



Análisis exploratorio espacial de los casos positivos de COVID-19 en la región La Libertad

Luis Alberto Rubio Jacobo^{1*}, Enrique Ipanaqué Centeno¹, María Teresita del Niño Jesús Rojas García¹, Elmis Jonatan García Zare².

¹ Departamento Académico de Estadística, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n, Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú

² Jefatura de Investigación—SUBE, Universidad César Vallejo, Trujillo, 13001, Perú

Resumen

El presente estudio, tuvo como objetivo determinar la autocorrelación y patrones espaciales de comportamiento de los casos positivos de COVID-19 de las provincias de la región La Libertad, reportados por el Instituto Nacional de Salud (INS) y Centro Nacional de Epidemiología, prevención y Control de Enfermedades (CDC) del MINSA en el año 2020, mediante la metodología de Estadística Espacial. Se utilizó el Índice de Moran Global, para evaluar la presencia de autocorrelación espacial de la variable de interés, el índice de Moran bidimensional con los casos positivos de COVID-19 con el género y edad; y el Índice de Moran Local, para identificar patrones espaciales de las provincias según la variable de estudio y las variables demográficas género y edad. Se concluye, que los casos positivos de COVID-19, presentan una autocorrelación espacial negativa no significativa lo que significa que presentan un patrón aleatorio; que los casos positivos de COVID-19 con el género y la edad, no presentan clústeres significativos, planteándose patrones aleatorios en cada caso; y finalmente, se encontraron dos clúster significativos entre las provincias de Pataz y Sánchez Carrión, relacionando los casos positivos de COVID-19 con la edad adolescente; y el segundo clúster relacionando los casos positivos de COVID-19 con edad joven.

Palabras claves: *Autocorrelación espacial, COVID-19, estadística espacial Índice de Moran*

Abstract

The objective of this study was to determine the autocorrelation and spatial patterns of behavior of positive cases of COVID-19 in the provinces of the La Libertad region, reported by the National Institute of Health (INS) and the National Center for Epidemiology, Prevention and Disease Control. (CDC) of MINSA in 2020, through the Spatial Statistics methodology. To evaluate the presence of spatial autocorrelation of the variable of interest, the Global Moran Index was used, the two-dimensional Moran index with positive cases of COVID-19 with gender and age; and the Local Moran Index, to identify spatial patterns of the provinces according to the study variable and the demographic variables gender and age. It is concluded that positive cases of COVID-19 present a non-significant negative spatial autocorrelation, which means that they present a random pattern; that the positive cases of COVID-19 with gender and age do not present significant conglomerates, posing random patterns in each case; and finally, two significant clusters were found between the provinces of Pataz and Sánchez Carrión, relating positive cases of COVID-19 to adolescent age; and the second group relates positive cases of COVID-19 to young age.

Keywords: *Spatial autocorrelation, COVID-19, spatial statistics Moran Index*

1. Introducción

Conocida la epidemia de la COVID-19 en China, a nivel mundial, las autoridades sanitarias de todos los países adoptaron acciones de prevención de propagación en tiempo tardío, incluso semanas después del caso cero (Pontoh et al, 2020; Santos-Sánchez, & Salas-Coronado, 2020). En Perú, luego de haberse detectado los primeros casos de contagio, las autoridades en conjunto coordinaron las medidas sanitarias pertinentes e implantaron el distanciamiento social como medida primordial, seguido de otras acciones que permitan la mitigación del contagio, sin embargo, debido a ineficiencia de su ejecución, el 16 de marzo del 2020 e declaró bajo decreto la medida de cuarentena nacional. A pesar de esta medida radical, la sociedad dio muestras de mínima conciencia social y sanitaria mostrando resistencia a tales medidas.

Indagaciones sobre el fenómeno de propagación del virus desde el paciente cero en Perú, muestran evidencias de fallas en las medidas de contención, por ejemplo, la demora en el rastreo y ubicación de los familiares y personas que tuvieron contacto con este primer paciente. Además, no hubo ningún tipo de restricciones sobre los procesos migratorios, peor aún, no hubo seguimiento y control de migrantes sospechosos de portar el virus. En la detección de los siguientes 5 casos de contagio debió ser motivo suficiente para tomar medidas más drásticas en el control de migraciones, sin embargo, el gobierno no tomó medidas inmediatas y ello desencadenó en la aceleración casi exponencial de los contagios. Países como Rusia y Corea del Sur fueron, desde luego, más drásticos en estas medidas migratorias, sus decisiones fueron prácticamente instantáneas en decretar el cierre de sus fronteras, además, fueron más organizados y rápidos en el proceso de detectar pacientes contagiados y realizar seguimientos de los casos sospechosos por contagio de los primeros infectados, aunque eso no evitó su posterior crecimiento acelerado de contagio.

Respecto a las características o síntomas de la enfermedad, fueron un cúmulo de incertidumbres en los primeros meses. Los aislamientos eran estrictamente necesarios en tanto permita dar tiempo al sector sanitario de estudiar a los enfermos y fallecidos, tanto a nivel nacional como internacional. La OMS daba sugerencias del uso de medicamentos a nivel clínico y preventivo, sin embargo, fueron cambiando en función de ensayo y error, hasta que en algún momento incierto, investigadores logren crear una vacuna que permita mitigar los síntomas y su consecuente control de la pandemia. (Huamaní et al., 2020)

Debido al contexto globalizado de contagio por COVID-19, resulta importante y necesario evaluar la evolución y dinámica de transmisibilidad desde un enfoque geográfico, esto permite, tales como, la identificación de personas que clasifican como grupos de riesgo y que, en consecuencia, las medidas preventivas, mitigantes y asignación de recursos sean de forma más eficiente. Sin embargo, esto implica disponer de información geo-referenciada a diferentes escalas. Dicha información fue creándose a medida de diversos equipos de investigación planificaban, gestionaban y ejecutaban proyectos con fines de gestionar datos geográficos. De esta manera, se ha logrado estudiar la evolución y dinámica no solo del proceso de propagación, si no también, de las dinámicas poblacionales en torno a su demografía, economía, socialización, etc. (Acuña et al., 2020).

El grupo de investigación Sala Situacional Grupo GEO-ANALITICA (2020), hizo un reporte sobre la dinámica matemática del contagio por COVID-19, sustentándose en el número básico de reproducción (R_0), que es resultado de el promedio de casos secundarios generados por un solo caso de infección, concluye también, que este número básico puede

variar de forma proporcional según el número de contactos que tenga un paciente con Covid. Este enfoque matemático, lograron estimar el número básico de Wuhan para los primeros meses, dando un valor de 2 a 3 contagios en promedio por cada contacto de un paciente contagiado. En Italia el valor R_0 se calculó en valores similares, y consecuentemente, las medidas sanitarias fueron tomadas como base en este indicador. Otro indicador matemático importante es el número reproductivo efectivo (Re), que resulta ser una estimación del promedio de personas contagiadas cada día a partir de los primeros casos existentes y notificados durante la pandemia.

Las primeras investigaciones reportadas en Colombia, señalan que los casos iniciales de COVID-19 se diagnosticaron en los primeros días de marzo, en los meses posteriores (a mediados de año) se extendió a 2200 contagios confirmados. Estos reportes fueron presentados de forma actualizada y constante por los 32 departamentos del país, y aunque, con ciertas deficiencias, permitieron hacer un seguimiento geoespacial de la dinámica de la pandemia. Lograron hacer el registro espacio-temporal de todos los reportes de una forma sistematizada, automatizada, con sistemas computacionales pensado en un registro y reporte instantáneo a fin de tomar medidas para reducir el impacto pandémico (Cuartas et al. 2020).

Investigaciones preliminares hechas por Rocha (2020), se basaron en una exploración empírica del proceso de propagación de COVID-19 en Colombia a una escala municipal a mediados de marzo y finales de junio de ese año. Se calcularon estadísticas de dependencia espacial a través de índices de Moran global y local, también se estimaron modelos de retardo espacial (econometría espacial), enfocándose en variables sociales, económicas, laborales, indicadores sanitarios, condiciones laborales, etc.; encontrándose patrones y relaciones con enfoque espacial que permitieron, en alguna medida, determinar algunos pronósticos para la toma de decisiones municipales. Ante las limitaciones en la disponibilidad de muestras, así como de la capacidad de procesamiento, estas principalmente han sido aplicadas para quienes muestran la sintomatología del COVID-19 y presumiblemente habría una subestimación del contagio asintomático, el cual corresponde al 11% del contagio reportado por el Instituto Nacional de Salubridad. Hasta el final del período analizado el 74% del contagio se concentró en 10 municipios de los 666 creciendo sostenidamente a un promedio diario de 5 municipios.

La integración de los métodos estadísticos con enfoque espacio-temporal y los sistemas de información geográfica, han permitido implementar herramientas exploratorias para el análisis de datos, en concreto, el análisis de variables espaciales (Siabato, 2019; Barrantes, & Solano, 2020).). Una de las medidas de autocorrelación espacial más utilizadas para estos casos es el índice de Moran, que, en conjunto con su implementación en diferentes softwares, hace posible su aplicabilidad en diversas áreas. Otra data relevante en estos estudios es el uso de archivos cartográficos digitales que se presentan en diferentes formatos, por ejemplo, los archivos “shapefile” que son capaces de almacenar elementos geométricos y base de datos; además tiene información sobre el sistema de coordenadas de la que se basa la cartografía, por ejemplo, el sistema WGS84 (EPSG:4326), siendo relevantes para la visualización de patrones y estimaciones. Aunque existen otros formatos más recientes como KML y KMZ desarrollados por la compañía Google que dentro de sus novedades es gestionar información en tres dimensiones. De todas formas, los formatos shapefile siguen siendo de utilidad en el entorno académico y profesional empresarial. (Rivera, 2014).

El procedimiento para evaluar la autocorrelación espacial es intrínsecamente geográfico, y permite identificar patrones o distribuciones espaciales a diferentes escalas

(Wilches-Visbal et al., 2022). Identifica, por ejemplo, similitudes entre “entes” o zonas geográficas que los denominará “clústeres” o agrupaciones por similitud de vecindad geográfica (Santana et al., 2020). También, existen métodos más complejos con objetivos explícitamente predictivos, por ejemplo, los modelos de regresión espacial, dentro de estos modelos tenemos: Modelo de retardo espacial (SLM), modelo de error espacial (SEM) y modelo espacial de Durbin (SDM), verificando la dependencia espacial con el Índice de Moran y la normalidad de los errores en todos los modelos. Sin embargo, a pesar de la importancia de su aplicabilidad, se sigue empleando métodos tradicionales al momento de evaluar correlaciones de variables geo-referenciadas, es por ello, la importancia de resaltar el uso de estos procedimientos (Celemín, 2009).

Como se evidencia, en ciertos estudios la importancia de evaluar la distribución espacial de los casos positivos de COVID-19 a escala provincial y distrital es muy importante, porque permitirá la toma de decisiones gubernamentales a este nivel de manera correcta. En el Perú y en especial en nuestra región son escasos los estudios acerca de la distribución espacial de los casos de contagio confirmado de COVID-19, ya que es una realidad latente y necesita ser estudiado a profundidad. Como docentes e investigadores de la Universidad Nacional de Trujillo, deberíamos estar siempre a la vanguardia de esta problemática de salud y dar algunos aportes para conocer esta problemática socioeconómica generada por los casos de COVID-19.

Esta importancia de este estudio radica en la aplicación de la técnica estadística espacial denominada autocorrelación espacial, Su aplicación tuvo como objetivo analizar la distribución geoespacial de los casos confirmados de COVID-19 a nivel provincial y distrital, a fin de poder identificar clústeres espaciales de provincias que se correlacionan, teniendo en cuenta el número de casos confirmados positivos de COVID-19 y que aportará en la toma de decisiones políticas, sociales, salud y medioambientales. Frente a esta problemática se formuló la interrogante investigación ¿Qué tipo de autocorrelación espacial presentan los casos positivos de COVID-19 de la región La Libertad, reportados por el Instituto Nacional de Salud (INS) y Centro Nacional de Epidemiología, prevención y Control de Enfermedades (CDC) del MINSA?

2. Metodología

La investigación tuvo como objeto de estudio la distribución espacial de los casos positivos de COVID-19 a escala provincial en la región la Libertad. Es un estudio de tipo exploratorio y de corte transeccional (Hernández & Mendoza, 2018). La variable fundamental del estudio fue el número de casos positivos por provincia, considerando también las variables, casos positivos por provincia según género y edad. La población consta de todas las provincias de la región La Libertad con casos de positivos de COVID-19 que fueron reportados por el INS y el CDC del MINSA, a través de su sala situacional.

Para el análisis estadístico se utilizó el Índice de Moran con enfoque global y local que determinó la presencia de autocorrelación espacial positiva o negativa, así como la detección de patrones espaciales de las provincias de la región la Libertad, en función al número de casos confirmados positivos de COVID-19. Dentro de la metodología de análisis espacial y el uso de los softwares libres GeoDa 1.7 y RStudio 4.0.3, con los respectivos archivos cartográficos en formato “shapefile” a escala provincial para los límites del departamento de

La Libertad. Se utilizó el criterio Reyna, con enlace de vecindad contigua de orden 1. El mapa cartográfico de la región La Libertad por provincias y su enlace de vecindad contigua de orden 1 según el criterio Reyna, se presenta en figura 1.

Los datos utilizados en el presente estudio fueron obtenidos principalmente a partir de la base de datos del Ministerio de Salud del Perú, que contiene información sobre COVID-19.

Consideraciones éticas

En el presente estudio, la recopilación y análisis de los datos se realizaron basándose en los principios éticos. La información utilizada es de carácter público y de fácil acceso. Se asegura la precisión y honestidad en el manejo de la información y aplicación de los métodos lo que garantiza la confiabilidad de los resultados.

3. Resultados

Figura 1

El mapa cartográfico de la Región La Libertad por provincias y su enlace de vecindad contigua de orden 1 según el criterio Reyna

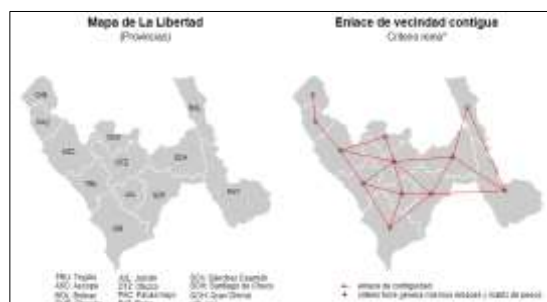
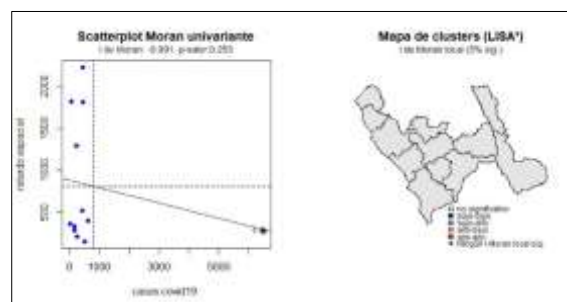


Figura 2

Índice I de Moran Global y mapa de clústeres (LISA) para casos COVID-19 por provincias de La Libertad, 2020



En la figura 2, se presenta el gráfico de dispersión espacial univariante de Moran que nos permite evaluar la autocorrelación espacial de los casos positivos de COVID-19 por provincias de la región La Libertad reportados por el INS y el CDC del MINSA (I de Moran Global)

Figura 3. Índice de Moran según género

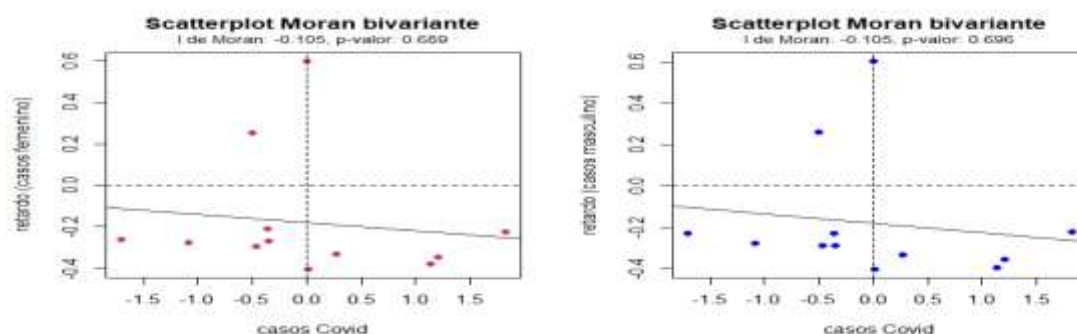
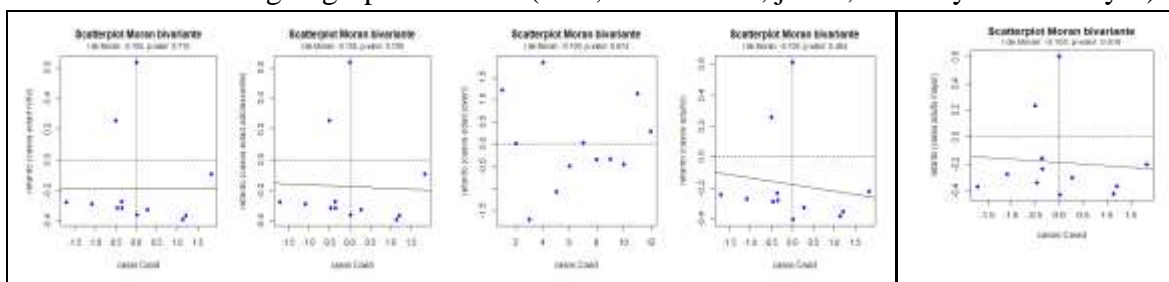


Figura 4

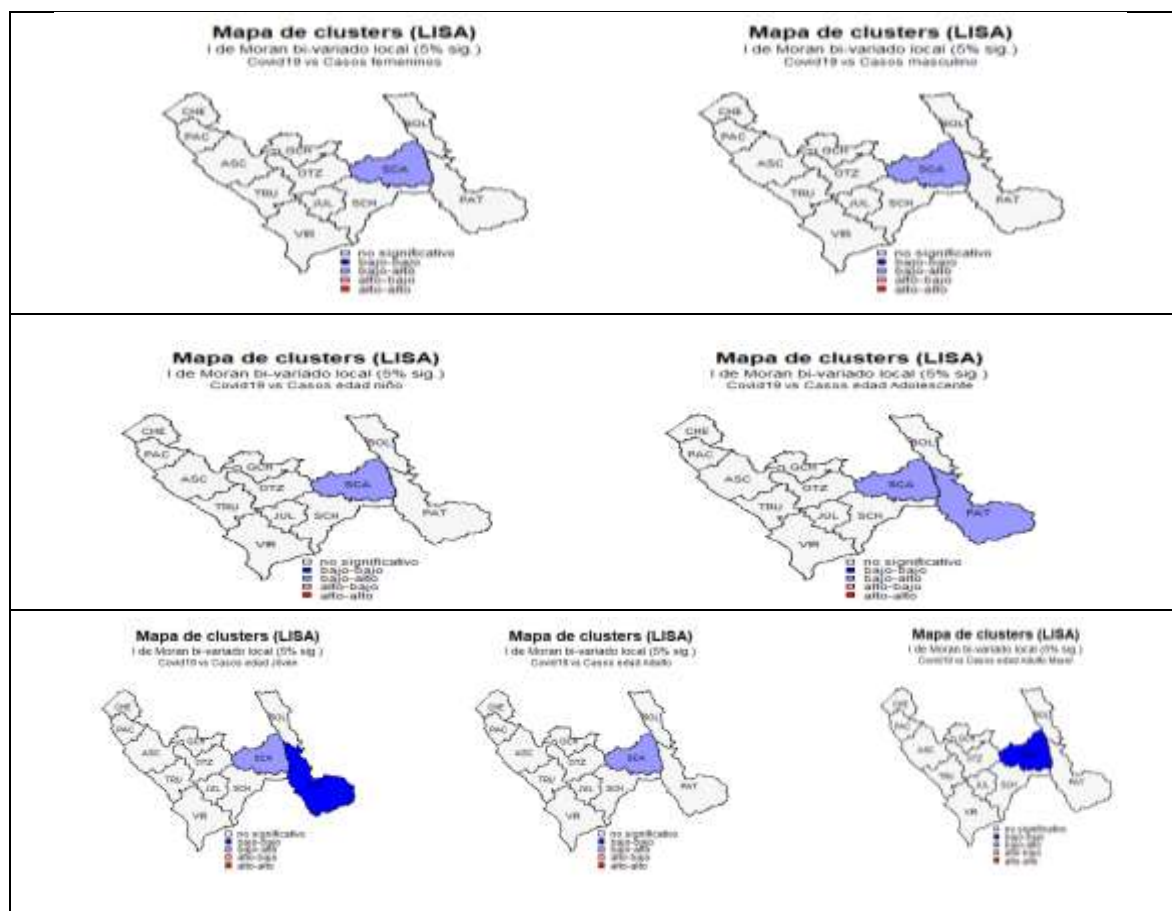
Índice de Moran según grupos de edad (niño, adolescente, joven, adulto y adulto mayor)



En las figuras 3 y 4, se presenta los diagramas bivariantes para la evaluación de la autocorrelación espacial de los casos positivos de COVID-19 con el género (femenino y masculino); y con el grupo de edad (niño, adolescente, joven, adulto y adulto mayor) por provincias de la región La Libertad, reportados por el INS y el CDC del MINSA (I de Moran bidimensional)

Figura 5

Mapa de cluster (LISA) de los casos positivos de COVID-19 por provincias de la región La Libertad.



La figura 5, muestra los clústeres espaciales de los casos positivos de COVID-19 por provincias de la región La Libertad, reportados por el INS y el CDC del MINSA, constituidos a través de la evaluación del Índice de Moran Local.

4. Discusión

En este capítulo se analizan los resultados del estudio sobre cómo se distribuyen los casos de COVID-19 en la región La Libertad reportados por el INS y el CDC del MINSA y la autocorrelación espacial de los casos positivos en esta región, usando como apoyo los softwares libres GeoDa y RStudio, para la obtención de los diagramas espaciales y los valores del Índice de Moran Global y Local, para lo cual es necesario contar con información georreferenciada del evento en estudio (Acuña et al., 2020; Celemín, 2009).

Considerando la figura 1, los casos positivos de COVID-19 por provincias de la región La Libertad, utilizando los datos reportados por el INS y el CDC del MINSA, presentan una autocorrelación espacial negativa muy débil (IM: -0.091) mediante el índice de Moran Global, considerando una matriz de continuidad tipo Reyna de orden 1. En este caso como el índice de Moran global es próximo a cero, nos indica que casos positivos de COVID-19 por provincias de la región La Libertad presentan un patrón espacial disperso; es decir, que los casos positivos de COVID-19 se distribuyen en forma aleatoria en las provincias, la cual fue validada mediante la prueba Z, obteniendo un valor p de 0.253, lo que también se puede observar en el mapa de clúster LISA. Estos resultados difieren de los obtenidos por Cuartas et al (2020) quienes encontraron que, en la ciudad de Cali, Colombia los casos tendían a agruparse inicialmente en las zonas norte y sur, para luego extenderse hacia el este y el oeste.

Otro aspecto importante en describir la distribución espacio-temporal de los casos positivos de COVID-19 es la evaluación de la autocorrelación espacial bidimensional de las características demográficas género y edad; según lo afirmado por Rivera (2019) para una mejor visualización de la distribución espacio-temporal de los casos positivos de COVID-19, es conveniente aplicar el método de autocorrelación espacial de Moran, con apoyo de tecnologías iterativas y dispositivos móviles, lo que permite analizar en tiempo real los patrones de expansión y concentración a través de un modelo estadístico-matemático, mediante la simulación de la naturaleza y movilidad de la variable en diferentes zonas, de manera directa y sencilla, lo que facilita la identificación de patrones espaciales en el tiempo.

En contraste con estudio previos, como el realizado por Celemín (2009) quién se centró en la autocorrelación espacial de viviendas con baño exclusivo; Barrantes & Solano (2020) quienes buscaron comprender la difusión espacial del virus a través de un análisis de autocorrelación en Costa Rica. En el presente estudio se tuvo un enfoque bidimensional aplicando el Índice de Moran (IM) para el número de casos positivos de COVID-19, con el género y con la edad, considerando la matriz de contigüidad tipo Reyna de orden 1; obteniendo un Índice IM=-0.105 tanto para el género femenino y masculino, verificándose con la prueba Z que resulto no significativa) la autocorrelación negativa bidimensional con valores ($p=0.689$ y 0.696), presentando un comportamiento aleatorio; considerando el número de casos positivos de COVID-19 y la edad de niño, adolescente, joven, adulto y adulto mayor se obtuvo un Índice de Moran de IM= -0.105, que se salieron no significativos mediante la prueba Z con valores p mayores a 0.05, concluyéndose que no existe autocorrelación espacial. Asimismo, se concluye que presentan un patrón aleatorio.

En lo que respecta a la identificación de clústeres espaciales de los casos de COVID-19 de las provincias de la región La Libertad utilizando el índice de Moran Local y mapas de clúster LISA, se evidencia un clúster significativo formado por las provincias de Pataz y Sánchez Carrión, ubicándose en el cuadrante II, del cuadrante de asociación espacial (bajo-alto) de Moran. Esto indica que existe una asociación espacial, es decir, que Pataz presenta números bajos casos positivo de COVID-19 con pacientes de edad baja (adolescentes), los que se asocian con su vecino la provincia de Sánchez Carrión con numero alto de casos positivos de COVID-19 y baja edad. También se observa un segundo clúster en las mismas provincias, de los casos positivos de COVID-19 con casos de edad joven, ubicándose en el cuadrante III, del cuadrante de asociación espacial, lo que indica que la provincia de Pataz presenta bajos casos positivos de COVID-19 con bajos casos y baja edad joven, la que se asocia con la provincia vecina de Sánchez Carrión con bajos positivos de COVID y edad alta de jóvenes.

Lo expuesto en el párrafo anterior respecto a los clústeres identificados mediante el análisis geoespacial, se corresponde en otros estudios realizados en contextos diferentes como en México, donde Santana et al. (2020) identificaron comportamientos diferenciados, como municipios críticos con elevada incidencia de COVID-19 y otros con menor presencia de contagios. Estos resultados señalan la importancia de implementar políticas diferenciadas para un mejor manejo de este tipo de eventos.

5. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

En la presente investigación se han obtenido el Índice de Moran global y local, teniendo en cuenta la matriz de continuidad tipo Reyna de orden 1, y como base del cálculo de estos indicadores de autocorrelación global y local, se concluye que las provincias de la Región La Libertad con casos positivos de COVID-19, presentan una autocorrelación espacial no significativa lo que significa que presentan un patrón aleatorio. Así mismo, mediante el Índice de Moran Bivariante de casos positivos de COVID-19 con las características demográficas género (femenino y masculino) y edad, no presentaron clústeres significativos, presentándose patrones aleatorios en cada caso. Considerando el Índice Local de Moran, se encontraron dos clústeres significativos entre las provincias de Pataz y Sánchez Carrión, relacionados con los casos positivos de COVID-19 y edad adolescente; y el segundo clúster formado por casos positivos de COVID-19 con edad joven.

Recomendaciones

Se recomienda realizar nuevas investigaciones con otras variables de interés utilizando los Índices de Moran y otros criterios de autocorrelación espacial, existentes en la literatura de la estadística espacial como son el c de Geary que representan las diferencias globales y el G de Getis y Ord que representa la multiplicativa global.

También es necesario considerar otras escalas geográficas: distritales y departamentales que permitan tener un panorama detallado y generalizado a nivel nacional a fin de que las implicancias en la toma de decisiones sean en cualquier ámbito geográfico, es decir, distrital, provincial, departamental o regional.

Los datos georreferenciados que hasta el momento genera la pandemia, tienen también un componente temporal, pues todos los indicadores varían con el tiempo. Esto implica que es oportuno generar otras investigaciones que apunten a estimar modelos predictivos con enfoque espacio-temporal. En tal sentido, se recomienda evaluar los aspectos teóricos-prácticos de estas metodologías.

6. Referencias bibliográficas

- Acuña, J., Andersen, L. E., & Gonzales, L. (2020). Datos territoriales para la gestión de la pandemia: el caso del COVID-19 en Bolivia. *Revista Latinoamericana de Desarrollo Económico*, (34), 7-33. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2074-47062020000200002&script=sci_arttext
- Barrantes, O. & Solano, M. (2020). *COVID-19 en Costa Rica durante los meses de marzo y abril de 2020 mediante un análisis de autocorrelación espacial*. <https://www.researchgate.net/publication/341552796>. Costa
- Celemín, J. P. (2009). Autocorrelación espacial e indicadores locales de asociación espacial. Importancia, estructura y aplicación. ResearchGate, 1-18. <https://www.researchgate.net/publication/317536284>
- Cuartas, D. E., Arango-Londoño, D., Guzmán-Escarria, G., Muñoz, E., Caicedo, D., Ortega, D., ... & Méndez, F. (2023). Análisis espacio-temporal del SARS-coV-2 en Cali, Colombia. *Revista de Salud Pública*, 22, 138-143. Hernández, S. & Mendoza, P. (2018). *Metodología de la Investigación*. Mc Graw Hill. http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/SampieriLasRutas.pdf
- Huamaní, C., Timaná-Ruiz, R., Pinedo, J., Pérez, J., & Vásquez, L. (2020). Condiciones estimadas para controlar la pandemia de COVID-19 en escenarios de pre y poscuarentena en el Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 37, 195-202.
- Pontoh, R. S., Toharudin, T., Zahroh, S., & Supartini, E. (2020). Effectiveness of the public health measures to prevent the spread of covid-19. *Commun. Math. Biol. Neurosci.*, 2020, Article-ID.
- Rivera J. Y. (2014). Bases de datos geográficas y autocorrelación espacial para identificar patrones de distribuciones espaciales. *Investigación, Innovación Ingeniería*, 18-25. <https://www.researchgate.net/publication/318874117>
- Rocha, R. (2020). *Un análisis espacial del contagio del COVID-19: El comienzo*. colaboracion.dnp.gov.co. https://www.researchgate.net/publication/342168820_UN_ANALISIS_ESPACIAL_DEL_CONTAGIO_DEL_COVID-19_EL_COMIENZO

- Sala Situacional Grupo GEO-ANALITICA. (2020). Covid-19 en el Ecuador. Tendencia Temporal Espacial de la Pandemia. Ecuador. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2020/04/Estudio-COMPLETO-Tendencia-Temporal-Espacial.pdf
- Santos-Sánchez, N. F., & Salas-Coronado, R. (2020). Origin, structural characteristics, prevention measures, diagnosis and potential drugs to prevent and COVID-19. *Medwave*, 20(8).
- Santana, M., Santana, G., Sánchez C., Sánchez R. & Alcántara, R. (2020). *COVID-19 en México: Asociación Espacial de cara a la fase tres I COVID-19 No México: Parceria Espacial para a Terceira Fase. Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde*. HYGEIA, ISSN: 1980-1726.
https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0,5&q=estudios+de+autocorrelaci%C3%B3n+espacial+de+casos+positivos+de+covid
- Siabato, W. & Guzmán-Manrique, Jhon. (2019). *La autocorrelación espacial y el desarrollo de la geografía cuantitativa*. Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía 28(1), 1-22. doi: 10.15446/rcdg.v28n1.76919.
https://www.researchgate.net/publication/332690033_La_autocorrelacion_espacial_y_el_desarrollo_de_la_geografia_cuantitativa
- Wilches-Visbal, J. H., Díaz-Albornoz, H. D. & Castillo-Pedraza, M. C. (2022). Asociación espacial e impacto de variables socioambientales en los casos de COVID-19 en Bogotá (Colombia). *Información tecnológica*, 33(2), 67-76.
<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000200067>