

# Distribución espacial de la COVID-19 con principales comorbilidades en la Megalópolis de la Zona Metropolitana del Valle de México.

Spatial distribution of COVID-19 with main comorbidities in the Megalopolis of the Metropolitan Zone of the Valley of Mexico.

*Yhan Andal De Fermin Sosa, Marcela Virginia Santana Juárez, Giovanna Santana Castañeda*

[yhanuaemex@outlook.com](mailto:yhanuaemex@outlook.com); [mvsantanaj@uaemex.mx](mailto:mvsantanaj@uaemex.mx); [gsantanac@uaemex.mx](mailto:gsantanac@uaemex.mx)

Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Geografía.

Enviado 14/07/2022 – Aceptado 26/12/2022

De Fermin Sosa, Yhan Andal; Santana Juárez, Marcela Virginia; Santana Castañeda, Giovanna (2022). "Distribución espacial de la COVID-19 con principales comorbilidades en la Megalópolis de la Zona Metropolitana del Valle de México". En *Proyección: estudios geográficos y de ordenamiento territorial*. Vol. XVI, (32). ISSN 1852 -0006, (pp. 202 – 233). Instituto CIFOT, Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza.



<https://doi.org/10.48162/rev.55.034>

## Resumen

La presente investigación tiene como objetivo analizar la distribución y autocorrelación espacial de las defunciones por COVID-19, así como la letalidad asociada a tres principales comorbilidades (diabetes, hipertensión y obesidad), en la Megalópolis de la Zona Metropolitana del Valle de México (MZMVM), en el 2021. El método consistió en el cálculo de cuatro indicadores (asociados con COVID-19 y cada comorbilidad): tasas de prevalencia, de mortalidad, de mortalidad específica y de letalidad. A partir de la letalidad se calculó el índice de LISA y se identificaron clústeres con valores altos, bajos y atípicos.

Los resultados muestran que la mortalidad por COVID-19 presenta un patrón de distribución espacial diferente al compararla con la letalidad: las tasas altas de mortalidad y prevalencia se distribuyeron en las zonas más densamente pobladas, en cambio, las tasas altas de letalidad se localizaron en las zonas metropolitanas circundantes al Valle de México. De acuerdo con el indicador de LISA de la tasa de letalidad, los municipios de Toluca y Capulhuac conformaron clústeres coincidentes de tipo "alto-alto", en relación con diabetes e hipertensión; mientras que, para hipertensión y obesidad, se conformó el clúster en torno a San Agustín Tlaxiaca.

**Palabras clave:** letalidad, mortalidad, distribución espacial, autocorrelación espacial.

## Abstract

The objective of this study is to analyze the distribution and spatial autocorrelation of deaths from COVID-19 and the case-fatality rate associated with three main comorbidities (diabetes, hypertension, and obesity) in the Megalopolis of the Metropolitan Area of the Valley of Mexico (MZMVM) in 2021. The method consisted on calculating four indicators (associated with COVID-19 and each comorbidity): Prevalence, Mortality, Specific Mortality, and Case-Fatality rate. The LISA index of case fatality rate was calculated, and clusters of high, low, and atypical values were identified.

Results show that COVID-19 mortality had a different spatial distribution pattern than case fatality rate: the high mortality and prevalence rates were found in the most densely populated areas, whereas the high case fatality rates were found in the metropolitan areas around the Valley of Mexico. According to the LISA indicator for case fatality rates, the municipalities of Toluca and Capulhuac formed coinciding clusters of the "high-high" type with respect to diabetes and hypertension, while for hypertension and obesity the cluster was formed around San Agustín Tlaxiaca.

**Keywords:** mortality, case fatality rate, distribution, spatial autocorrelation.

## Introducción

A finales del 2019, en Wuhan, China, se identificó un nuevo tipo de coronavirus denominado SARS-CoV-2 que provoca la enfermedad COVID-19, la cual ocasionó una pandemia que, hasta mayo del 2022, había generado 528 millones de casos positivos y más de 6.2 millones de muertes en todo el mundo (Roberts, Rossman, & Jarić, 2021).

Esta enfermedad afecta principalmente a personas de edad avanzada y con determinadas comorbilidades, causando afectaciones graves en la función respiratoria y síndrome de respuesta inflamatoria sistémica que pueden conducir a necesitar de apoyo con respirador mecánico, a un choque séptico con fallo multiorgánico y altas tasas de mortalidad (Ruiz & Jiménez, 2020).

La propagación del virus fue rápida luego de extenderse a países de Asia y Europa. En América se detectó el primer caso el 21 de enero del 2020 en Estados Unidos, posteriormente, el 30 de enero la Organización Mundial de la Salud declaró una emergencia de salud pública de importancia internacional; Brasil confirmó el primer caso el 26 de febrero, México el 27 de febrero y en días posteriores se comenzaron a detectar casos en los demás países de Latinoamérica (Sánchez et al., 2020).

Un hecho que ha jugado un papel importante en el desarrollo de la pandemia es la distribución geográfica de la población. En el 2021 el 55% de la población mundial vivía en ciudades, en el caso de México la población urbana asciende al 81% y la tendencia indica que estos porcentajes seguirán en aumento (Banco Mundial, 2022; Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2020; United Nations, 2018).

Es en las ciudades donde ocurren los mayores intercambios y movilidad de productos y personas, por lo tanto, es entendible que más del 90% de los casos positivos, registrados a nivel global, se han encontrado en zonas urbanas (United Nations, 2020), convirtiéndose estos espacios en el principal centro de atención para contener los efectos negativos de la pandemia, pues permiten conocer el perfil general de la población afectada y así poder atenderla.

México presenta características similares al contexto global, pues el mayor número de casos se ha concentrado en las ciudades. En el centro de México, principalmente en las entidades que conforman la Megalópolis de la Zona Metropolitana del Valle de México (Ciudad de México, Estado de México, Puebla, Tlaxcala, Hidalgo y Morelos), se concentró, hasta el 30 de mayo de 2022, el 40% de los 5,770,812 casos registrados y el 38% de las 324,854 defunciones registradas por COVID-19 a nivel nacional (Secretaría de Salud, 2022).

Otro aspecto relevante es la presencia de comorbilidades, que aumentan el riesgo de enfermar gravemente o fallecer por COVID-19. Existen por lo menos 14 afecciones relacionadas, entre las que se encuentran las enfermedades crónicas de tipo cardiovascular, renal, respiratoria, hepática, diabetes, cánceres con inmunosupresión directa, cánceres sin inmunosupresión directa pero con posible inmunosupresión causada por el tratamiento, VIH/SIDA, tuberculosis activa, trastornos neurológicos, trastornos de células falciformes, obesidad severa, hipertensión, además del consumo de tabaco (Organización Panamericana de la Salud, 2021b).

Con base en las consideraciones anteriores y adoptando el enfoque del análisis espacial, la presente investigación tiene como objeto de análisis a la MZMVM con el fin de examinar los patrones de distribución de la COVID-19 y establecer las relaciones espaciales (a través de la identificación de clústeres) para la tasa de letalidad de las tres comorbilidades con mayor incidencia entre los casos positivos y defunciones, mediante datos correspondientes al año 2021.

### **Antecedentes**

En el contexto internacional y nacional, diferentes estudios clínicos abordan el estudio de la COVID-19 como los de Bajgain, Badal, Bajgain, & Santana, (2021); Yang et al., (2020); Zhou et al., (2020) que coinciden en que las comorbilidades que presentan mayor incidencia en las defunciones de los países analizados son: hipertensión, la diabetes y las enfermedades cardiovasculares. Investigaciones de Ángeles Correa et al., (2022); Hidalgo Martínez, Villaquirán, Celis Preciado, García, & Bermúdez Gómez, (2020); Salinas-Aguirre et al., (2022); Singal, Bansal, & Chaudhary, (2020); Vélez et al., (2020); Vique-Sánchez & Galindo-Hernández, (2021) apuntan que en países como Colombia y México, de manera similar a países de Europa y Asia, además de las comorbilidades (diabetes, hipertensión, obesidad y enfermedad renal crónica), la edad (>60 años) es un factor de riesgo que se asocia con el número de defunciones.

Por otro lado, la Organización Panamericana de la Salud señala que existen diferencias respecto al sexo, así, mientras que en Brasil, Chile, Colombia, Ecuador y Perú la mayoría de defunciones se dio en hombres, en México fue en mujeres y en Argentina las diferencias no fueron significativas (Organización Panamericana de la Salud, 2021a).

Desde la perspectiva geográfica, estudios como el de Wang et al., (2022) se han centrado en el análisis de la dinámica espaciotemporal de los casos y las defunciones. A escala global, los trabajos de Brugués Rodríguez, Fuentes Flores, & Ramírez Cervantes, (2021); Leveau, (2021); Zapata Bedoya, Walteros Acero, & Mercado, (2022),

se orientan a la identificación de los países con mayor incidencia y la relación con variables socioeconómicas.

En México, los estudios de Barrio-Cortes et al., (2020); Lara Rivera, Parra Bracamonte, & Lopez Villalobos, (2021); Nuñez Medina, (2021); Sánchez-Talanquer et al., (2020); Villerías Alarcón & Juárez Gutiérrez, (2020) han logrado identificar las entidades con mayores tasas de incidencia, de defunciones y de letalidad, así como los principales factores de riesgo y comorbilidades que afectan a la población mexicana, al respecto Sánchez-Talanquer et al. apuntan que el 66.6% de las personas fallecidas por COVID-19 padecían al menos una de las tres principales comorbilidades: hipertensión, diabetes y obesidad.

Los impactos de la pandemia por COVID-19 en México se han acentuado principalmente en las ciudades, es por eso por lo que algunos estudios se han orientado al análisis de la situación en zonas urbanas, como Lozano-Keymolen, Gaxiola Robles-Linares, & Montoya-Arce, (2021) quienes se enfocaron en examinar la distribución y comparación de la incidencia de la COVID-19 en el contexto de las zonas metropolitanas.

El estudio de la COVID-19 no solo se ha abordado en torno a la distribución y factores propios de la enfermedad, sino que también se han hecho aportes importantes como el “Atlas de vulnerabilidad urbana ante COVID-19 en las Zonas Metropolitanas de México” de Suárez Lastra, Galindo Pérez, Rosales Tapia, & Slavador Guzmán, (2020) que se enfoca en la construcción de un índice para las 59 zonas metropolitanas de México, integrando variables demográficas, socioeconómicas y de accesibilidad a infraestructura de salud para comprender como, a partir de estos elementos, las poblaciones se vuelven más o menos vulnerables, lo cual se traduce en efectos diferenciados de la COVID-19 en el territorio.

### **Materiales y métodos**

Esta investigación es de tipo descriptivo, analítico y transversal, debido a que se analizaron los datos del año 2021, también es de carácter correlacional porque se analizó la relación entre la COVID-19 y las principales comorbilidades a partir de las tasas de defunción y de letalidad.

El esquema metodológico empleado para el análisis espacial de la COVID-19 se dividió en 4 grandes etapas:

1. Fuente de datos: en esta etapa se obtuvieron las bases de datos de los censos de población 2010 y 2020, realizados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), a partir de las cuales se proyectó la población del 202. Se obtuvo

la base de datos de COVID-19, con corte al 31 de diciembre del 2021, que elabora la Dirección General de Epidemiología, de la Secretaría de Salud de México.

2. Selección de variables: una vez que se obtuvieron las bases de datos se seleccionaron las variables de análisis y se extrajeron los datos correspondientes (casos positivos y defunciones por COVID-19, así como los casos que presentaron alguna de las comorbilidades analizadas (diabetes, hipertensión y obesidad)) (cuadro N°1; figura N°1).
3. Procesamiento de datos: esta etapa consistió en el cálculo de los indicadores que nos permitieron hacer el análisis, de acuerdo con las variables definidas previamente. Se desagregaron los casos positivos y las defunciones que presentaron alguna de las comorbilidades con más prevalencia: diabetes, hipertensión y obesidad; a partir de estas variables se calcularon las tasas de letalidad y de mortalidad por COVID-19 y específicas para cada una de las comorbilidades (cuadro N°1).
4. Resultados: los indicadores elaborados en la etapa anterior fueron el insumo principal para obtener los resultados de este trabajo, con los cuales se elaboró la cartografía para cada indicador; se analizó su distribución y se identificaron, de manera particular, aquellos municipios o demarcaciones que presentaron los valores más altos. Se calculó el Índice Local de Autocorrelación Espacial de Morán para la tasa de letalidad de los casos con alguna comorbilidad, mismo que se representó mediante gráficos de dispersión, para definir el grado de autocorrelación, y con cartografía para identificar los clústeres que presentaron las mayores afectaciones por la COVID-19, en el contexto de la MZMVM (figura N°1).

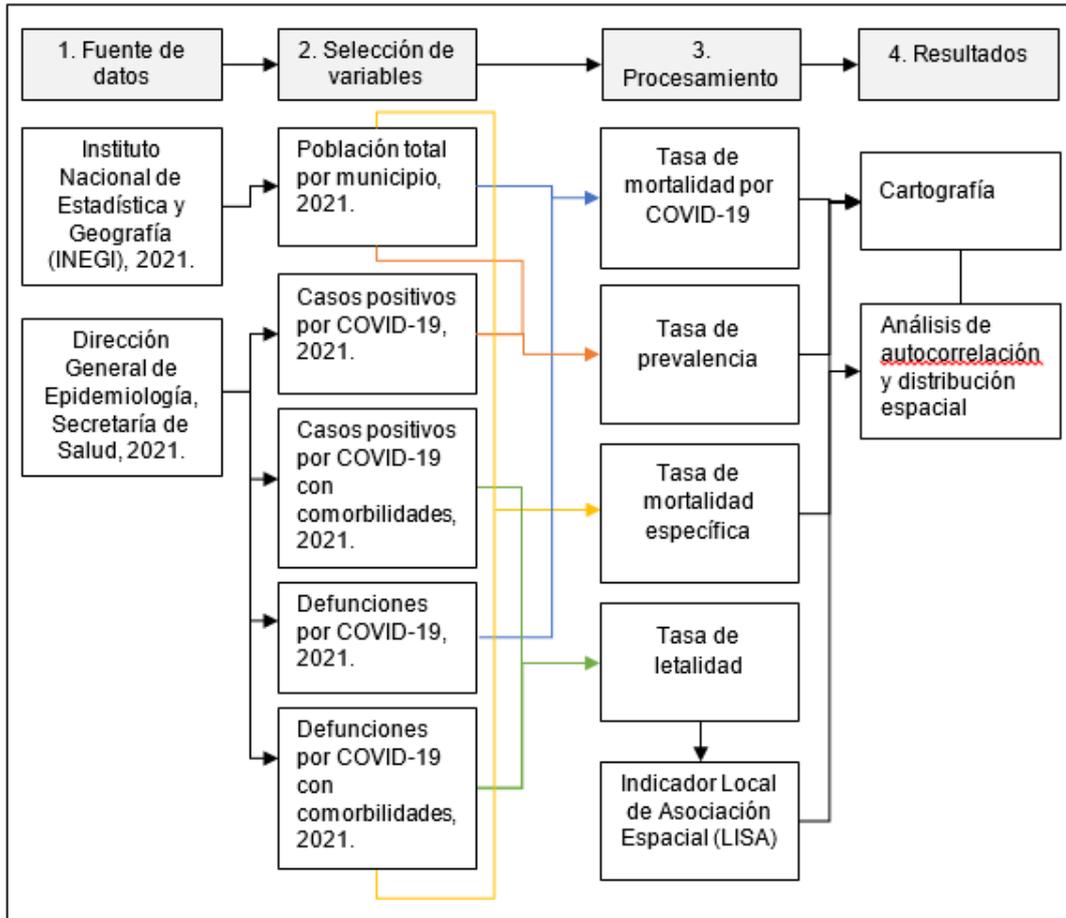
La depuración y preparación de las bases de datos, así como el cálculo de indicadores, se realizaron mediante el gestor PostgreSQL. Paralelamente se utilizó software de Sistemas de Información Geográfica: el cálculo del Índice Local de Autocorrelación Espacial de Morán se hizo mediante GeoDa versión 1.20, mientras que la cartografía se elaboró con QGIS versión 3.22.

Para la cartografía resultante de las tasas de mortalidad y prevalencia por COVID-19, mortalidad específica y letalidad, se utilizaron intervalos manuales cerrados, adaptados para todos los indicadores de acuerdo con la distribución de los datos, asignando 5 rangos los cuales fueron adecuados para hacer las comparaciones entre indicadores.

Para evitar sesgos en los cálculos, se definió el 2021 como el año de estudio, partiendo de dos supuestos: a) en los primeros meses de la pandemia la vigilancia se enfocó en los casos sintomáticos; de manera subsecuente, en el año 2021 se realizaron más

pruebas y hubo una mayor detección de casos, con lo que se evita la sobreestimación de los indicadores de mortalidad y letalidad; b) al elegir un año intermedio, se entiende que todos los casos del año 2021 están determinados y contabilizados, esto es, todas las personas contagiadas en ese año se han recuperado o han fallecido.

Fig. N.º 1. Esquema metodológico



Fuente: elaboración propia, 2022.

Cuadro N.º 1. Variables e indicadores

Variable	Indicador
Defunciones por COVID-19	Tasa de mortalidad (por 100 mil habitantes)
Casos positivos por COVID-19	Tasa de prevalencia (por 100 mil habitantes)
Defunciones por COVID-19 con diabetes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tasa de mortalidad específica (Tme)</li> <li>Tasa de letalidad (TL)</li> </ul>
Defunciones por COVID-19 con hipertensión	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tasa de mortalidad específica</li> <li>Tasa de letalidad</li> </ul>
Defunciones por COVID-19 con obesidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tasa de mortalidad específica</li> <li>Tasa de letalidad</li> </ul>

Fuente: elaboración propia, 2022.

La tasa de mortalidad específica (TMe) se entiende como la proporción de personas fallecidas por una causa concreta en un mismo lugar y periodo determinado (Moreno et al., 2007), y se expresa de la siguiente manera:

Ecuación 1:

$$Tme = \left( \frac{\text{Número de defunciones por COVID - 19 en el 2021}}{\text{Total de la población 2021}} \right) * 100,000$$

De acuerdo Moreno et al., (2007) con La tasa de prevalencia se define como la proporción de la población que padece una enfermedad en un momento dado, se denomina únicamente como prevalencia (p) y se expresa de la siguiente manera:

Ecuación 2:

$$P = \left( \frac{\text{Nº de casos diagnosticados por COVID - 19 en el 2021}}{\text{Total de la población en el 2021}} \right) * 100,000$$

La letalidad es una medida de la gravedad de una enfermedad considerada desdeñ el punto de vista poblacional, y se define como la proporción de casos de una enfermedad que resultan mortales respecto al total de casos en un periodo específico (Organización Mundial de la Salud, 2020).

Este indicador se hizo para los casos de defunción por COVID-19 (ecuación 3) y también, de manera específica, para los casos de defunción que presentaron alguna de las principales comorbilidades consideradas en este estudio; se ignoraron los municipios que registraron menos de 5 defunciones, para evitar los falsos positivos, debido a que al tener menos de 5 casos y menos de 5 defunciones, daba como resultado tasas de letalidad muy altas (ecuación 4).

Ecuación 3:

$$\text{Letalidad TL} = \left( \frac{\text{Nº de muertes por COVID - 19 durante el 2021}}{\text{Nº de casos diagnosticados por COVID - 19 durante el 2021}} \right) * 100$$

Ecuación 4:

$$\text{Letalidad TL} = \left( \frac{\text{Nº de muertes por COVID - 19 con una comorbilidad específica durante el 2021}}{\text{Nº de casos diagnosticados por COVID - 19 con la misma comorbilidad durante el 2021}} \right) * 100$$

Se calculó el Indicador Local de Asociación Espacial de Morán, el cual se aplica determinar el grado de asociación espacial de una variable y detectar clústeres de valores especialmente altos, bajos y atípicos en comparación con el valor medio

(Anselin, 1995). El índice de Morán se expresa en valores de -1 (dispersión) a +1 (correlación); a medida que valor se acerque a 1 será más fuerte el grado de autocorrelación espacial en la variable. El indicador se representa de la siguiente manera:

Ecuación 5:

$$I_i = z_i \sum_j w_{ij} z_j$$

Donde:  $I_i$  = es el valor de la variable “Y” en la unidad  $i$  ubicada en el punto de coordenadas  $i$ .

$\sum_j$  = es la suma de los vecinos  $j$  y  $j, i$

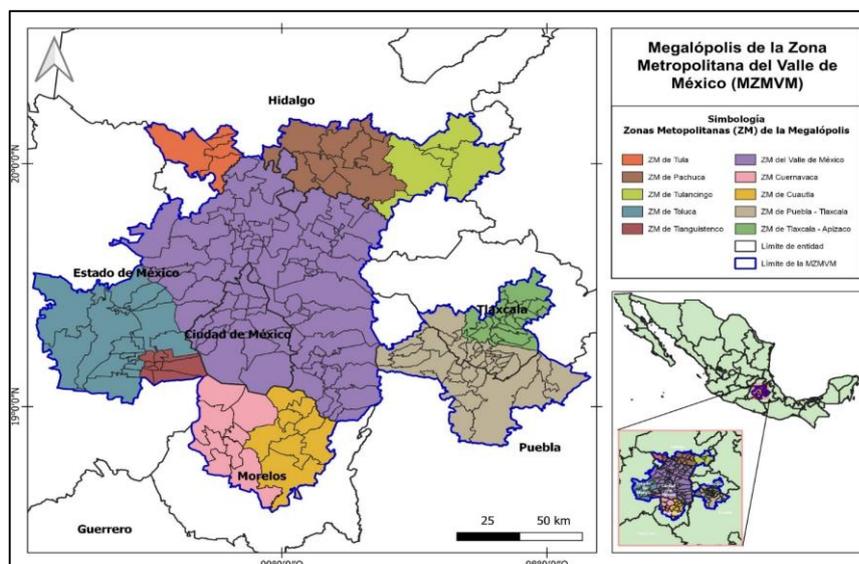
$z_j$ : el número de desviaciones estándar del valor de la variable respecto del valor medio.

$w_i$  = es el elemento de la matriz de conectividad que recoge la relación de vecindad entre las unidades  $i$  e  $i'$ .

### Resultados

De acuerdo con el Diario Oficial de la Federación (DOF, 1996), la Megalópolis de la Zona Metropolitana del Valle de México (MZMVM) se estableció legalmente por la Asamblea de Representantes del Distrito Federal y se define como un área que comprende municipios de las zonas metropolitanas de las entidades limítrofes al Valle de México.

**Fig.N° 2. Ubicación de la Megalópolis de la Zona Metropolitana del Valle de México (MZMVM).**



Fuente: elaboración propia con base en el Marco Geoestadístico Nacional, INEGI, 2020.

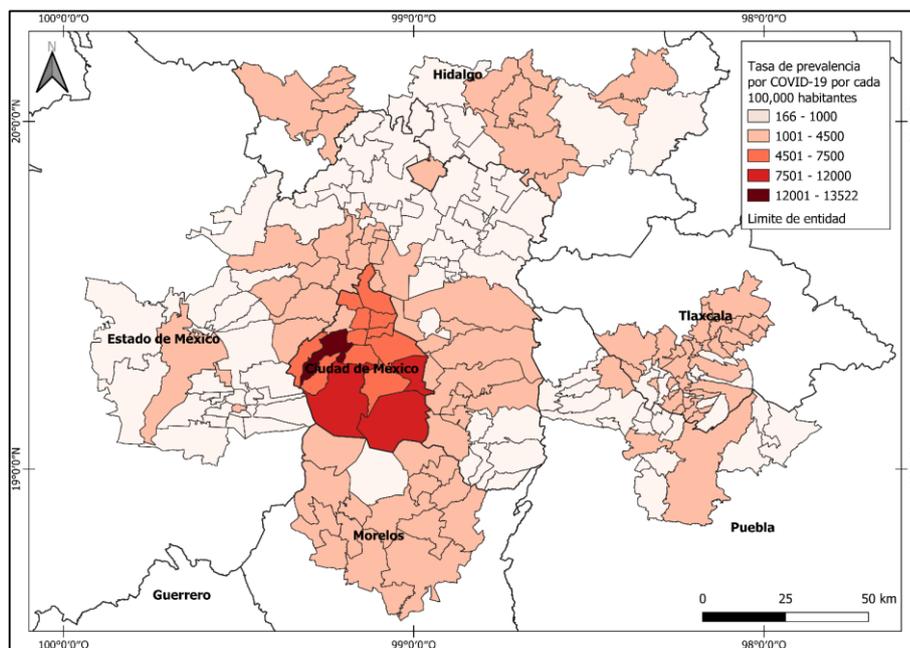
En total se incluyen 189 municipios, de los cuales 91 corresponden al Estado de México, 16 al Estado de Morelos, 29 al Estado de Puebla, 37 al Estado de Tlaxcala y 16 al Estado de Hidalgo, además de las 16 demarcaciones territoriales de la Ciudad de México (fig. N° 2).

Las zonas metropolitanas que integran a la megalópolis son las siguientes (SEDATU, CONAPO, & INEGI, 2018):

1. Zona metropolitana de Tianguistenco (Estado de México).
2. Zona metropolitana del Toluca (Estado de México).
3. Zona metropolitana del Valle de México (Ciudad de México, Estado de México e Hidalgo).
4. Zona metropolitana de Puebla-Tlaxcala (Puebla y Tlaxcala).
5. Zona metropolitana de Tlaxcala-Apizaco (Tlaxcala).
6. Zona metropolitana de Tulancingo (Hidalgo).
7. Zona metropolitana de Pachuca (Hidalgo).
8. Zona metropolitana de Tula (Hidalgo).
9. Zona metropolitana de Cuernavaca (Morelos).
10. Zona metropolitana de Cuautla (Morelos).

### Prevalencia, mortalidad por COVID-19 y por COVID-19 con presencia de comorbilidades

Fig. N° 3. Tasa de prevalencia por COVID-19 por cada 100 mil habitantes, MZMVM, 2021.



Fuente: elaboración propia con base en datos de la Secretaría de Salud, 2021.

Para el año 2021 la MZMVM contaba con una población de 31,439,990 habitantes, de los cuales 958,117 se diagnosticaron como casos positivos a COVID-19. Las tasas más altas de prevalencia (por cada 100 mil habitantes) se presentaron en cuatro demarcaciones de la Ciudad de México: Álvaro Obregón con 13,522, Tlalpan con 9,108, Milpa Alta con 8,377 y Tláhuac con 8,029 (fig. N°3).

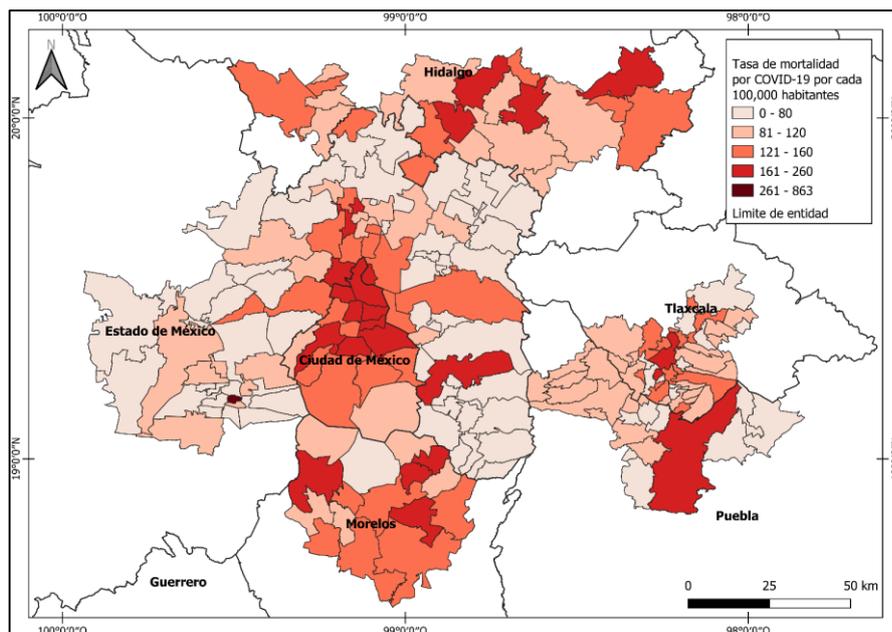
En cuanto a las defunciones por COVID-19, en el contexto nacional se registraron 135,044 durante el 2021, donde el 10.09% padecía diabetes, 11.99% hipertensión y el 5.47% obesidad y una edad promedio de 63 años. Al analizar las defunciones por COVID-19 en la MZMVM y compararlas con el total nacional, encontramos que las proporciones cambiaron de manera importante, ya que, de las 44,270 defunciones registradas en la zona, el 30% padecía diabetes, el 36.5% hipertensión y el 16.6% obesidad, y la edad promedio de los fallecidos fue de 60 años (cuadro N° 2).

**Cuadro N.º 2. Defunciones por COVID-19 y con comorbilidades 2021.**

	Defunciones por Covid-19		Defunciones por COVID-19 con diabetes		Defunciones por COVID-19 con hipertensión		Defunciones por COVID-19 con obesidad	
	Total		Total	(%)	Total	(%)	Total	(%)
Nacional	135,044		47,477	35.1	57,618	42.6	26,852	19.8
Megalópolis de la ZMVM.	44,270		13,638	30.8	16,193	36.5	7,392	16.6

Fuente: elaboración propia con base en datos de la Secretaría de Salud, 2021.

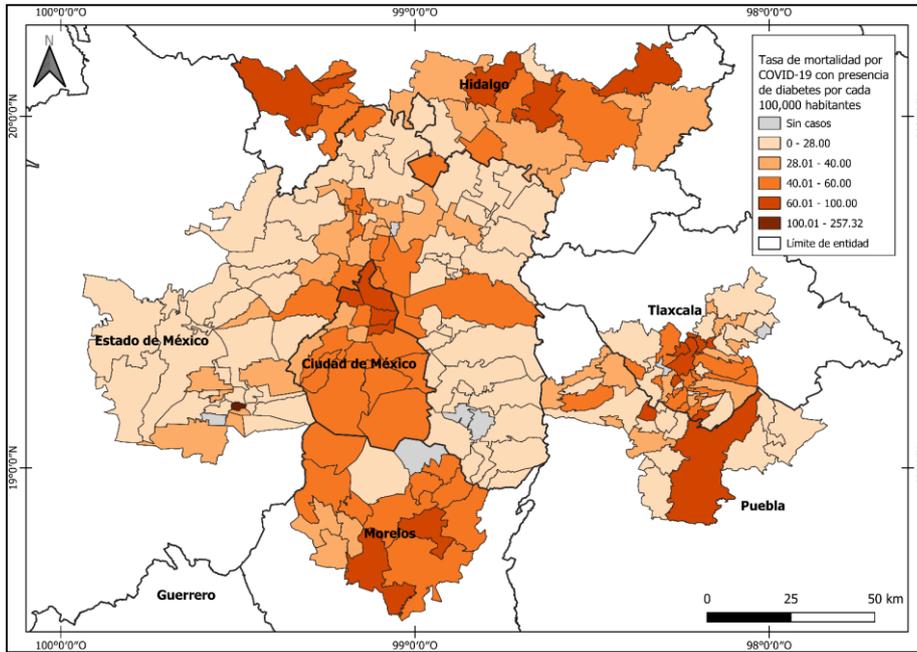
**Fig.N° 4. Tasa de mortalidad por COVID-19, en la MZMVM, 2021.**



Fuente: elaboración propia con base en datos de la Secretaría de Salud, 2021.

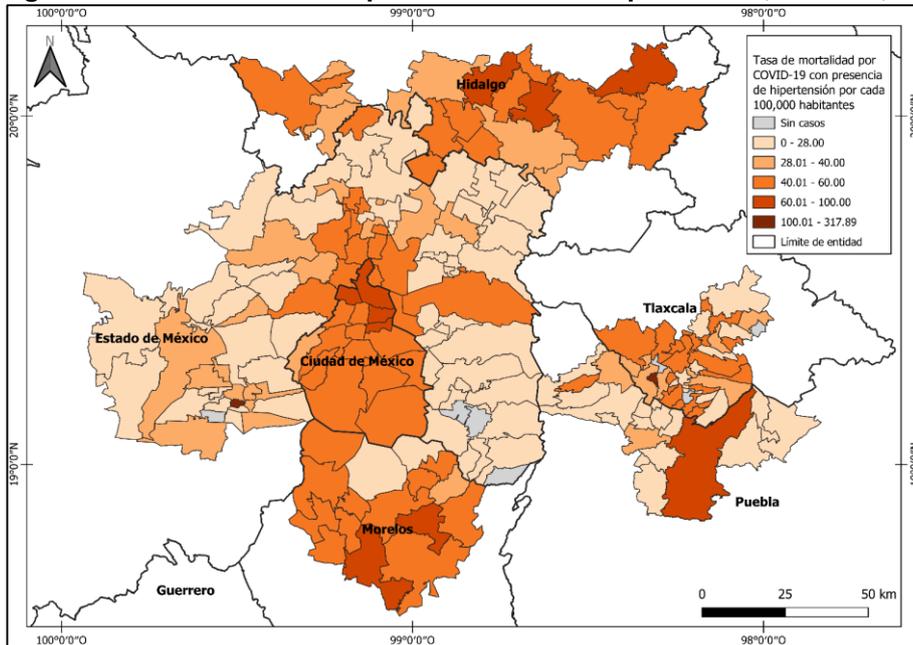
De Fermin Sosa, Yhan Andal; Santana Juárez, Marcela Virginia; Santana Castañeda, Giovanna | Distribución espacial de la COVID-19 con principales comorbilidades en la Megalópolis de la Zona Metropolitana del Valle de México

Fig.N° 5. Tasa de mortalidad por COVID-19 con diabetes, MZMVM, 2021.



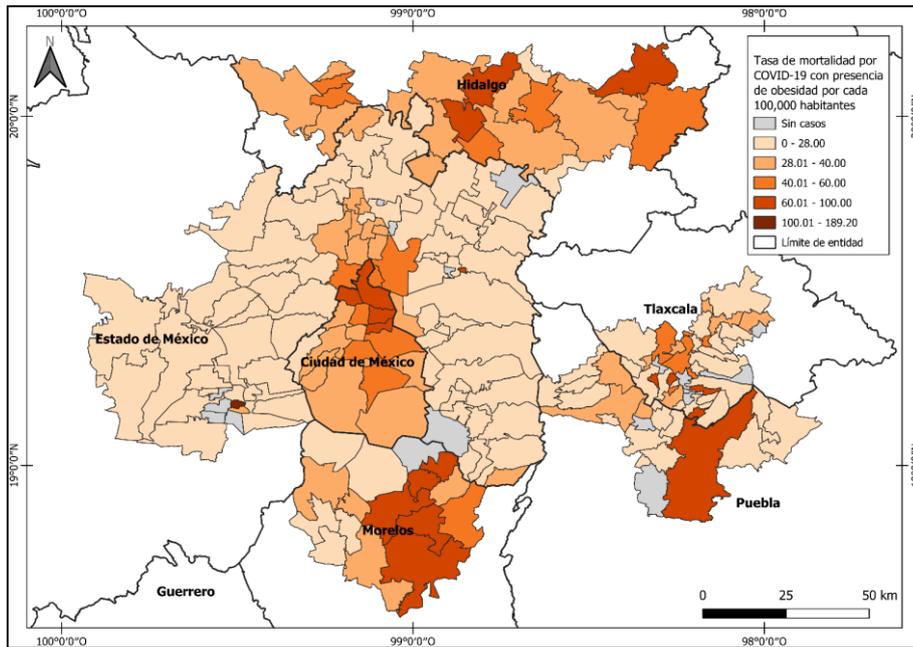
Fuente: elaboración propia con base en datos de la Secretaría de Salud, 2021.

Fig. N°6. Tasa de mortalidad por COVID-19 con hipertensión, MZMVM, 2021.



Fuente: elaboración propia con base en datos de la Secretaría de Salud, 2021.

Fig. N° 7. Tasa de mortalidad por COVID-19 con obesidad, MZMVM, 2021.



Fuente: elaboración propia con base en datos de la Secretaría de Salud, 2021.

De la misma manera, el centro de la megalópolis (zona metropolitana del Valle de México) fue donde se concentraron las tasas más altas de mortalidad por COVID-19 por cada 100 mil habitantes, principalmente en las demarcaciones de la Ciudad de México. De modo coincidente, fueron: Azcapotzalco, Iztacalco, Venustiano Carranza y Gustavo A. Madero, mismas demarcaciones que mostraron los valores más altos en las tasas de mortalidad por COVID-19 con cada una de las comorbilidades (diabetes, hipertensión y obesidad). En estas áreas el promedio de edad de los fallecidos fue de 63.7 años, valor que es mayor a la media nacional (63 años) y de la megalópolis (60 años), para las tres comorbilidades; el sexo que predominó en las defunciones fue el masculino (figura N°4; cuadro N°3).

Por otro lado, en el norte de la megalópolis, las tasas más altas de mortalidad para los tres indicadores de mortalidad específica, por cada comorbilidad (diabetes, hipertensión y obesidad), se localizaron en la zona metropolitana de Pachuca, seguida de las zonas metropolitanas de Tulancingo y Tula. La zona metropolitana de Pachuca presentó coincidencia de valores altos para los tres indicadores, en los municipios de Pachuca de Soto, Epazoyucan, Zapotlán de Juárez, donde el promedio de edad de los fallecidos fue 60 años, valor igual a la media de la megalópolis y menor a la media nacional. Por otra parte, el sexo masculino tuvo mayor dominio en las defunciones, excepto el municipio de Zapotlán de Juárez en obesidad.

Para la zona metropolitana de Tulancingo, los municipios con las tasas de mortalidad más altas fueron Tulancingo de Bravo, Cuautepec de Hinojosa, Santiago Tulantepec de Lugo de Guerrero, los cuales registraron una edad promedio de los fallecidos de 61.8 años el cual fue menor a la media nacional, pero superior a la de la megalópolis. Respecto al sexo, se registraron más defunciones en hombres, con excepción de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero para hipertensión y obesidad, así como Tlanalapa en hipertensión y Singuilucan en obesidad.

Mientras que, en la zona metropolitana de Tula, entre los municipios más afectados se encuentran Tula de Allende, Tlaxcoapan, Tlahuelilpan, Atitalaquia donde la edad media de los fallecidos fue de 60.2 años, valor que es menor a la media nacional pero superior a la de la megalópolis. Por su parte, el sexo masculino siguió destacando con mayor número de muertes; solo en Tlahuelilpan y Atitalaquia registraron mayor número de fallecimientos del sexo femenino, asociada con las comorbilidades de hipertensión y obesidad (cuadro N°3; figuras N°4, 5, 6 y 7).

En la porción este de la MZMVM se ubican las zonas metropolitanas de Puebla-Tlaxcala y de Tlaxcala Apizaco, las cuales registran un vínculo funcional muy estrecho debido a su cercanía, principalmente entre municipios capitales, donde existe un flujo constante de personas y por lo cual presentaron tasas de prevalencia entre 1000 y 4500 (figura 3). Respecto a las tasas de mortalidad por COVID-19 y con alguna comorbilidad, el municipio de Puebla, que pertenece a la zona metropolitana de Puebla-Tlaxcala, presentó los valores más altos, el cual registró una edad media de fallecidos de 61 años, siendo superior a la media de la megalópolis, pero menor a la nacional, este fue el único municipio donde dominó el sexo masculino en las defunciones para los tres indicadores.

Posterior a ello le siguieron Tlaxcala y Totolac, de la zona metropolitana Tlaxcala-Apizaco, con una edad media de los fallecidos de 60.5 años, valor que se comportó por debajo de la media nacional y superior a la de la megalópolis, por su parte, a excepción del municipio de Totolac con la comorbilidad de obesidad, el sexo que registró mayores defunciones fue el masculino (cuadro N°3; figuras N°4, 5, 6 y 7).

La COVID-19 también afectó a los municipios de las zonas metropolitanas del sur de la megalópolis, en el estado de Morelos. Fueron tres municipios de la zona metropolitana de Cuautla los que presentaron las tasas más altas de mortalidad: Cuautla, Tlayacapan y Yautepec, donde la edad media de los fallecidos fue 66.6 años, valor superior a la media nacional y de la megalópolis, además el sexo que predominó en las defunciones fue el masculino, con excepción de Tlayacapan que registró los valores más altos en mujeres, para los tres indicadores.

En la zona metropolitana de Cuernavaca, los municipios de: Cuernavaca, Tlaltizapán de Zapata y Jiutepec fueron los que coincidieron en valores altos en los cuatro indicadores de mortalidad (por COVID-19 y por COVID-19, con presencia de alguna comorbilidad: diabetes, hipertensión y obesidad); la edad media de los fallecidos fue de 64 años (superior a la media nacional y de la megalópolis). Por otra parte, el sexo que registro las mayores defunciones con diabetes e hipertensión fue el masculino, sin embargo, con obesidad fue el femenino (cuadro N°3; figuras N°4, 5, 6 y 7).

Las zonas metropolitanas de Toluca y Tianguistenco, al oeste de la megalópolis, contaron con el menor número de municipios que se vieron afectados fuertemente por los efectos de la pandemia por COVID-19. Sin embargo, Atizapán (zona metropolitana de Tianguistenco) fue el municipio que mostró los valores más altos de la megalópolis, pues la tasa de mortalidad por COVID-19 fue de 863, con presencia de diabetes la tasa de mortalidad fue de 257.32, para hipertensión fue 317.89 y para obesidad, 189.20.

En esta misma zona metropolitana, Capulhuac y Tianguistenco presentaron tasas altas en los cuatro indicadores de mortalidad, con una edad promedio de 60 años, igual a la media de la megalópolis y menor que la nacional. En el caso de muertes por sexo, Atizapán, Capulhuac y Tianguistenco registraron mayores cifras en casos con obesidad y diabetes del sexo femenino. En el caso de la zona metropolitana de Toluca, los municipios que presentaron valores altos fueron Xonacatlán y Metepec, los cuales tuvieron una edad media de los fallecidos de 58 años, valor por debajo de la media nacional y de la megalópolis, en donde el sexo masculino predominó en las defunciones con diabetes e hipertensión, mientras que el femenino tuvo las cifras más altas en casos con obesidad (cuadro 3; figuras 4, 5, 6 y 7).

**Cuadro N.º 3. Principales municipios o demarcaciones con las tasas de mortalidad más altas por COVID-19 con las principales comorbilidades, edad promedio y por sexo. (Continúa).**

Tasa de mortalidad (por cada 100 mil habitantes).						
Zona metropolitana	Municipio / Demarcación	Edad promedio	Por Covid-19	Por COVID-19 con diabetes	Hombres con COVID-19 con diabetes	Mujeres con COVID-19 con diabetes
Valle de México	Azcapotzalco	64	97.3	80.2	44.1	36.1
	Iztacalco	64	93.7	80.6	46.1	34.4
	Venustiano Carranza	63	97.9	76.6	44.7	31.8
	Gustavo a Madero	64	88.1	69.9	40.1	29.8

*De Fermin Sosa, Yhan Andal; Santana Juárez, Marcela Virginia; Santana Castañeda, Giovanna* | Distribución espacial de la COVID-19 con principales comorbilidades en la Megalópolis de la Zona Metropolitana del Valle de México

Tula	Tula de Allende	61	67.4	64.8	40.1	24.7
	Tlaxcoapan	58	58.3	65.2	34.3	30.9
	Tlahuelilpan	62	36.0	46.3	15.4	30.9
	Atitalaquia	60	34.2	52.2	28.0	24.9
Pachuca	Pachuca de Soto	61	192.2	65.0	35.6	29.3
	Epazoyucan	65	174.9	66.3	42.2	24.1
	Zapotlán de Juárez	54	174.1	36.6	22.9	13.7
Tulancingo	Tulancingo de Bravo	61	174.5	60.7	34.4	26.2
	Cuautepec de Hinojosa	59	121.9	37.4	24.0	13.0
	Santiago Tulantepec de Lugo de Guerrero	63	119.2	34.7	17.3	17.3
	Singuilucan	62	97.3	45.4	25.9	19.4
	Tlanalapa	64	97.2	35.3	26.5	8.84
	Tlaxcala- Apizaco	Tlaxcala	60	228.2	73.7	53.1
Tlaxcala- Apizaco	Totolac	61	143.9	65.4	34.8	30.5
	Puebla- Tlaxcala	Puebla	61	238.0	77.2	44.8
Cuernavaca	Cuernavaca	65	170.3	50.6	30.9	19.7
	Tlaltizapán de Zapata	64	142.5	71.2	35.6	35.6
	Jiutepec	63	137.8	48.8	26.4	22.3
Cuautla	Cuautla	66	207.9	71.9	42.0	29.9
	Tlayacapan	67	187.3	55.6	30.3	25.3
	Yautepec	67	165.3	54.8	33.4	21.3
Toluca	Xonacatlán	55	124.1	39.5	32.3	7.19
	Metepec	61	100.9	34.4	19.0	15.4
Tianguistenco	Atizapán	60	862.7	257.3	158.9	98.3
	Capulhuac	59	93.1	21.2	13.3	7.9
	Tianguistenco	61	69.9	26.8	14.0	12.83

Fuente: elaboración propia con base en datos de la Secretaría de Salud, 2021.

**Cuadro N.º 3. Principales municipios o demarcaciones con las tasas de mortalidad más altas por COVID-19 con las principales comorbilidades, edad promedio y por sexo. (Continuación).**

Tasa de mortalidad (por cada 100 mil habitantes)							
Zona metropolitana	Municipio / Demarcación	Por COVID-19 con hipertensión	Hombres con COVID-19 con hipertensión	Mujeres con COVID-19 con hipertensión	Por COVID-19 con obesidad	Hombres con COVID-19 con obesidad	Mujeres con COVID-19 con obesidad
Valle de México	Azcapotzalco	97.3	52.5	44.7	48.6	25.01	21.8
	Iztacalco	93.9	52.9	41.0	44.6	22.5	22.1
	Venustiano Carranza	91.9	53.6	38.3	43.6	22.5	21.4
	Gustavo a Madero	88.1	48.1	39.9	41.3	22.0	19.3
Tula	Tula de Allende	67.4	41.8	25.6	24.7	15.3	9.3
	Tlaxcoapan	58.3	27.4	30.9	34.3	20.6	13.7
	Tlahuelilpan	36.0	15.4	20.6	25.7	15.4	10.3
	Atitalaquia	34.2	21.8	12.4	28.0	9.3	18.7
Pachuca	Pachuca de Soto	83.1	46.5	36.5	45.0	25.9	19.0
	Epazoyucan	84.4	48.2	36.2	36.2	30.1	6.0
	Zapotlán de Juárez	73.3	41.2	32.8	59.5	18.6	41.2
Tulancingo	Tulancingo de Bravo	84.0	44.9	39.1	44.3	19.8	24.5
	Cuautepec de Hinojosa	53.6	34.1	19.5	34.1	27.6	6.5
	Santiago Tulantepec de Lugo de Guerrero	62.0	27.3	34.7	22.3	4.9	17.3
	Singuilucan	45.4	32.4	12.9	19.4	6.4	12.9
	Tlanalapa	35.3	8.8	26.5	8.8	8.8	0.0
Tlaxcala-Apizaco	Tlaxcala	65.9	46.2	19.6	37.3	19.6	17.7
	Totolac	56.7	39.2	17.4	21.8	8.7	13.9
Puebla-Tlaxcala	Puebla	89.0	49.7	39.3	40.8	23.4	17.4
Cuernavaca	Cuernavaca	70.3	43.6	26.7	21.5	10.6	10.9
	Tlaltizapán de Zapata	90.0	43.1	46.8	24.3	9.3	15.0
	Jiutepec	59.7	30.5	29.2	18.7	8.21	10.5
Cuautla	Cuautla	82.4	44.1	38.3	49.8	23.6	26.2

De Fermin Sosa, Yhan Andal; Santana Juárez, Marcela Virginia; Santana Castañeda, Giovanna | Distribución espacial de la COVID-19 con principales comorbilidades en la Megalópolis de la Zona Metropolitana del Valle de México

	Tlayacapan	60.7	20.2	40.5	65.8	35.4	30.3
	Yautepec	59.4	38.9	21.3	48.3	28.8	19.5
Toluca	Xonacatlán	34.1	23.3	10.7	12.5	3.6	8.9
	Metepec	38.1	21.4	16.6	9.3	6.0	3.2
	Atizapán	317.8	151.3	166.5	189.2	83.2	105.9
Tlanguistenco	Capulhuac	39.9	18.6	21.2	7.9	5.3	2.6
	Tlanguistenco	29.1	19.8	9.3	3.4	1.1	2.3

Fuente: elaboración propia con base en datos de la Secretaría de Salud, 2021.

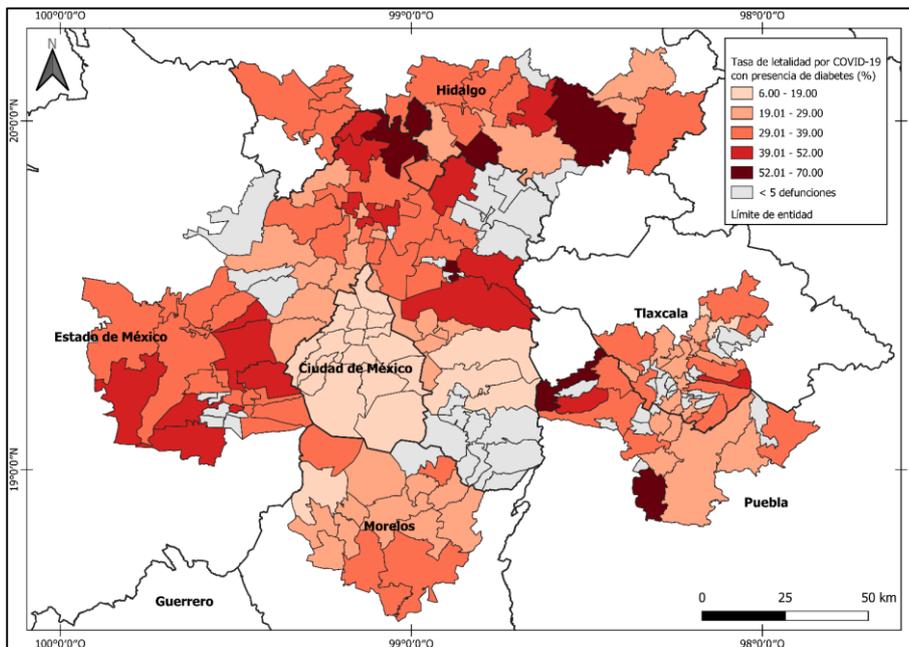
### Letalidad por COVID-19 con presencia de comorbilidades

La tasa de letalidad es un indicador que permitió hacer una aproximación sobre el impacto de la mortalidad por COVID-19 y, de manera implícita, permitió conocer la efectividad de las medidas de salud pública que se implementaron en toda la zona de estudio y para cada uno de los municipios y demarcaciones que la integran.

En México, para el año 2021, la letalidad por COVID-19 fue del 5.58% y para las zonas metropolitanas de la megalópolis fue del 3.87% en la del Valle de México, 9.22% en la de Tula, 9.52% en la de Pachuca, 9.71% en la de Tulancingo, 9.01% en la de Puebla-Tlaxcala, 7.21% en la de Tlaxcala-Apizaco, 6.26% en la de Cuernavaca, 9.30% en la de Cuautla, 10.78% en la de Toluca y 16.55% en la de Tlanguistenco.

### Letalidad por COVID-19 con diabetes

Fig. N° 8. Tasa de letalidad por COVID-19 con diabetes, MZMVM, 2021.



Fuente: elaboración propia con base en datos de la Secretaría de Salud, 2021.

Las tasas más altas de letalidad por COVID-19 con presencia de diabetes por cada 100,000 personas, en la zona metropolitana del Valle de México, se localizaron en los municipios de Chiautla con 70, la más alta de la megalópolis, Hueypoxtla con 57.89, Apaxco con 51.63, Nextlalpan con 50, Texcoco con 49.65, Temascalapa 47.82, Teoloyucan 46.66, Tepetlaoxtoc 46.66 y Tequixquiac con 45.83 (fig. N°8).

En el norte de la megalópolis, la zona metropolitana de Pachuca contó con los valores más altos de letalidad por COVID-19 con presencia de diabetes en el municipio de Villa de Tezontepec con una tasa de letalidad de 53.84, seguido de Epazoyucan con 37.14 y San Agustín Tlaxiaca con 37.14. La zona metropolitana de Tula concentró los valores más altos en los municipios de Tlahuelilpan (33.33), Atitalaquia (32.07), Tula de Allende (31.93) y Atotonilco de Tula (29.88). Por su parte, en la zona metropolitana de Tulancingo, los municipios más afectados fueron Singuilucan (63.63), Cuauhtepic de Hinojosa (31.50), Tulancingo de Bravo (28.49) y Santiago de Tulantepec (25) (fig. N° 8).

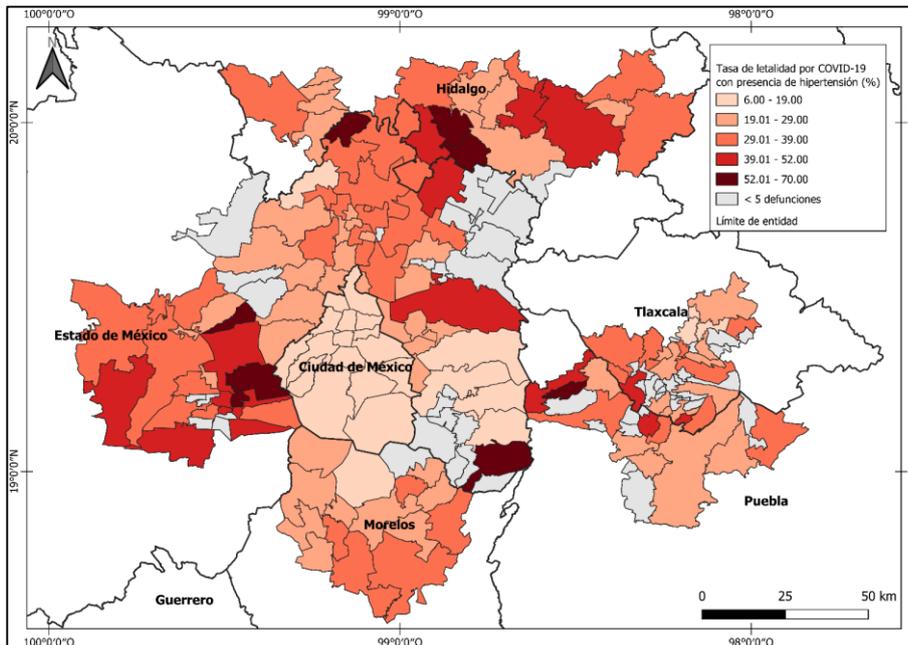
Por otro lado, en los estados de Puebla y Tlaxcala, la zona metropolitana de Puebla-Tlaxcala presentó un mayor impacto por la letalidad con presencia de diabetes, los municipios de San Salvador el Verde y Ocoyucan con una tasa letalidad de 66.66, seguido de Chiautzingo y Tenancingo que presentaron tasas de letalidad de 50.0 y 36.36, respectivamente. En este orden, la zona metropolitana de Tlaxcala – Apizaco mostró los valores más altos en San Francisco Tetlanohcan con una tasa de letalidad de 42.85, en Xaloztoc con 35.0 y Chiautempan con 32.96 (fig. N°8).

Las zonas metropolitanas de Cuernavaca y Cuautla fueron las que recibieron un menor impacto por la letalidad de COVID-19 con presencia de diabetes, pues las tasas de letalidad se ubicaron entre 6.8 y 29.1 (32.35), siendo Huitzilac, Tlaltizapán de Zapata y Emiliano Zapata, los municipios con las tasas de letalidad más altas de la zona metropolitana de Cuernavaca, con 32.35, 31.40 y 27.81 respectivamente, Para la zona metropolitana de Cuautla, las tasas de letalidad más altas se registraron en Ayala con 30.38, seguido de Totolapan con 29.16, Tlayacapan con 27.50 y Yecapixtla con 27.05 (Fig.N°8).

La zona metropolitana de Toluca, en relación con la comorbilidad de diabetes, fue una de las zonas con impacto importante por letalidad, donde las tasas de letalidad más altas se registraron, en primer lugar, en Ocoyoacac con 52.0, seguido de Tenango del Valle con 50.82, Xonacatlán con 46.80 y Lerma con 46.73. En el caso de la zona metropolitana de Tianguistenco, el municipio de Atizapán presentó la tasa de letalidad más alta con 43.59, le siguieron Capulhuac con 38.09 y Tianguistenco con 37.09 (Fig. N°8).

## Letalidad por COVID-19 con hipertensión

Fig. N° 9. Tasa de letalidad por COVID-19 con hipertensión, MZMVM, 2021.



Fuente: elaboración propia con base en datos de la Secretaría de Salud, 2021.

En la zona metropolitana del Valle de México, la letalidad por COVID-19 con presencia de hipertensión por cada 100,000 personas, tuvo los valores más altos en Atlautla con 54.54, Apaxco con 47.5, Texcoco con 45.68, Chiconcuac con 42.85 y Temascalapa 71.37, mientras que en los demás municipios las tasas de letalidad fueron menores a 38 (fig. N°9).

De las tres zonas metropolitanas del estado de Hidalgo, la zona metropolitana de Pachuca fue la que presentó un mayor impacto por la letalidad por COVID-19 con presencia de hipertensión, donde Villa de Tezontepec registró la tasa de letalidad más alta con 58.33, seguido de Zapotlán de Juárez con 53.33 y Tolcayuca con 41.37. En la zona metropolitana de Tulancingo el valor más alto se presentó en Singuilucan con 41.17, le siguió Cuautepec de Hinojosa con 34.37, Tulancingo de Bravo presentó una tasa de letalidad de 28.23 y en Santiago de Tulantepec de Lugo Guerrero fue de 25.25. Para la zona metropolitana de Tula, la tasa de letalidad más alta fue en Tula de Allende con 29.36, le siguieron Tlahuelilpan con 25.92, Tlaxcoapan con 24.28, Atitalaquia con 22.91 y Atotonilco de Tula con 22.82 (fig. N°9).

Al este de la megalópolis, los municipios con la tasa de letalidad por COVID-19 con presencia de hipertensión más alta se ubicaron en la zona metropolitana de Puebla-Tlaxcala, estos fueron: San Felipe Teotlalcingo (50), San Salvador Verde (45),

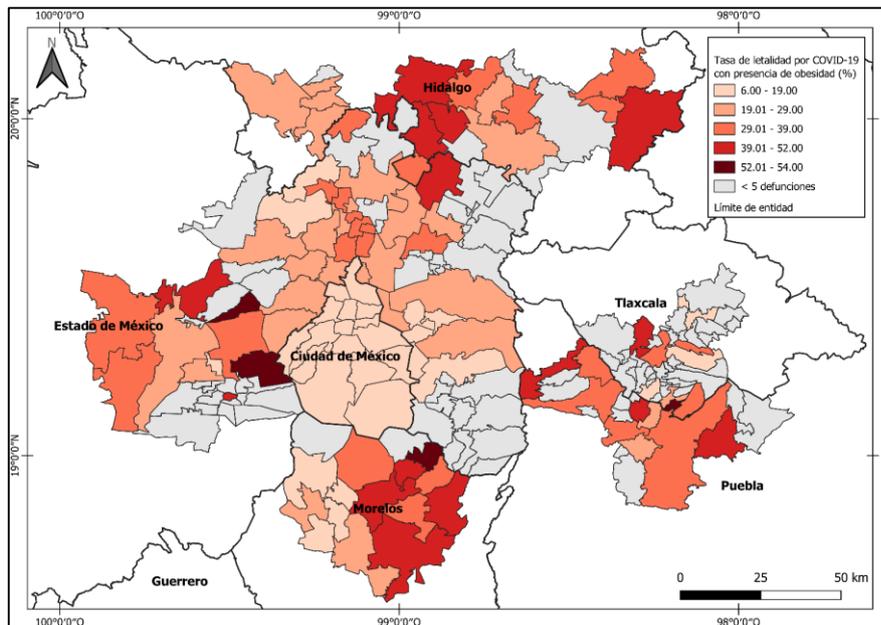
Tenancingo (42.10), Coronango (41.66) y Nativitas (38.46). Por otro lado, en la zona metropolitana de Tlaxcala-Apizaco, Xaloztoc mostró el valor más alto con una tasa de letalidad de 34.78, seguido de Panotla con 30.18, Apetatitlán de Antonio Carbajal con 30, Chiautempan con 29.90 y Tetla de Solidaridad con 27.77 (fig. N°9).

En cuanto a la zona sur de la megalópolis, el mayor número de municipios con las tasas más altas de letalidad por COVID-19 con presencia de hipertensión, se registraron en la zona metropolitana de Cuautla, teniendo a Yecapixtla, Tlayacapan, Ayala y Cuautla con 34.09, 33.33, 28.87 y 24.26, respectivamente; mientras que para la zona metropolitana de Cuernavaca los municipios con los valores más altos fueron Tlaltizapán de Zapata con 34.28, Emiliano Zapata con 29.84 y Temixco con 22.88 (fig. N°9).

Por último, las zonas metropolitanas de Toluca y Tianguistenco presentaron gran afectación para la letalidad por COVID-19 relacionada con hipertensión, siendo Ocoyoacac el municipio con la tasa de letalidad más alta para el caso de la zona metropolitana de Toluca, le siguieron Xonacatlán, Lerma y Zinacantepec con 46.80, 43.33 y 42.16, respectivamente. La zona metropolitana de Tianguistenco registró las tasas de letalidad más altas en Capulhuac con 51.72, Atizapán con 45.65 y Tianguistenco con 41.66 (fig. N°9).

### Letalidad por COVID-19 con obesidad.

Fig. N° 10. Tasa de letalidad por COVID-19 con obesidad, MZMVM, 2021



Fuente: elaboración propia con base en datos de la Secretaría de Salud, 2021.

Respecto a la tasa de letalidad por COVID-19 con presencia de obesidad por cada 100,000 personas, en la zona metropolitana del Valle de México, los valores más altos se concentraron principalmente en los municipios de Temascalapa con 25, Apaxco con 18.18, Tizayuca con 17.1 y Tultepec con 16 (fig. N°10).

Al norte, en el Estado de Hidalgo, los valores críticos se localizaron en la zona metropolitana de Pachuca, principalmente en los municipios de Zapotlán de Juárez con 33.33, Tolcayuca con 31.57 y San Agustín Tlaxiaca con 26.62. En segundo lugar, en la zona metropolitana de Tulancingo las tasas de letalidad más altas se distribuyeron en Cuautepec de Hinojosa, Tulancingo y Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, con 25.61, 17.55 y 15.78 respectivamente. Por último, en la zona metropolitana de Tula, las tasas de letalidad más altas se distribuyeron en Tula de Allende con 13.61, así como en Atotonilco de Tula, Atitalaquia y Tlaxcoapan con valores de 13.33, 12.16 y 11.90 (fig. N°10).

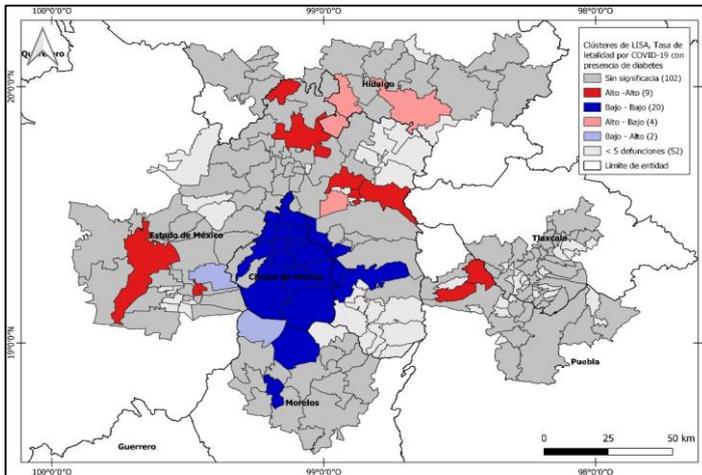
Para el caso de la zona metropolitana de Puebla-Tlaxcala, las tasas de letalidad más altas se localizaron en los municipios de Tenancingo con 46.15, seguido de Amozoc con 29.26 y San Salvador el Verde con 27.27. Mientras que en la zona metropolitana de Tlaxcala-Apizaco, las tasas de letalidad más altas se presentaron en Panotla con 31.03, Contla de Juan Cuamatzi con 21.42 y Tlaxcala con 21.22 (fig. N°10).

En el sur de la megalópolis, las tasas más altas de letalidad con presencia de obesidad se localizaron en municipios de la zona metropolitana de Cuautla, Totolapan registró el valor más alto con 50, le siguieron Tlayacapan (34.21), Ayala (25.12), Yautepec (25.12) y Yecapixtla (25). La zona metropolitana de Cuernavaca también presentó valores altos en los municipios de Tepoztlán y Tlaltizapán con valores de 17.39 y 12.62, el resto de los municipios de esta zona registraron valores menores a 10 (fig. N°10).

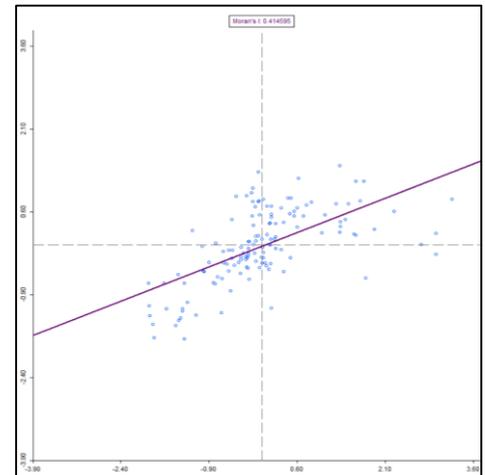
Por otro lado, las zonas metropolitanas de Toluca y Tianguistenco se vieron fuertemente afectadas por la letalidad mortalidad relacionada al COVID-19 con obesidad. El grupo de municipios con las tasas de letalidad más altas de la zona metropolitana de Toluca fueron, en primer lugar, Ocoyoacac 44.44 y Xonacatlán con 41.17, le siguieron Temoaya, Lerma y Zinacantepec con 26.08, 23.52 y 20.33, respectivamente; Atizapán fue el municipio de la zona metropolitana de Tianguistenco, en presentar la tasa de letalidad más alta con 33.78 (fig. N°10).

**Clústeres de LISA de letalidad por COVID-19 con presencia de comorbilidades.**

**Fig. N° 11. Clústeres de LISA, tasa de letalidad por COVID-19 con presencia de diabetes, MZMVM, 2021.**

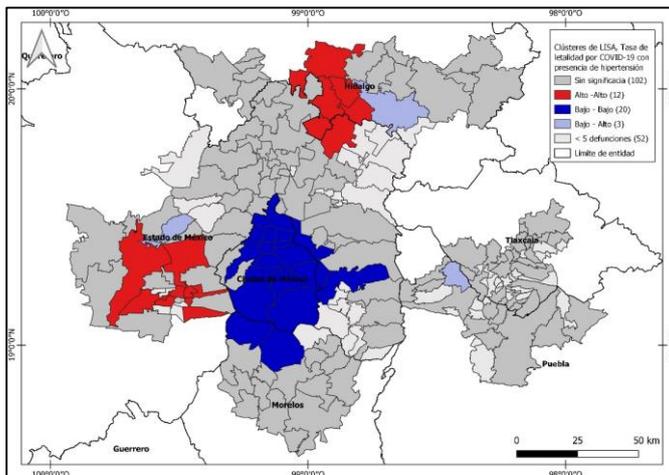


**Fig. N° 12. Diagrama de dispersión I de Moran, de la tasa de letalidad por COVID-19 con presencia de diabetes 2021.**

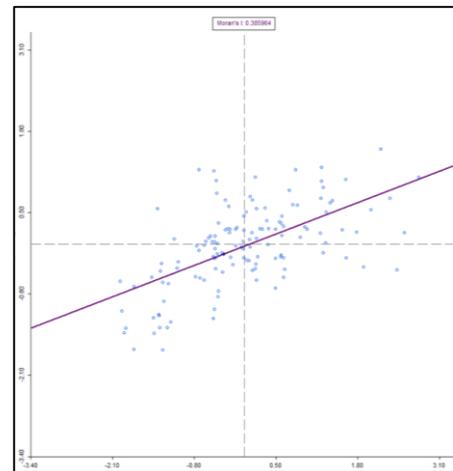


Fuente: elaboración propia con base en datos de la Secretaría de Salud, 2021.

**Fig. N° 13. Clústeres de LISA, tasa de letalidad por COVID-19 con presencia de hipertensión, MZMVM, 2021.**



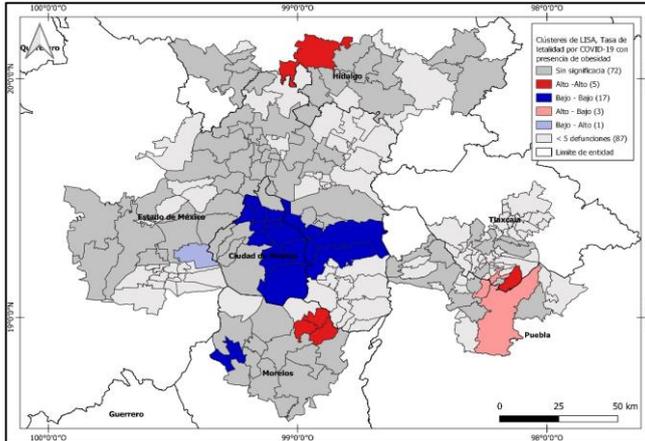
**Fig. N° 14. Diagrama de dispersión de Moran de la tasa de letalidad por COVID-19 con presencia de hipertensión, 2021.**



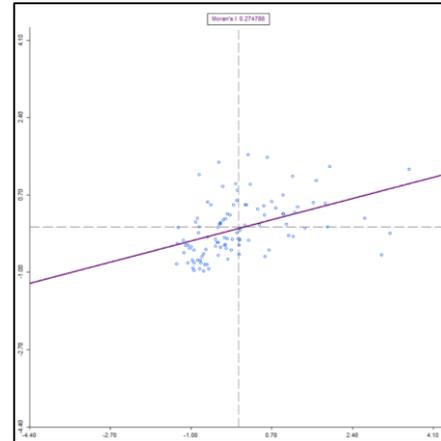
Fuente: elaboración propia con base en datos de la Secretaría de Salud, 2021.

El resultado de los gráficos de dispersión de la tasa de letalidad por COVID-19 para las tres comorbilidades (figuras 12, 14 y 16) fue positivo y significativo con un valor del Índice de Morán de 0.414595 para la tasa de letalidad con diabetes, 0.385964 para hipertensión y 0.275802 para obesidad, lo que significa que el 41%, 38% y 27% de los municipios registraron algún tipo de autocorrelación espacial en los valores de la variable, lo cual se traduce a clústeres espaciales.

**Fig. N° 15. clústeres de LISA, tasa de letalidad por COVID-19 con presencia de obesidad, MZMVM, 2021.**



**Fig. N° 16. Diagrama de dispersión I de Moran de la tasa de letalidad por COVID-19 con presencia de obesidad, 2021.**



Fuente: elaboración propia con base en datos de la Secretaría de Salud, 2021.

Los tipos de autocorrelación espacial (clústeres) que se identificaron fueron: “alto-alto” (valores altos rodeados de valores altos), “bajo-bajo” (valores bajos rodeados de valores bajos), “alto-bajo” (valores altos rodeados de valores bajos) y “bajo-alto” (valores bajos rodeados de valores bajos), y se localizaron como se explica a continuación.

Los municipios, con valores altos rodeados de valores altos son los que se denominan puntos calientes y son de gran interés por el grado de afectación, y por el peligro que representan para municipios vecinos, en el caso de la tasa de letalidad con diabetes se fueron 9 municipios que registraron este tipo de agrupación: hacia el oeste de la megalópolis, Toluca (ZM de Toluca) y Capulhuac (ZM de Tianguistenco) con valores de 32.3 y 38; San Martín Texmelucan y Chiautzingo (ZM Puebla-Tlaxcala) al este con 30.7 y 50; al norte y noreste fueron Chiautla con 70, Apaxco con 51.6, Tepetlaoxtoc con 46.6, Acolman con 26.4 y Zumpango con 34.4 (ZM del Valle de México), (fig. N°11).

En cuanto a la letalidad con hipertensión se registraron dos grupos de tipo “alto-alto”, uno hacia el oeste de la megalópolis conformado por dos municipios de la ZM de Tianguistenco; Capulhuac con una tasa de letalidad de 51.7 y Tianguistenco con 41.6 y cuatro municipios de la ZM de Toluca; Lerma con 43.3, San Antonio la Isla con 36.8, Calimaya con 35.7 y Toluca con 30.0, el segundo grupo se registró hacia el norte, en cuatro municipios de la ZM de Pachuca; Villa de Tezontepec con 58.3, Zapotlán de Juárez con 53.3, Tolcayuca con 41.3, San Agustín Tlaxiaca con 28.9 y dos municipios de la ZM del valle de México; Tizayuca con 29.7 y Temascalapa con 41.3 (fig. N° 13).

Para el caso de la letalidad con obesidad, se registraron tres agrupaciones con valores altos rodeados de valores altos, el primero hacia el sur conformado por Totolapan, Tlayacapan y Atlatlahucan (ZM de Cuautla) con tasas de letalidad de 50, 34.2 y 21.8, respectivamente; el segundo hacia el norte, en torno a San Agustín Tlaxiaca (ZM de

Pachuca) con 26.8 y hacia el este en San Pablo del Monte (ZM de Puebla-Tlaxcala) con 18.0 (fig. N°15).

Los valores bajos, rodeados de valores bajos, para diabetes e hipertensión, corresponden a un grupo de municipios y demarcaciones que se expanden sobre la Ciudad de México, en la porción este del estado de México y hacia algunos municipios de las zonas metropolitanas del estado de Morelos. En el caso de la letalidad con diabetes fueron 20 municipios o demarcaciones con este tipo autocorrelación (bajo-bajo) con tasas de letalidad desde 6.8 hasta 23.8, mientras que, para la letalidad con hipertensión, la distribución fue similar con 20 municipios que presentaron tasas de letalidad entre 6.2 y 23.3 (figuras N° 11 y 13). Respecto a la letalidad con obesidad, el grupo de valores bajos se distribuyeron en 17 municipios localizados en el centro de la Ciudad de México, el este del Estado de México y en menor proporción los municipios de Morelos con tasas de letalidad de 3.90 hasta 14.0 (fig. N°15).

En las figuras N° 11, 13 y 15 se observan municipios con valores altos rodeados de valores bajos, estos se les consideran como municipios atípicos y ocupan un lugar importante en el análisis geográfico debido a que son municipios que podrían expandir el contagio a sus vecindades que mantienen menor riesgo.

En lo que respecta a la letalidad con diabetes fueron 4 municipios de tipo “alto-bajo”, dos de estos se localizaron en la ZM del Valle de México (Tizayuca y Atenco con tasas de letalidad de 29.8 y 29.7); y de igual manera, dos municipios en la ZM de Pachuca (Tolcayuca y Zempoala con tasas de letalidad de 28.5 y 27.2).

Por otro lado, para hipertensión no se registró ningún municipio de tipo “alto-bajo”. Sin embargo, en relación con obesidad, se identificaron tres municipios en la zona metropolitana de Puebla-Tlaxcala, estos fueron Puebla, Cuautlancingo y Papalotla con tasas de letalidad de 15.9, 12.9 y 12.2 respectivamente.

Por último, también se registraron valores atípicos bajos rodeados de valores altos, los cuales son tomados como municipios en riesgo por la cercanía con municipios que representan mayor peligro por tener valores altos. En este sentido, en la letalidad con diabetes, los municipios en riesgo fueron Ocoyoacac (ZM de Toluca) y Huitzilac (ZM de Cuernavaca). En relación con hipertensión fueron Oztolotepec (ZM Toluca), Zempoala (ZM de Pachuca) y San Martín Texmelucan (ZM de Puebla-Tlaxcala). En cuanto a la letalidad con obesidad, el único municipio en riesgo fue Ocoyoacac (ZM de Toluca).

## Conclusiones

El objetivo principal de este trabajo fue identificar, en el contexto de la Megalópolis de la Zona Metropolitana del Valle de México, el patrón de distribución de los indicadores de mortalidad y letalidad relacionadas con las tres principales comorbilidades (diabetes, hipertensión y obesidad) con mayor prevalencia entre los casos diagnosticados con COVID-19. A partir de la identificación de los patrones de distribución se buscó registrar aquellos municipios que presentaron las mayores afectaciones y de manera particular determinar el impacto de cada una de las comorbilidades en la letalidad de la enfermedad de COVID-19.

En este sentido, el primer hallazgo fue que el patrón de distribución de la tasa prevalencia por COVID-19 fue agrupado, principalmente en la porción sur de la Ciudad de México, en un rango de 7,501 a 13,522 casos por cada 100 mil habitantes, disminuyendo hacia el norte en un rango de 4,500 a 7,500 y en menor medida hacia las zonas conurbadas de la Ciudad de México y demás zonas metropolitanas de la megalópolis.

En cuanto a la mortalidad por COVID-19 y los tres indicadores de mortalidad específica por COVID-19 asociada con las principales comorbilidades (diabetes, hipertensión y obesidad), se observa que la distribución fue similar, concentrando los valores más altos en las demarcaciones de la ciudad de México, siguiendo hacia el norte, en las zonas metropolitanas de Hidalgo, al sur, en zonas metropolitanas de Morelos, y al este de la megalópolis, en zonas de Puebla y Tlaxcala; en menor medida las zonas metropolitanas de Toluca y Tianguistenco, sin embargo, se presentó un municipio de la ZM de Tianguistenco (Atizapán) con los valores atípicos más altos de la megalópolis.

Considerando que la edad se aborda como un factor de riesgo que se asocia con el número de defunciones, en la megalópolis se identificó que la ZM de Cuautla fue donde se registró la edad media más alta, incluso por arriba de la media nacional con 66.6 años, en cambio, la ZM de Toluca registró una media de 58 años, la cual se ubica por debajo de la media nacional y de la megalópolis, así como de las demás ZM.

Por otra parte, el sexo que destacó los valores más altos de mortalidad en los tres indicadores fue el masculino. En los estudios realizados por la Organización Panamericana de la Salud, (2021a) colocaban a México dentro de los países donde el sexo femenino tuvo mayor dominio en las defunciones, en cambio, al análisis que se generó dentro de los municipios de la Megalópolis que presentaron mayor afectación de manera coincidente en los cuatro indicadores de mortalidad, el sexo que predominó en los valores más altos fue el masculino.

En síntesis, las tasas de prevalencia, mortalidad y mortalidad específica se distribuyeron, de forma lógica, en las áreas más densamente pobladas de la megalópolis (Ciudad de México y área Metropolitana). Al contar con mayor población en estas zonas existe mayor flujo de personas y de esta manera una trasmisión del virus más rápida.

Por otro lado, las tasas de letalidad mostraron un patrón de distribución diferente en comparación con las tasas de mortalidad, mientras que estas últimas se localizaron en los núcleos de población más importantes, principalmente localizados en el centro de la megalópolis, la letalidad mostró mayor afectación en las zonas periféricas.

Las enfermedades de diabetes, hipertensión y obesidad son enfermedades que tienen sus causas por diferentes factores, entre los cuales se encuentran la genética, factores ambientales, los hábitos alimenticios, la falta de actividad física, entre otros. Cabe destacar que, por ejemplo, la obesidad se encuentra asociada con la diabetes e hipertensión, es por eso por lo que es importante que las personas adquieran mejores estilos de vida que ayuden a prevenir estas enfermedades.

Derivado de los resultados de la distribución espacial de la COVID-19 con principales comorbilidades en la Megalópolis de la Zona Metropolitana del Valle de México, se pueden hacer propuestas en materia de salud pública, ordenación territorial y planeación integral, para que los tomadores de decisiones provean de servicios públicos de salud más accesibles a toda la población ante eventos de esta naturaleza como la pandemia de Covid-19; que las políticas públicas en materia de salud sean intersectoriales para enfrentar los estilos de vida no saludables y que están incidiendo en el aumento de las comorbilidades que hace a la población vulnerable ante eventos de esta naturaleza.

Por lo anterior, se recomienda a los gobiernos, en todos sus niveles, implementar estrategias que promuevan en la población la adopción de estilos de vida más saludables para reducir las tasas de prevalencia de estas enfermedades, ya que, como se ha expuesto en este trabajo, la presencia de diabetes, hipertensión u obesidad en los casos diagnosticados por COVID-19 está fuertemente relacionada con la letalidad de esta enfermedad.

Por otro lado, también se recomienda que se mejoren las condiciones de infraestructura de salud y de disponibilidad de personal médico en todos los municipios y demarcaciones de la megalópolis, especialmente en aquellos lugares donde se presentaron los valores más altos, y de esta manera reducir la vulnerabilidad de la población ante un evento de gran magnitud como lo es la pandemia de COVID-19.

## Referencias bibliográficas

ÁNGELES CORREA, M. G., VILLARREAL RÍOS, E., GALICIA RODRÍGUEZ, L., VARGAS DAZA, E. R., FRONTANA VÁZQUEZ, G., MONRROY AMARO, S. J., ... BELTRÁN, S. S. (2022). Enfermedades crónicas degenerativas como factor de riesgo de letalidad por COVID-19 en México. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 46, 1. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2022.40>

ANSELIN, L. (1995). Local Indicators of Spatial Association-LISA. *Geographical Analysis*, 27(2), 93–115. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>

BAJGAIN, K. T., BADAL, S., BAJGAIN, B. B., & SANTANA, M. J. (2021). Prevalence of comorbidities among individuals with COVID-19: A rapid review of current literature. *American Journal of Infection Control*, 49(2), 238–246. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2020.06.213>

BANCO MUNDIAL. (2022). Banco de Datos. Indicadores de Desarrollo Mundial. *Grupo Banco Mundial*. Recuperado de <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.URB.TOTL.IN.ZS?end=2020&start=2020&view=bar>

BARRIO-CORTES, J., DEL CURA-GONZÁLEZ, I., MARTÍNEZ-MARTÍN, M., LÓPEZ-RODRÍGUEZ, C., JAIME-SISÓ, M. Á., & SUÁREZ-FERNÁNDEZ, C. (2020). Grupos de morbilidad ajustados: características y comorbilidades de los pacientes crónicos según nivel de riesgo en Atención Primaria. *Atención Primaria*, 52(2), 86–95. <https://doi.org/10.1016/j.aprim.2018.12.007>

BRUGUÉS RODRÍGUEZ, A., FUENTES FLORES, N. A., & RAMÍREZ CERVANTES, A. (2021). Análisis del patrón espacio-temporal de transmisión del COVID-19 por municipios de Baja California. *Estudios Fronterizos*, 22. <https://doi.org/10.21670/ref.2108071>

DOF. Programa General de Desarrollo Urbano del Distrito Federal. , Pub. L. No. 11, Asamblea de Representantes del Distrito Federal 17 (1996). México.

HIDALGO MARTÍNEZ, P., VILLAQUIRÁN, C., CELIS PRECIADO, C., GARCÍA, O. M., & BERMÚDEZ GÓMEZ, M. (2020). Informe - COVID-19. *Universitas Médica*, 61(3). <https://doi.org/10.11144/Javeriana.umed61-3.cvid>

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA. (2020). Censo de Poblacion y Vivienda 2020. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>

LARA RIVERA, A. L., PARRA BRACAMONTE, G. M., & LOPEZ VILLALOBOS, N. (2021). Tasas de letalidad y factores de riesgo por COVID-19 en México. *Revista Cubana de Salud Pública*, 47(4), 1–17. Recuperado de <http://www.revsaludpublica.sld.cu/index.php/spu/article/view/2872>

LEVEAU, C. M. (2021). Difusión espacio-temporal de muertes por COVID-19 en Argentina. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 45, 1. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2021.3>

LOZANO-KEYMOLEN, D., GAXIOLA ROBLES-LINARES, S. C., & MONTOYA-ARCE, B. J. (2021). Análisis comparativo de los casos confirmados y defunciones por Covid-19 en la población de tres zonas metropolitanas de México. *Papeles de Población*, 27(107), 167–196. <https://doi.org/10.22185/24487147.2021.107.07>

MORENO, A., LÓPEZ, S., CORCHO, A., ALEJANDRA MORENO ALTAMIRANO SERGIO LÓPEZ MORENO, A. C. B., MORENO, A., LÓPEZ, S., & CORCHO, A. (2007). Principales medidas en epidemiología. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 45(1), 337–348. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223219928011>

NUÑEZ MEDIA, G. (2021). Análisis espacio-temporal de la tasa de letalidad por coronavirus dada la preexistencia de diabetes en municipios del noreste de México. *Espacio Abierto*, 30(2), 87–99. Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/122/12267447014/html/>

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. (2020). Estimación de la mortalidad de la COVID-19: nota científica. *Organización Mundial de la Salud*, Vol. 1, pp. 1–4. Ginebra. Recuperado de <https://apps.who.int/iris/handle/10665/333857>

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. (2021a). *Análisis de género y salud Covid-19 en las Américas*. Washington.

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. (2021b). *COVID-19 y comorbilidades en las Américas. Herramienta práctica para estimar la población con mayor riesgo y riesgo alto de COVID-19 grave debido a afecciones de salud subyacentes en las Américas*. United States.

ROBERTS, D. L., ROSSMAN, J. S., & JARIĆ, I. (2021). Dating first cases of COVID-19. *PLOS Pathogens*, 17(6), e1009620. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1009620>

ROSER, M. (2022). *Our World in Data. COVID-19 Data Explorer*. Recuperado de <https://ourworldindata.org/explorers/coronavirus-data-explorer>

RUIZ-BRAVO, A., & JIMÉNEZ-VALERA, M. (2020). SARS-CoV-2 y pandemia de síndrome respiratorio agudo (COVID-19). *Ars Pharm*, 61(2), 63–79. Recuperado de <https://scielo.isciii.es/pdf/ars/v61n2/2340-9894-ars-61-02-63.pdf>

SALINAS-AGUIRRE, J. E., SÁNCHEZ-GARCÍA, C., RODRÍGUEZ-SANCHEZ, R., RODRÍGUEZ-MUÑOZ, L., DÍAZ-CASTAÑO, A., & BERNAL-GÓMEZ, R. (2022). Características clínicas y comorbilidades asociadas a mortalidad en pacientes con COVID-19 en Coahuila (México). *Revista Clínica Española*, 222(5), 288–292. <https://doi.org/10.1016/j.rce.2020.12.006>

SÁNCHEZ-TALANQUER, M., GONZÁLEZ-PIER, E., SEPULVEDA, J., ABASCAL-MIGUEL, L., FIELDHOUSE, J., DEL RÍO, C., & GALLALEE, S. (2020). *La respuesta de México al Covid-19: Estudio de caso* (1a ed., Vol. 1; Institute for Global Health Sciences, Ed.). San Francisco, Cal.: University of California. Recuperado de [https://globalhealthsciences.ucsf.edu/sites/globalhealthsciences.ucsf.edu/files/la\\_respuesta\\_de\\_mexico\\_al\\_covid\\_esp.pdf](https://globalhealthsciences.ucsf.edu/sites/globalhealthsciences.ucsf.edu/files/la_respuesta_de_mexico_al_covid_esp.pdf)

SECRETARÍA DE SALUD. (2022). *Informe Técnico Semanal COVID-19 MÉXICO*. 17–22. Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/729361/Informe\\_Tecnico\\_Semanal\\_21\\_COVID-19\\_2022.05.30.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/729361/Informe_Tecnico_Semanal_21_COVID-19_2022.05.30.pdf)

SEDATU, CONAPO, & INEGI. (2018). *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2015* (1a ed.; SEDATU, CONAPO, & INEGI, Eds.). México.

SINGAL, A., BANSAL, A., & CHAUDHARY, P. (2020). Cadaverless anatomy: Darkness in the times of pandemic Covid-19. *Morphologie*, 104(346), 147–150. <https://doi.org/10.1016/j.morpho.2020.05.003>

SUÁREZ LASTRA, M., GALINDO PÉREZ, M. C., ROSALES TAPIA, A. R., & SLAVADOR GUZMÁN, L. E. (2020). *Atlas de vulnerabilidad urbana ante COVID-19 en las Zonas Metropolitanas de México* (1a ed., Vol. 1; Universidad Nacional Autónoma de México, Ed.). Ciudad de México: Instituto de Geografía. Recuperado de

<http://www.igg.unam.mx/covid-19/?pag=atlas>

UNITED NATIONS. (2018). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*. New York. Recuperado de <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf>

UNITED NATIONS. (2020). Policy Brief: COVID-19 in an Urban World. *United Nations*, (July), 1–30. Recuperado de [https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/sg\\_policy\\_brief\\_covid\\_urban\\_world\\_july\\_2020.pdf](https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/sg_policy_brief_covid_urban_world_july_2020.pdf)

VÉLEZ, M., VELÁSQUEZ, P., ACOSTA, J., VERA, C., SANTIAGO, J., JIMENEZ, C., ... RAMIREZ, P. (2020). Factores clínicos pronósticos de enfermedad grave y mortalidad en pacientes con COVID-19. *Universidad de Antioquia*, 1(1), 57. Recuperado de <http://fi-admin.bvsalud.org/document/view/rpncvNS> -

VILLERÍAS ALARCÓN, I., & JUÁREZ GUTIÉRREZ, M. DEL C. (2020). México: las enfermedades crónico degenerativas (diabetes melitus e hipertensión) y la vulnerabilidad ante el COVID-19. *Posición*, (3), 1–15. Recuperado de <https://posicionrevista.wixsite.com/inigeo/numero-3-2020>

VIQUE-SÁNCHEZ, J. L., & GALINDO-HERNÁNDEZ, O. (2021). *México con mayor riesgo ante el COVID-19, factores de riesgo que pueden aumentar la ECA2*. 41(1), 55–60. <https://doi.org/https://doi.org/10.12873/411vique>

WANG, H., PAULSON, K. R., PEASE, S. A., WATSON, S., COMFORT, H., ZHENG, P., ... MURRAY, C. J. L. (2022). Estimating excess mortality due to the COVID-19 pandemic: a systematic analysis of COVID-19-related mortality, 2020–21. *The Lancet*, 399(10334), 1513–1536. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)02796-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)02796-3)

YANG, J., ZHENG, Y., GOU, X., PU, K., CHEN, Z., GUO, Q., ... ZHOU, Y. (2020). Prevalence of comorbidities and its effects in patients infected with SARS-CoV-2: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Infectious Diseases*, 94, 91–95. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.03.017>

ZAPATA BEDOYA, S., WALTEROS ACERO, D. M., & MERCADO, M. (2022). Modelos geospaciales para control de brotes de SARS-CoV-2 en Cartagena y Barranquilla, Colombia, 2020. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 46, 1. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2022.26>

*De Fermin Sosa, Yhan Andal; Santana Juárez, Marcela Virginia; Santana Castañeda, Giovanna* | Distribución espacial de la COVID-19 con principales comorbilidades en la Megalópolis de la Zona Metropolitana del Valle de México

ZHOU, Y., YANG, Q., CHI, J., DONG, B., LV, W., SHEN, L., & WANG, Y. (2020). Comorbidities and the risk of severe or fatal outcomes associated with coronavirus disease 2019: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Infectious Diseases*, 99, 47–56. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.07.029>