



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), Noviembre-Diciembre 2025,
Volumen 9, Número 6.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i6

ANÁLISIS EXPLORATORIO ESPACIAL DEL VIH EN VERACRUZ (2020-2023): REDES Y PATRONES ESPACIALES

**EXPLORATORY SPATIAL ANALYSIS OF
HIV IN VERACRUZ (2020-2023):
NETWORKS AND SPATIAL PATTERNS**

Cecilia Cruz López

Universidad Veracruzana, México

Ana Emilia del Ángel Aguilar

Universidad Veracruzana, México

Emmanuel Morales García

Universidad Veracruzana, México

Luis Enrique Gómez Medina

Universidad Veracruzana, México

Julia Aurora Montano Rivas

Universidad Veracruzana, México

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i6.21359

Análisis Exploratorio Espacial del VIH en Veracruz (2020-2023): Redes y Patrones Espaciales

Cecilia Cruz López¹ceccruz@uv.mx<https://orcid.org/0000-0002-9156-5669>Universidad Veracruzana
México**Ana Emilia del Ángel Aguilar**anaagui020528@outlook.com<https://orcid.org/0009-0001-1440-0537>Universidad Veracruzana
México**Emmanuel Morales García**emmorales@uv.mx<https://orcid.org/0000-0002-6837-9227>Universidad Veracruzana
México**Luis Enrique Gómez Medina**luisgomez04@uv.mx<http://orcid.org/0009-0009-1324-389X>Universidad Veracruzana
México**Julia Aurora Montano Rivas**julmontano@uv.mx<https://orcid.org/0000-0002-0434-4113>Universidad Veracruzana
México

RESUMEN

El estudio analiza la distribución espacial del VIH en el estado de Veracruz durante el periodo 2020–2023, con el propósito de identificar patrones territoriales y zonas de mayor riesgo. Se utilizaron técnicas de análisis espacial y se construyó una red espacial basada en teoría de grafos para modelar las conexiones entre los municipios con mayor incidencia y los Centros Ambulatorios para la Prevención y Atención en Sida e Infecciones de Transmisión Sexual (CAPASITS). Los resultados muestran una concentración de casos en municipios como Oteapan, Veracruz, Zaragoza, José Azueta, Coatzacoalcos, Tlacojalpan, Xalapa y Boca del Río. Llama la atención que estos municipios presentan grados de rezago social entre bajo y muy bajo, lo que sugiere que la incidencia del VIH no se limita únicamente a contextos de alta marginación. El análisis de redes permitió identificar al CAPACITS de la región de Veracruz como nodo central de atención, al recibir personas de municipios vecinos y de otros más alejados. En conjunto, los hallazgos evidencian que el uso de modelos espaciales y redes espaciales aporta información clave para orientar estrategias de prevención, campañas de sensibilización y acciones de atención focalizadas en los territorios más afectados.

Palabras clave: índice de morán, autocorrelación espacial, teoría de grafos

¹ Autor principal.

Correspondencia: ceccruz@uv.mx

Exploratory Spatial Analysis of HIV in Veracruz (2020-2023): Networks and Spatial Patterns

ABSTRACT

The study analyzes the spatial distribution of HIV in the state of Veracruz during the period 2020–2023, with the purpose of identifying territorial patterns and high-risk areas. Spatial analysis techniques were applied, and a spatial network based on graph theory was constructed to model the connections between the municipalities with the highest incidence and the Ambulatory Centers for the Prevention and Care of AIDS and Sexually Transmitted Infections (CAPACITS). The results show a concentration of cases in municipalities such as Oteapan, Veracruz, Zaragoza, José Azueta, Coatzacoalcos, Tlacojalpan, Xalapa, and Boca del Río. Notably, these municipalities exhibit low to very low levels of social deprivation, suggesting that HIV incidence is not limited to highly marginalized contexts. The network analysis identified the CAPACITS in the Veracruz region as a central node of care, as it receives individuals from both neighboring municipalities and more distant ones. Overall, the findings demonstrate that the use of spatial models and spatial networks provides key information to guide prevention strategies, awareness campaigns, and targeted healthcare actions.

Keywords: moran's index, spatial autocorrelation, graph theory

Artículo recibido 20 octubre 2025

Aceptado para publicación: 15 noviembre 2025



INTRODUCCIÓN

El Virus de Inmunodeficiencia Humana (VIH) es un desafío de salud pública a nivel global, con impactos significativos en la calidad de vida y salud de poblaciones afectadas (WHO, 2023). El VIH es un virus que afecta a las células de defensa del sistema inmunológico (linfocitos CD4). En caso de que una infección no sea controlada pasa a la fase denominada Síndrome de Inmunodeficiencia Adquirida (SIDA). El virus se encuentra en sangre, en fluidos de órganos sexuales (liquido preeyaculatorio, semen, secreción vaginal) y en la leche materna (WHO, 2023).

Es un retrovirus del género *lentivirus* de la familia *Retroviridae*, causante del SIDA. Su principal afectación consiste en un periodo de incubación que desemboca en enfermedad después de varios años (Delgado, 2011). Al fectar los linfocitos esta pérdida dificulta la reacción del cuerpo contra ciertas enfermedades e infecciones, aumentando el riesgo de mortalidad en los pacientes (GeSIDA, 2024).

Los primeros casos se identificaron en Estados Unidos en 1981. El virus fue aislado e identificado en 1983; no obstante, sus orígenes fueron explicados tiempo después, el VIH-2 a partir del virus de la inmunodeficiencia de simios (VIS) aislados de monos africanos y el VIH-1 de VIS aislados de chimpancés. En los años 80, cuando aparecieron los primeros casos de SIDA, el Dr. Francis, experto en enfermedades infecciosas, sospechó que un retrovirus podría ser la causa. Trabajando junto al Dr. Essex, consideró la posibilidad de que el VIH se transmitiera como la hepatitis B, a través de sangre y relaciones sexuales (Boza-Cordero, 2016; Maravilla y Jiménez, 2004).

Otros casos de infección por VIH en humanos se presentaron en 1920 en el Congo, debido al contagio de entre especies de un virus similar que infectaba a los chimpancés (Abdulghani et al., 2020). En Zambia los hallazgos reportaron diferencias respecto al sexo y entre las zonas rurales y urbanas, en el mismo sentido se identificó un aumento en la prevalencia entre los hombres jóvenes urbanos durante los últimos 12 años, mientras que, con las mujeres jóvenes de zonas urbanas y rurales tienen tendencias decrecientes (Nakazwe et al., 2019).

En Mozambique se realizó una investigación sobre la distribución espacial de la infección por VIH en adolescentes y jóvenes. Se identificaron que las mujeres tienen más probabilidades de tener VIH generando una alta prevalencia, cuyas posibles causas pueden deberse a los matrimonios y embarazos precoces; también existe desigualdad entre géneros debido a la vulnerabilidad de las mujeres en esa

zona, los jóvenes de 20 a 24 son más probables a tener la infección; por otro lado, se considera que la educación puede tener un efecto protector contra esta enfermedad, además de la importancia de campañas de sensibilización sobre estos temas. Asimismo, el contexto rural representa un factor relevante, ya que los jóvenes que viven en hogares encabezados por mujeres en estas zonas presentan condiciones particulares de vulnerabilidad (Muleia et al., 2020).

En Malawi, tiene una de las tasas de prevalencia más altas entre los adultos principalmente en el sureste. Las personas que residían en zonas rurales tenían más probabilidades de contagio con respecto a las que vivían en zonas urbanas. Además, se identificó un alto nivel de prevalencia en mujeres respecto de los hombres, y más cuando tenían estas características: viudos, divorciados o separados, de mayor poder adquisitivo, mayores de 25 años, sin educación formal y los con infecciones de transmisión sexual (Nutor et al., 2020).

En Namibia, se identificó la importancia de la movilidad haciendo énfasis en el lugar donde se produce y transmite la infección. Los datos se tomaron de grabaciones de 9,000 mil millones de llamadas/textos, de 1,9 millones de tarjetas SIM en un año. Se realizó una modelización basada en redes espaciales para determinar el efecto que la movilidad tuvo con el riesgo de contraer, transmitir y dispersar el VIH. La aplicación de esta técnica permitió visualizar redes de flujo de riesgo impulsados por la movilidad, determinar los factores impulsores de riesgo, detectar centros de riesgo de entrada y salida, y encontrar la ubicación geográfica de cada centro de riesgo (Valdano et al., 2021).

En México, la prevalencia y distribución geográfica ha sido objeto de atención constante, destacando la necesidad de comprender sus patrones de propagación para implementar estrategias de prevención y tratamiento efectivos. Los primeros casos de SIDA fueron reconocidos de forma oficial hasta 1983; sin embargo, fue hasta 1986 que se integró el Comité Nacional para la Prevención del SIDA para atender la problemática del país. Además, se establece vigilancia obligatoria para los casos de VIH y SIDA, de esta manera se cuenta con información epidemiológica pública y accesible, permitiendo evaluar el comportamiento de la epidemia (Secretaría de salud, 2024).

A continuación, se presenta una síntesis de los principales indicadores epidemiológicos del VIH en México durante el periodo 2020–2023 (Tabla 1).

Tabla 1. Indicadores epidemiológicos del VIH en México (2020–2023)

Indicador	2020	2021	2022	2023
Defunciones por VIH	4,572	4,662	4,828	
Tasa de mortalidad (por 100,000 hab.)	3.62	3.7	3.71	
Casos diagnosticados	9,140	14,274	16,791	16,941
Casos por sexo	Hombres: 7,362 Mujeres: 1,273	Hombres: 12,306 Mujeres: 1,968	Hombres: 14,426 Mujeres: 2,365	Hombres: 14,537 Mujer: 2,404
Incidencia por entidad (mayores valores)	QRoo 27.1 Colima 23.6 Yucatán 19.0 Veracruz 13.2 Morelia 12.5	QRoo 49.6 Campeche 26.3 Colima 25.2 Tabasco 23.9 Yucatán 22.2	QRoo 55.3 Yucatán 28.5 Campeche 25.5 Colima 25.5 Tabasco 23.9	QRoo 47.0 Colima 26.2 Yucatán 25.2 Tabasco 21.0 Baja California 19.2
Estados con mayor acumulado histórico	CDMX 14.2% México 10% Veracruz 9.5% Chiapas 5%	CDMX 13.7% México 10% Veracruz 9.4% Jalisco 5.8% Chiapas 5.1%	CDMX 13.5% México 10.1% Veracruz 9.3% Jalisco 5.7% Chiapas 5%	CDMX 13.3% México 10.2% Veracruz 9.2% Jalisco 5.8% Chiapas 5%
Grupo de edad con más casos	30–44 años	25–29 años	25–29 años	25–29 años
Transmisión	Sexual 99.2% UDI 0.5% Vert 0.3%	Sexual 99.2% UDI 0.4% Perinatal 0.4%	Sexual 99.6% UDI 0.1% Vert 0.3%	Sexual 99.6% UDI 0.1% Vert 0.3%
Acumulado histórico total de casos	315,177	331,437	350,628	369,626

En 2019, Veracruz se posicionaba en el tercer lugar nacional en casos de VIH con una tasa de 12.4 % por cada 100 mil habitantes, esto impulsó la aceleración de acciones para la detección y aplicación de pruebas rápidas; la prevalencia era mayor en hombres de 25 a 44 años, el municipio más afectado Xalapa. En 2020, el estado acumulaba 29,874 casos históricos desde 1983, con mayor presencia en hombre (22,369), y se notificaron 1,101 casos nuevos, con una incidencia de 13.2.

En 2021, creció a 31,031, con 1,129 casos nuevos e incidencia de 13.5, además se registró como entidad con mayor número de muertes por VIH a nivel nacional (605). En 2022, el acumulado fue de 32,596, con 1,475 nuevos registros e incidencia de 17.1, en 2023 casos acumulados de 34,170, con 1,550 nuevos e incidencia de 17.9, manteniéndose el género masculino con la principal población afectada (Secretaría de Salud, 2019; INEGI, 2022).

Bajo este contexto, los métodos espaciales son herramientas clave para identificar patrones geográficos de transmisión, entender dinámicas locales de VIH y anticipar zonas de alto riesgo. Su uso permite mapear inequidades, localizar brechas de acceso a tratamiento y priorizar intervenciones según el comportamiento espacial de la enfermedad. Por lo tanto, es pertinente estudiar cómo es la distribución de patrones (VIH) en Veracruz, debido a que se encuentra entre los estados mayor incidencia (Secretaría de Salud, 2023).

Ante este panorama, estos métodos no solo contribuye al entendimiento científico de la distribución del VIH, sino que también provee evidencia concreta para la planeación de políticas públicas más efectivas, focalizadas en los municipios más vulnerables. Por ello, el objetivo de este estudio es analizar la distribución espacial del VIH en el estado de Veracruz del 2020–2023 mediante técnicas de análisis y redes espaciales. La investigación busca describir la problemática para contribuir a la construcción de soluciones basadas en evidencia territorial. Así, aportar evidencia útil para fortalecer la respuesta sanitaria frente al VIH, promoviendo acciones preventivas, diagnósticas y de tratamiento que reduzcan la propagación y mejoren la calidad de vida de las personas afectadas.

METODOLOGÍA

Área de estudio

Veracruz es un estado de la República Mexicana que representa el 3.7 % del territorio nacional por su extensión territorial de 71,823 kilómetros cuadrados, por el cual ocupa el cuarto lugar a nivel nacional por el número de habitantes. Se encuentra dividido políticamente por 212 municipios y su capital es la ciudad de Xalapa-Enríquez. El porcentaje de hombres en Veracruz es de 48 % y para mujeres 52 %. Hasta el 2020 contaba con una población 8,062,579 habitantes de los cuales el 62 % era población urbana y el 38 % rural.

De acuerdo con datos proporcionados en el Censo de Población y Vivienda 2020 el grado promedio de escolaridad de la población de 15 años y más edad es de 8.7, que equivale a tercer año de secundaria (INEGI, 2020). Por otro lado, la actividad económica que más aporta al PIB es el comercio con un 4.5 %.

El proceso metodológico realizado en la investigación se describe brevemente en la Figura 1.

Figura 1. Fases para el análisis de datos



La base de datos se conformó por los casos de VIH del periodo 2020-2023. Los casos se reportan por municipio y las variables son población masculina con VIH, femenina con VIH, porcentaje mortalidad, promedio de edad y CAPASITS a los que la población con VIH acude. Los datos fueron solicitados en la plataforma nacional de transparencia y proporcionados por la Secretaría de Salud Veracruz.

Con la base de datos se realizó la limpieza y clasificación con Excel. Dado que la información se analizaría a nivel municipio, fue necesario realizar una selección de las variables, empezando por las componentes geográficas que incluía la clave del municipio, el nombre, longitud y latitud. Le siguen las variables propias del VIH (casos positivos activos, positivos totales, porcentaje de positivos activos, porcentaje positivos totales, muertes VIH, porcentaje mortalidad, centros de salud de atención).

Para el análisis descriptivo se emplearon representaciones gráficas. Para variables cuantitativas, se usaron gráficos de líneas con el fin de identificar tendencias y variaciones en el tiempo. Por otro lado, la variable nominal se representó con un gráfico de barras, lo que facilitó la comparación de frecuencias y la interpretación de la distribución de los casos de VIH en los diferentes centros de atención.

Con respecto al análisis espacial, se realizó el mapeo de las distribuciones espaciales de casos positivos y totales de VIH, el porcentaje de población masculina y femenina y el porcentaje de mortalidad.

El índice de Moran, es una herramienta de análisis exploratorio de datos espaciales (AEDE) que analiza de forma integral las variaciones de autocorrelación espacial, se clasifica como positivo, negativo y sin autocorrelación espacial. Cuando los valores se encuentran agrupados se habla de una autocorrelación espacial positiva, si los valores se dispersan se convierte en una autocorrelación negativa y si los valores se encuentran dispersos o distribuidos de forma aleatoria entonces no hay autocorrelación espacial. Los valores oscilan entre +1 y -1, donde 0 muestra la presencia de patrones aleatorios. Su fórmula es:

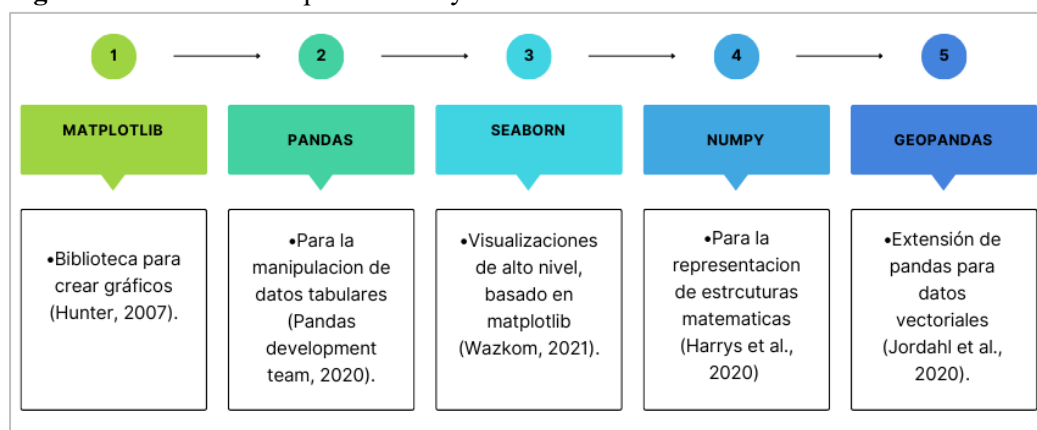
$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x}) (x_j - \bar{x})}{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}) (\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2)}$$

Donde n es el número de unidades geográficas en el mapa, W_{ij} es la matriz de distancias que define si las áreas geográficas i y j son contiguas, x_i es el valor de la variable de interés para la unidad espacial i ; $\bar{x}$ es la medida de la variable de interés para todas las unidades espaciales.

Las redes se definen como estructuras abstractas que se utilizan para representar patrones de relaciones entre conjuntos de varios factores. Pueden usarse para visualizar conexiones sociales, patrones espaciales y relaciones ecológicas. El análisis facilita el estudio de datos que exigen información sobre su comportamiento en términos de conectividad, flujos y trayectorias (Burt et al., 2013). En este estudio, se utilizaron para modelar las conexiones entre municipios con mayor incidencia y los CAPACITS. Para ello, cada municipio se representó como un nodo y las distancias geográficas, flujos de atención o proximidad territorial se modelaron como enlaces. El enfoque permitió identificar patrones de concentración, centralidad y accesibilidad, y reconocer los CAPACITS que funcionan como nodos estratégicos dentro de la red de atención. Este análisis complementó el análisis espacial tradicional al proporcionar información sobre la estructura de interacción territorial y los posibles canales de propagación de casos.

El software utilizado fue Anaconda Navigator para la ejecución de Jupyter Notebook versión 7.0.8 y lenguaje Python. En la Figura 2 se explican las bibliotecas utilizadas en el código en Python para el desarrollo de los análisis y la visualización de datos.

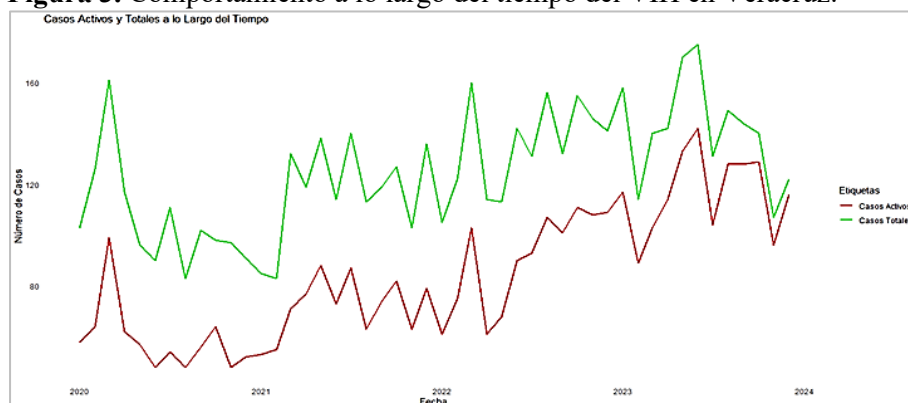
Figura 2. Bibliotecas empleadas en Python.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

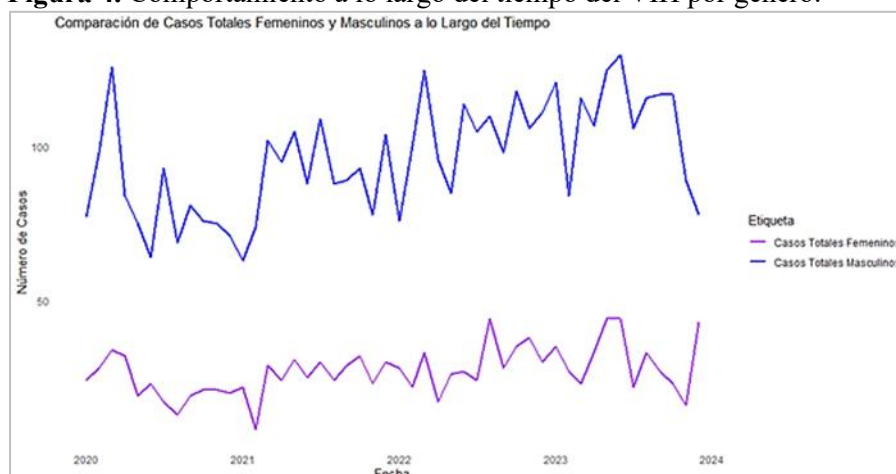
Se crearon gráficos de líneas para visualizar la tendencia de casos activos y totales de VIH. Además, se examinó el comportamiento de los casos de VIH en mujeres y hombres, así como la frecuencia de muertes a causa del VIH durante del 2020-2023. Por otro lado, se realizaron mapas para analizar la distribución espacial de los casos a lo largo del territorio veracruzano.

Figura 3. Comportamiento a lo largo del tiempo del VIH en Veracruz.



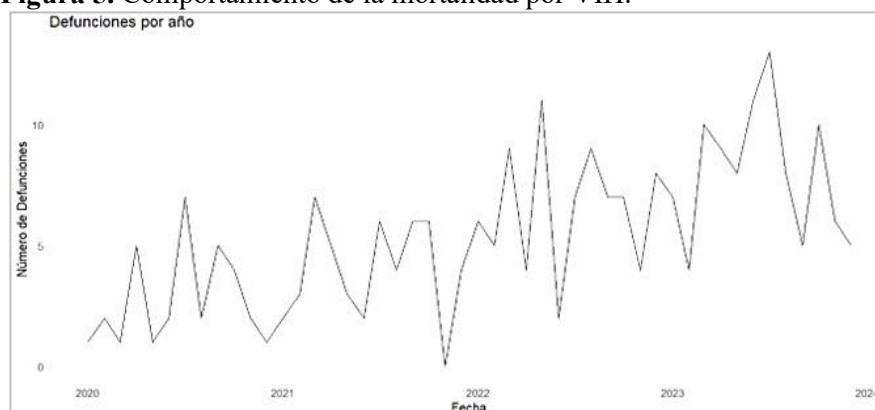
En la Figura 3 se observa la variabilidad de los casos de VIH a lo largo de los años 2020, 2021, 2022 y 2023, en los casos totales se observan cambios del 2020 al 2022 y un mayor crecimiento hasta mediados del 2023. Mientras que en los casos activos se observan cambios del 2020 hasta marzo del 2022 y enero del 2023.

Figura 4. Comportamiento a lo largo del tiempo del VIH por género.



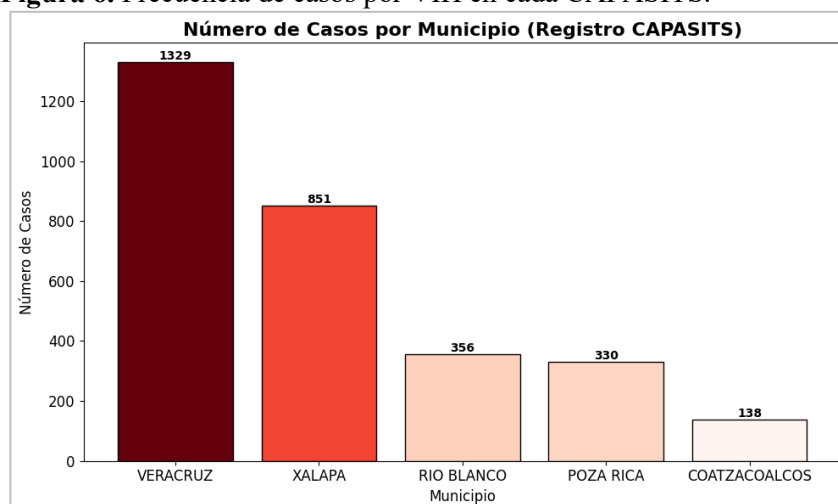
En la Figura 4, se visualizan los casos de VIH en hombres y mujeres. Los resultados indican que los hombres presentan una incidencia significativamente mayor de casos de VIH en comparación con las mujeres. Esta diferencia de género es un factor relevante para considerar, ya que influye en la distribución de la enfermedad. En específico, para los hombres, el año con el mayor número de casos de VIH fue en el 2023, cuando se notificaron 130 casos. En el caso de las mujeres, en el 2022 también fue un período crítico, con 44 casos reportados.

Figura 5. Comportamiento de la mortalidad por VIH.



En la Figura 5, se visualiza el comportamiento de la variable mortalidad por VIH, se identifican años con un alza de fallecimientos en marzo y julio del 2020; asimismo, en marzo del 2021, marzo y mayo del 2022, marzo y julio de 2023, siendo julio el mes que más casos registró, con trece defunciones.

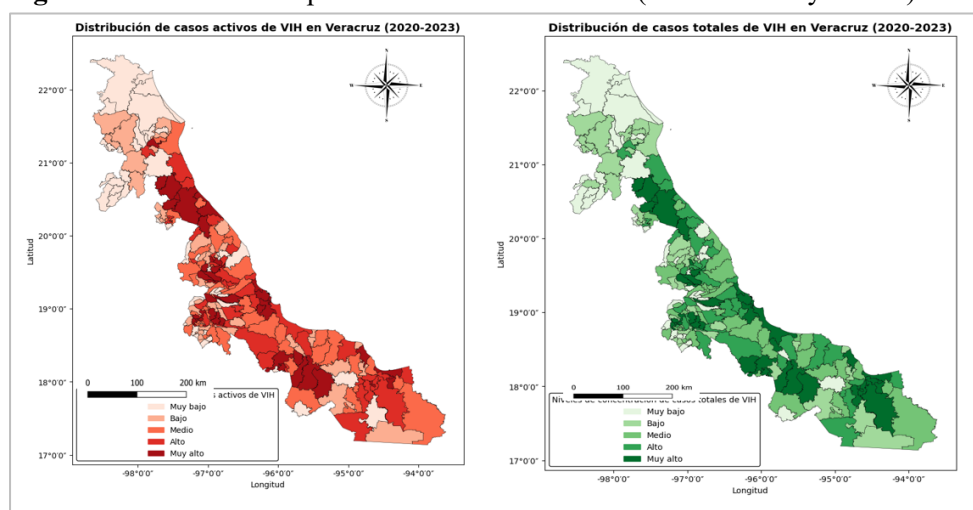
Figura 6. Frecuencia de casos por VIH en cada CAPASITS.



En la Figura 6 se evidencia que el CAPASITS del municipio de Veracruz es el centro de salud con mayor atención a casos de VIH. Durante el período comprendido entre 2020 y 2023, se atendieron un total de 1329 casos en dicho centro. Por otro lado, el CAPASITS del municipio de Xalapa presenta una afluencia en la región, atendiendo tan solo 851 casos de VIH durante el mismo período. En cuanto a Río Blanco, Poza Rica y Coatzacoalcos, atienden entre 138 a 356 casos.

3.2. Distribución espacial del VIH

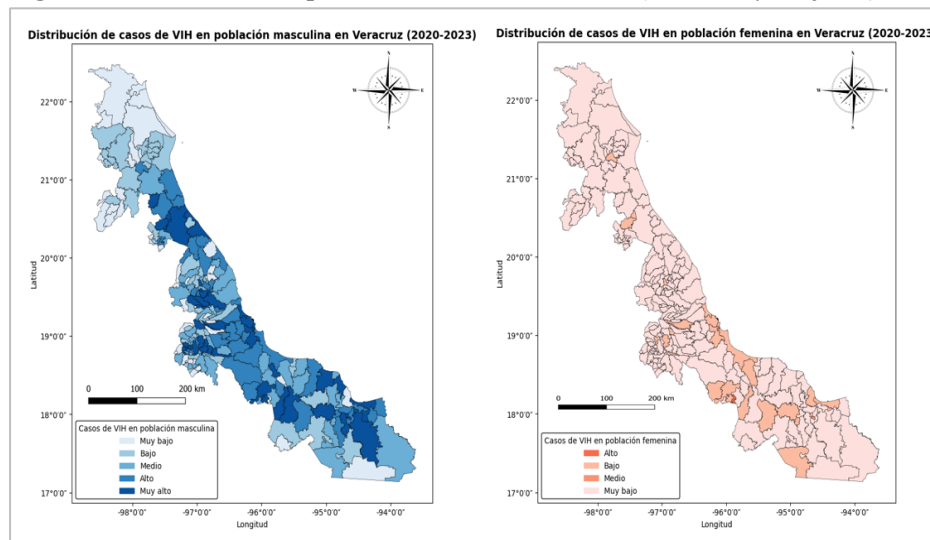
Figura 7. Distribución espacial del VIH en Veracruz (casos activos y totales)



Con el propósito de identificar los municipios con mayor incidencia de casos de VIH, se llevó a cabo la elaboración de un mapa coropletrico (cuartiles) (Figura 7). En esta representación cartográfica, las áreas de tonalidad naranja oscuro indican una concentración significativamente mayor de casos. Entre los municipios destacados se encuentran Oteapan, Veracruz, Zaragoza, José Azueta y Coatzacoalcos.

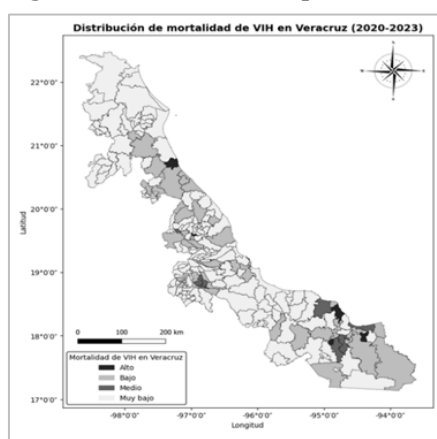
En el segundo mapa se visualiza la distribución de los casos activos en los CAPASITS. Las áreas coloreadas en tonos verdes señalan una mayor concentración de casos activos, destacándose municipios como Oteapan, Veracruz, Zaragoza, Xalapa y Tlacojalpan.

Figura 8. Distribución espacial del VIH en Veracruz (hombres y mujeres).



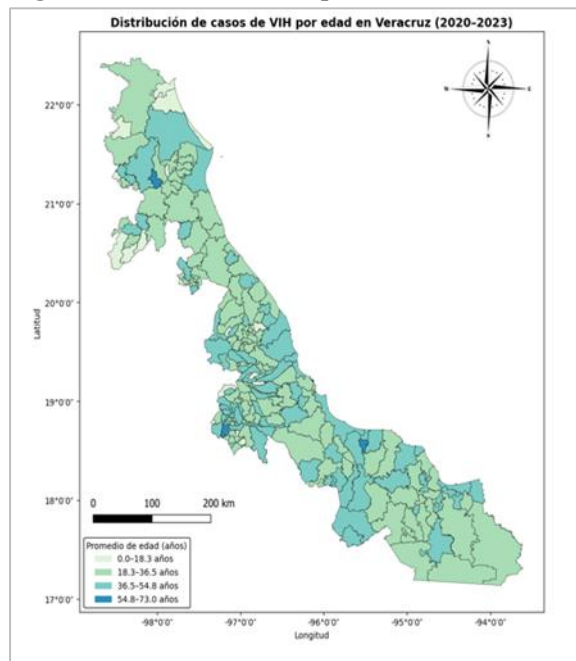
En la Figura 8 se presenta la prevalencia de casos de VIH en hombres y mujeres en las diferentes zonas del estado de Veracruz. Las áreas en tonos azul oscuro indican una mayor concentración de casos, y entre los municipios destacados se encuentran Oteapan, Veracruz, Tlacojalpan, Xalapa, Coatzacoalcos y Orizaba. De la misma manera, en todos rosas se observa la prevalencia de casos de VIH en mujeres. Las áreas en tonos rosa oscuro señalan una mayor concentración de casos en lugares como Tuxtilla, Zaragoza, José Azueta, Atzacan, Veracruz, Coatzacoalcos y Tancoco. Es importante señalar que los municipios Veracruz y Coatzacoalcos mantienen una alta prevalencia de casos de VIH, tanto en hombres como mujeres, por lo que pueden tomarse en cuenta como zonas de riesgo.

Figura 9. Distribución espacial del VIH en Veracruz (Mortalidad).



En la Figura 9 se presenta la tasa de mortalidad por VIH en diferentes regiones de Veracruz, en donde los tonos más oscuros indican una tasa de mortalidad mayor. La tasa de mortalidad varía desde 0.002 hasta 0.0014, algunos de los municipios con una mayor tasa de mortalidad debido a esta enfermedad son: Banderilla, Ixhuatlán del Sureste, Tatahuicapan de Juárez, Cazonces de Herrera, Oluta y Rafael Lucio.

Figura 10. Distribución espacial del VIH en Veracruz (Edad promedio).



La Figura 10 muestra la distribución de los casos de VIH en Veracruz entre 2020 y 2023. De acuerdo con el promedio de edad de las personas, por cada municipio. La mayoría de los municipios tienen un rango de edad en promedio de 18 a 36 años, quiere decir que la población afectada corresponde a adultos jóvenes. Por otra parte, se identifican municipios, en la zona centro y sur del estado, con promedios más altos en el rango de edad entre 36-54 años. Finalmente, aunque existen casos de personas menores a 18 años son menos frecuentes en los municipios de Veracruz.

En la Tabla 2 se muestran los resultados de la autocorrelación espacial de las variables en estudio. En el caso de la mortalidad por VIH en Veracruz tiene autocorrelación espacial positiva ($I = 0.30$, $p = 0.001$), esto indica que los municipios con altas tasas de mortalidad tienden a estar próximos entre sí. Para porcentaje de casos masculinos ($I = 0.33$, $P = 0.001$) y porcentaje de casos femeninos ($I = 0.25$, $p = 0.001$) tienen distribución de forma no aleatoria, con esto se concluye que el VIH afecta a hombres y mujeres en espacios específicos.

Finalmente, el promedio de edad de los casos ($I=0.05$, $P= 0.079$) no tiene autocorrelación espacial, lo que indica que la edad de las personas que viven con VIH no depende de la localización geográfica, en otras palabras, se mantiene de manera homogénea en los 212 municipios, esto se refuerza con la Figura 10.

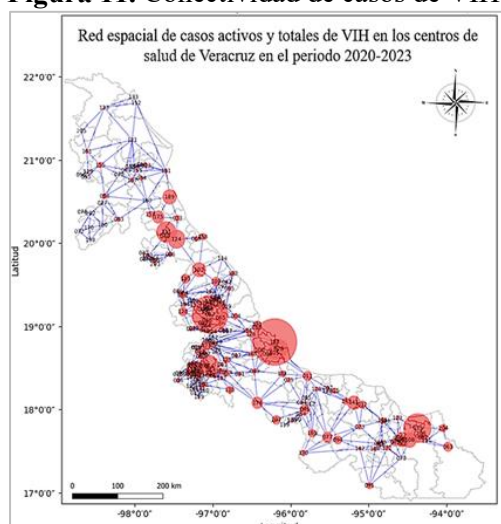
Tabla 2. Significancia estadística de la prueba I de Morán.

Variables	Estadístico de prueba I	P. valor	Significancia
Porcentaje_Mortalidad	0.3	0.001	*
Mas_Porc	0.33	0.001	*
Fem_Porce	0.25	0.001	*
Promedio_edad	0.05	0.079	

Los resultados mostrados en esta investigación coinciden con los de Nutor et al. (2020), porque también en Veracruz las variables género y edad son factores importantes que determinan el índice de contagios del VIH. Autores como Muleia et al. (2020); Nutor et al. (2020); Nakazwe et al. (2019) destacan en sus investigaciones que el género femenino presenta alta prevalencia en comparación con los hombres, los resultados presentados en Veracruz muestran que el incremento de contagio se presenta tanto en hombres como en mujeres. En Valdano et al. (2021) concluyen que las redes de movilidad son específicas de cada país, y dependerá del nivel de movilidad de la población, la variación geográfica de la prevalencia del VIH y del grado en que las pautas de viaje en las zonas de alta y baja prevalencia. Esta estrategia es innovadora, pero con complicaciones sobre todo en la obtención de los datos que se requieren.

La aplicación de la teoría de grafos a datos espaciales permite representar y analizar las relaciones entre las distintas ubicaciones geográficas de una forma más estructurada. Los nodos pueden representar zonas o puntos de interés y las aristas son las conexiones, como carreteras, rutas de transporte o flujos de recursos. Por tanto, ayuda en la identificación de clústeres dentro de los datos espaciales. En el área de servicios, puede ayudar a mejorar la planificación y distribución de servicios públicos como son de emergencia, salud y educación identificando las ubicaciones óptimas para el acceso a la mayor parte de la población. En esta investigación se tomaron en cuenta los beneficios de la aplicación de redes espacial, aplicándolo a los casos de VIH en Veracruz.

Figura 11. Conectividad de casos de VIH y CAPASITS



Se presentan los resultados obtenidos en la red espacial de casos activos y totales de VIH en los centros de salud de Veracruz durante el período 2020-2023. De acuerdo con la Figura 11, los nodos corresponden a los 212 municipios del estado de Veracruz. El tamaño de cada nodo está relacionado con la cantidad de casos activos y totales de VIH en ese municipio. Por lo tanto, si observamos un nodo más grande en un municipio, esto indica una alta incidencia de VIH en esa región.

Las líneas que conectan los nodos representan relaciones o interacciones entre los CAPACITS. La ubicación geográfica de cada uno se refleja en las distintas densidades de casos de VIH, las ciudades principales con estos centros son Coatzacoalcos, Xalapa, Poza Rica, Río Blanco y Veracruz.

En la zona central del estado, hay una mayor incidencia de casos de VIH. Esto se debe a la presencia de los CAPACITS en las regiones de Xalapa, Veracruz y Río Blanco, que son los más concurridos por otros municipios vecinos. En la zona sur del estado, también se observa incidencia de VIH, y las personas acuden al CAPACITS más cercano, que se encuentra en la región de Coatzacoalcos. El CAPACITS de Veracruz es el que cuenta con la mayor incidencia de VIH. Sin embargo, en el CAPACITS se observa un mayor flujo de conexión entre municipios.

En ese sentido, el CAPACITS de Poza Rica tiene menos incidencia de VIH, aunque aún atiende casos. Las personas prefieren movilizarse hacia la zona central para recibir atención médica. Los CAPACITS con nodos mucho más grandes y mayor número de conexiones como Veracruz y Xalapa son puntos clave para la gestión y tratamiento del VIH en Veracruz. Por que desempeñan un papel crucial en la coordinación de acciones para controlar la epidemia.

Para esta investigación se realizó el análisis de redes espaciales con variables más accesible como el índice de contagios de VIH y la conexión con los centros de atención, obteniendo resultados que muestran como las diversas zonas se concentran en los centros de salud más capacitados.

CONCLUSIONES

En el área de la salud, los modelos espaciales ayudan a mapear la distribución de las enfermedades a detectar patrones de propagación y a identificar las áreas de alto riesgo, lo que es esencial para la implementación de medidas de control y prevención. En esta investigación la implementación de modelos espaciales en el análisis del VIH en Veracruz fue de gran ayuda para identificar la distribución espacial de esta enfermedad en el estado de Veracruz, en donde los municipios con mayor incidencia se encuentran Oteapan, Veracruz, Zaragoza, José Azueta, Coatzacoalcos, Tlacojalpan, Xalapa y Boca del Río. Estos municipios cuentan con un grado de rezago entre bajo y muy bajo, por lo que es un factor importante que considerar y que sugiere que la incidencia del VIH no se limita únicamente a contextos de alta marginación. Además, de priorizar estas zonas para implementar acciones de prevención o campañas de concientización.

En esta investigación el objetivo era analizar la distribución espacial del VIH en el estado de Veracruz durante el periodo 2020–2023. De acuerdo con los resultados, la propuesta de utilizar análisis de datos espaciales para examinar el comportamiento de esta enfermedad fue adecuada y pertinente. Finalmente, se implementó la teoría de grafos adaptada a datos espaciales —denominada redes espaciales— para especificar las conexiones entre las áreas de mayor incidencia y los CAPACITS del estado, evidenciando cuáles centros de atención son los más recurrentes. Entre ellos, se destaca el CAPACITS de la región de Veracruz, al que acuden con mayor frecuencia tanto los municipios vecinos como algunos municipios no tan cercanos.

Las redes espaciales ayudaron a conocer la ubicación de los centros de salud y su proximidad a las áreas de alta incidencia, de esta manera se pueden optimizar los recursos disponibles, asegurando a las áreas con mayor demanda. El implementar una red espacial que vincula los casos de VIH con los CAPACITS en Veracruz permitió identificar los centros con mayor concentración de demanda y las áreas con mayor dependencia territorial. Este enfoque contribuye a optimizar la planificación, orientar la distribución de recursos y mejorar la efectividad de las intervenciones de salud pública en la entidad veracruzana.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abdulghani, N., González, E., Manzardo, C., Casanova, J. M., & Pericás, J. M. (2020). Infección por el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH). Síndrome de inmunodeficiencia adquirida. *geuvih.org*. <https://geuvih.org>
- Burt, R. S., Kilduff, M., & Tasselli, S. (2013). Social network analysis: Foundations and frontiers on advantage. *Annual Review of Psychology*, 64, 527–547. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143828>
- Boza Cordero, R. (2016). Orígenes del VIH/SIDA. *Revista Clínica de la Escuela de Medicina UCR - HSJD*, 6(4). <https://www.medigraphic.com/pdfs/revcliescmed/ucr-2016/ucr164g.pdf>
- Delgado, R. (2011). Características virológicas del VIH. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 29(1), 58-65. <https://doi.org/10.1016/j.eimc.2010.10.001>
- Harris, C. R., Millman, K. J., van der Walt, S. J., Gommers, R., Virtanen, P., Cournapeau, D., Wieser, E., Taylor, J., Berg, S., Smith, N. J., Kern, R., Picus, M., Hoyer, S., van Kerkwijk, M. H., Brett, M., Haldane, A., del Río, J. F., Wiebe, M., Peterson, P., ... Oliphant, T. E. (2020). Array programming with NumPy. *Nature*, 585(7825), 357–362. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2>
- Hunter, J. D. (2007). Matplotlib: A 2D graphics environment. *Computing in Science & Engineering*, 9(3), 90–95. <https://doi.org/10.1109/MCSE.2007.55>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). Veracruz de Ignacio de la Llave. Cuéntame Información por entidad. Cuéntame de México. Retrieved January 22, 2025, from <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/ver/default.aspx?tema=me&e=30>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2022, December 1). Estadísticas a propósito del Día Mundial de la Lucha contra el VIH/SIDA (1 de diciembre) (Press Release No. 710/22). https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2022/VIH_SIDA2022.pdf
- Jordahl, K., den Bossche, J. V., Fleischmann, M., Wasserman, J., McBride, J., Martin, R., Taves, M., Hayden, A., Hodgkinson, A., Snow, A. D., Tratner, J., Perry, M., Badaracco, A. G., Farmer, C., Hjelle, G. A., Snow, K., Cochran, M., Gillies, S., Culbertson, L., ... Bartos, M. (2021). *geopandas/geopandas: v0.9.0* [Computer software]. *Journal of Open Source Software*, 6(62),



3021. <https://doi.org/10.21105/joss.03021>
- Maravilla, E., & Jiménez, A. (2004). El descubrimiento del VIH en los albores de la epidemia del SIDA. *Revista de Investigación Clínica*, 56(2), 130–133.
- Muleia, R., Boothe, M., Loquiha, O., Aerts, M., & Faes, C. (2020). Spatial distribution of HIV prevalence among young people in Mozambique. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3), 885. <https://doi.org/10.3390/ijerph17030885>
- Nakazwe, C., Michelo, C., Sandøy, I. F., & Fylkesnes, K. (2019). Contrasting HIV prevalence trends among young women and men in Zambia in the past 12 years: Data from demographic and health surveys 2002–2014. *BMC Infectious Diseases*, 19, 432. <https://doi.org/10.1186/s12879-019-4059-3>
- Nutor, J., Duah, H. O., Agbadi, P., Duodu, P. A., & Gondwe, K. W. (2020). Spatial analysis of factors associated with HIV infection in Malawi: Indicators for effective prevention. *BMC Public Health*, 20, 1167. <https://doi.org/10.1186/s12889-020-09278-0>
- Secretaría de Salud de Veracruz (SESVER). (2019). Programa sectorial de salud de Veracruz 2019–2024. Gobierno de Veracruz. <https://www.veracruz.gob.mx/finanzas/wp-content/uploads/sites/2/2019/11/Salud.pdf>
- Secretaría de Salud. (2023). Informe histórico VIH 4º trimestre 2023. Dirección General de Epidemiología. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/909291/VIH_DVEET_4toTrim_2023.pdf
- Secretaría de Salud. (2024). Informe Histórico VIH 4to Trimestre 2024. Dirección General de Epidemiología. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/996298/InformeHistorico_VIH_4toTRIMESTREVIH_2024.pdf
- Pandas development team. (2020). pandas-dev/pandas: Pandas (Version 1.0.3) [Computer software]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3715232>
- Valdano, E., Okano, T., Mitonga, K., & Blower, S. (2021). Using mobile phone data to reveal risk flow networks underlying the HIV epidemic in Namibia. *Nature Communications*, 12, 2837. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-23051-w>



- Wazkom, M. L. (2021). seaborn: Statistical data visualization. Journal of Open Source Software, 6(60), 3021. <https://doi.org/10.21105/joss.03021>
- World Health Organization (WHO). (2023, July 13). VIH y sida. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/hiv-aids>