12].

A pesar de la cantidad de datos recopilados a nivel nacional, la limitación en la disponibilidad de estos datos jugó un papel importante en la construcción del IVS, que, sumado a la dificultad de evaluar la durabilidad y robustez de las fuentes, requirió una selección, casi en su totalidad, de fuentes con un origen únicamente de instituciones oficiales, con amplia trayectoria en el manejo de data. A pesar de ser fuentes oficiales, mostraron deficiencias, como la falta de algunos cantones en registros generales en ciertas fuentes o la periodicidad preestablecida, con fechas formales, para la publicación de nuevos datos, como por ejemplo los censos oficiales, además de otras discrepancias más en los datos, que puedan estar sujetas a diversos factores, como por ejemplo, la discontinuidad en el proceso de recolecta de datos, posiblemente debido a cambio de autoridades que no priorizan la recopilación de información como una necesidad para la continuidad en los estudios de carácter científico.

Por otro lado, el conjunto de conocimientos sobre los factores de riesgo de COVID-19 y cómo podrían afectar a las poblaciones están aún en desarrollo [10]. Por lo que se utilizó la igualdad de pesos como la alternativa más favorable para la construcción del IVS, esperando a futuro el desarrollo de otras alternativas que establezcan mejores aproximaciones de las ponderaciones para cada uno de los modelos analizados y la estandarización de las mismas.

En el caso del índice jerárquico aditivo, la generación de un único índice de vulnerabilidad compuesto, utilizando un modelo de normalización/sumatoria, resultó problemático, porque la información potencialmente importante, con respecto a las relaciones entre los indicadores originales, se oscurece en el índice aditivo, sin unidades resultantes de muchos indicadores a un solo índice.

Por lo que se propuso el uso de PCA para resaltar patrones dentro de los datos, independientemente de la hipótesis sobre la distribución de probabilidad de los datos, este modelo proporciona varias ventajas potenciales, como por ejemplo, reducir la dimensionalidad de los datos o minimizar la pérdida de la información, como se ha evidenciado en otros estudios [25].

## Conclusiones

Se establecieron las etapas del índice de vulnerabilidad a COVID-19 por medio de selección de indicadores, la unidad de análisis espacial (cantón) y acceso a la información disponible, obteniendo un diseño estructural jerárquico aditivo. Además, se ajustaron las escalas de medida de los indicadores, disminuyendo sesgos que influyen en la predicción del índice, logrando así hacer comparables todos los indicadores, y se las pudo representar en una misma escala para combinarlas en un solo índice; tras ellos, se obtuvo un puntaje que nos muestra un grado de vulnerabilidad relativa para cada cantón. Se observaron 45 unidades geopolíticas en nivel de "vulnerabilidad muy alta", tanto para modelo aditivo de vulnerabilidad como para el modelo de vulnerabilidad por análisis de componentes principales, siendo coincidentes, entre los dos modelos, un aproximado del 10 % (9,95 %), que corresponde a 22 cantones.

Se identificó y mapeó, dentro de la unidad de análisis (cantón), las comunidades que probablemente necesitarán un mayor apoyo durante el transcurso pandémico o endémico del brote actual de COVID-19, esto con base en los puntajes obtenidos mediante el análisis espacial, siendo Azogues, Quilanga, Piñas, Limón Indanza, Guayaquil, Girón, Sucúa, Loja, Machala, Flavio Alfaro, Quito y Portoviejo el 5 % de los cantones con "vulnerabilidad muy alta" en el modelo aditivo; mientras que Quilanga, Limón Indanza, Girón, Guayaquil, La libertad, Ambato, Catamayo, Guaranda, Olmedo, Durán, Esmeraldas y Pasaje se presentan, en el modelo por análisis de componentes principales, como el 5 % de los cantones de "vulnerabilidad muy alta".

## Revisión por pares

El manuscrito fue revisado por pares ciegos y fue aprobado oportunamente por el Equipo Editorial de la revista INSPILIP.

## Disponibilidad de datos y materiales

Los datos que sustentan este manuscrito están disponibles bajo requisición al autor correspondiente.

## Aspectos éticos

Previo a realizar el presente estudio de caso, se efectuó la firma del respectivo consentimiento informado voluntario del paciente respetando las normas de bioética y protección de identidad.

## Fuente de financiamiento

Este estudio es autofinanciado.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos en la publicación del presente manuscrito.

## Referencias

1. Bogoch, I. I., Watts, A., Thomas-Bachli, A., Huber, C., Kraemer, M. U. G., & Khan, K. (2020). Pneumonia of unknown aetiology in Wuhan, China: Potential for international spread via commercial air travel. Journal of Travel Medicine, 27(2), 1–3. https://doi.org/10.1093/jtm/taaa008

2. Lu, H., Stratton, C. W., & Tang, Y. W. (2020). Outbreak of pneumonia of unknown etiology in Wuhan, China: The mystery and the miracle. Journal of Medical Virology, 92(4), 401–402. https://doi.org/10.1002/jmv.25678

3. Rothan, H. A., & Byrareddy, S. N. (2020). The epidemiology and pathogenesis of coronavirus disease (COVID-19) outbreak. Journal of Autoimmunity, 109(February), 102433. https://doi.org/10.1016/j.jaut.2020.102433

4. Holshue, M. L., DeBolt, C., Lindquist, S., Lofy, K. H., Wiesman, J., Bruce, H., Spitters, C., Ericson, K., Wilkerson, S., Tural, A., Diaz, G., Cohn, A., Fox, L., Patel, A., Gerber, S. I., Kim, L., Tong, S., Lu, X., Lindstrom, S., … Pillai, S. K. (2020). First case of 2019 novel coronavirus in the United States. New England Journal of Medicine, 382(10), 929–936. https://doi.org/10.1056/nejmoa2001191

5. Inca-Ruiz, P., Inca León, A. C., & Inca-Ruiz Patricio, I. L. A. C. (2020). Evolución de la enfermedad por coronavirus (COVID-19) en Ecuador | La ciencia al servicio de la salud. Revista Ciencia al Servicio de la Salud y la Nutrición, 11(1), 5–15. https://doi.org/10.47244/cssn.Vol11.Iss1.441

6. Eklund, R., Bondjers, K., Hensler, I., Bragesjö, M., Johannesson, K. B., Arnberg, F. K., & Sveen, J. (2022). Daily uplifts during the COVID-19 pandemic: what is considered helpful in everyday life? BMC Public Health, 22(1), 1–10. https://doi.org/10.1186/s12889-022-12506-4

7. van Dorn, A., Cooney, R. E., & Sabin, M. L. (2020). COVID-19 exacerbating inequalities in the US. Lancet (London, England), 395(10232), 1243–1244. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30893-X

8. Adhanom Ghebreyesus, T. (2020). Alocución de apertura del director general de la OMS en la rueda de prensa sobre la COVID-19 celebrada el 11 de marzo de 2020. In Discursos del director general de la OMS (Issue March 2020, pp. 1–4). https://www.who.int/es/director-general/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---12-january-2022

9. Carrazco-Montalvo, A., Armendáriz-Castillo, I., Tello, C. L., Morales, D., Armas-Gonzalez, R., Guizado-Herrera, D., León-Sosa, A., Ramos-Sarmiento, D., Fuertes, B., Cárdenas, P., Márquez, S., Prado-Vivar, B., Guadalupe, J. J., Gutiérrez, B., Wong, M. B., Grunauer, M., Trueba, G., Rojas-Silva, P., Barragán, V., & Patino, L. (2022). First detection of SARS-CoV-2 variant B.1.1.529 (Omicron) in Ecuador. New Microbes and New Infections, 45, 100951. https://doi.org/10.1016/j.nmni.2022.100951

10. Macharia, P. M., Joseph, N. K., & Okiro, E. A. (2020). A vulnerability index for COVID-19: spatial analysis at the subnational level in Kenya. BMJ Global Health, 5(8), e003014. https://doi.org/10.1136/bmjgh-2020-003014

11. Suárez Lastra, M., Valdés González, C., Galindo Pérez, M. C., Salvador Guzmán, L. E., Ruiz Rivera, N., Alcántara-Ayala, I., López Cervantes, M., Rosales Tapia, A. R., Lee Alardin, W., Benítez Pérez, H., Bringas López, O. A., Oropeza Orozco, O., Peralta Higuera, A., & Garnica-Peña, R. J. (2020). Índice de vulnerabilidad ante el COVID-19 en México. Investigaciones Geográficas, 0–2. https://doi.org/10.14350/rig.60140

12. Acharya, R., & Porwal, A. (2020). A vulnerability index for the management of and response to the COVID-19 epidemic in India: an ecological study. The Lancet Global Health, 8(9), e1142–e1151. https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30300-4

13. INEC. (2010). Proyecciones Poblacionales |. In Proyecciones Poblacionales (p. 1). https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Poblacion_y_Demografia/Proyecciones_Poblacionales/PROYECCION_PROVINCIAS_SEXOS_Y_AREAS_2010_2020.xlsx

14. Rygel, L., O'Sullivan, D., & Yarnal, B. (2006). A method for constructing a social vulnerability index: An application to hurricane storm surges in a developed country. Mitigation and adaptation strategies for global change, 11(3), 741–764. https://doi.org/10.1007/s11027-006-0265-6

15. Cutter, S.L.; Carolina, S.; Boruff, B.J.; Carolina, S.; Shirley, W.L.; Carolina, S. (2003). Cutter et al 2003. In Soc.Sci (Vol. 84, pp. 242–261).

16. ARAL, N., & BAKIR, H. (2022). Spatiotemporal analysis of COVID 19 in Turkey. Sustainable Cities and Society, 76(September 2021), 0–2. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103421

17. Eryando, T., Sipahutar, T., & Rahardiantoro, S. (2020). The risk distribution of COVID-19 in Indonesia: A spatial analysis. Asia-Pacific Journal of Public Health, 32(8), 450–452. https://doi.org/10.1177/1010539520962940

18. Hafner, C. M. (2020). The spread of the COVID-19 pandemic in time and space. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(11). https://doi.org/10.3390/ijerph17113827

19. Selcuk, M., Gormus, S., & Guven, M. (2021). Impact of weather parameters and population density on the COVID-19 Transmission: Evidence from 81 provinces of Turkey. Earth Systems and Environment, 5(1), 87–100. https://doi.org/10.1007/s41748-020-00197-z

20. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2020, May 25). Los problemas de salud, la pobreza y los desafíos de COVID-19 en América Latina y el Caribe - Ideas que cuentan. https://blogs.iadb.org/ideas-que-cuentan/es/los-problemas-de-salud-la-pobreza-y-los-desafios-de-covid-19-en-america-latina-y-el-caribe/

21. CEPAL, C. E. para A. L. y el C. (2020). Desafíos para la protección de las personas mayores y sus derechos frente a la pandemia de COVID-19. Informes COVID-19, 35. https://www.un.org/development/desa/disabilities/wp-content/uploads/sites/15/2020/04/Versión2-

22. Organization, W. H. (2020). Clinical management of severe acute respiratory infection when novel coronavirus (2019-nCoV) infection is suspected: interim guidance, 28 January 2020. World Health Organization.

23. Ferraz, D., Mariano, E. B., Manzine, P. R., Moralles, H. F., Morceiro, P. C., Torres, B. G., de Almeida, M. R., Soares de Mello, J. C., & Rebelatto, D. A. do N. (2021). COVID Health Structure Index: The Vulnerability of Brazilian Microregions. Social Indicators Research, 158(1), 197–215. https://doi.org/10.1007/s11205-021-02699-3

24. CEPAL, N. U. (2020). La educación en tiempos de la pandemia de COVID-19.

25. Abson, D. J., Dougill, A. J., & Stringer, L. C. (2012). Using principal component analysis for information-rich socio-ecological vulnerability mapping in Southern Africa. Applied Geography, 35(1–2), 515–524. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.08.004

26. Brooks, J. T., Butler, J. C., & Redfield, R. R. (2020). Universal masking to prevent SARS-CoV-2 transmission—The Time Is Now. JAMA, 324(7), 635. https://doi.org/10.1001/jama.2020.13107

27. Taiwan Centers for Disease Control - COVID-19(Wuhan pneumonia information on self-financed inspection fees is made public for the convenience of the public. 2020. https://www.cdc.gov.tw/En

28. Brüssow, H., & Zuber, S. (2022). Can a combination of vaccination and face mask wearing contain the COVID-19 pandemic? Microbial Biotechnology, 15(3), 721–737. https://doi.org/10.1111/1751-7915.13997

29. FLACSO, Carrión, F., & Cepeda, P. (2021). Quito: la ciudad que se disuelve: Covid 19 (F. Carrion & P. Cepeda (Eds.)). Polis. tic Lab; FLACSO Ecuador. https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/58354.pdf

30. OCDE, O. para la C. y D. E. (2020). Impacto social del COVID-19 en Ecuador: desafíos y respuestas [Social impact of COVID-19 in Ecuador: challenges and responses]. Making Development Happen, 4, 2–21. https://n9.cl/snykx

31. Correa-Quezada, R., Izquierdo-Montoya, L., & García-Vélez, D. (2020). Impacto del COVID-19 en Ecuador. Ecuador: Círculo de Estudios Latinoamericanos.

32. Molina Prendes, N., & Mejias Herrera, M. L. (2020). Impacto social de la COVID-19 en Brasil y Ecuador: donde la realidad supera las estadísticas . EDUMECENTRO, 12(3), 277–283.

33. Patterson, M., & Jollands, N. (2004). The power of one: Developing a headline indicator for tracking progress to sustainability in New Zealand. International Journal of Environment and Sustainable Development, 3(3–4), 316–338. https://doi.org/10.1504/ijesd.2004.005078