



**Análisis geoespacial para la distribución de vacunas contra el SARS-CoV-2 en el
Distrito Metropolitano de Quito, mediante el empleo de herramientas geo-
informáticas**

Obando Ruales, Karol Nicole

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniera Geógrafa y del
Medio Ambiente

Ing. Padilla Almeida, Oswaldo Vinicio PhD



9 de diciembre del 2021



Document Information

Analyzed document	OBANDO_K_TESIS.docx (D121659428)
Submitted	2021-12-08T22:14:00.0000000
Submitted by	COOD
Submitter email	process.complete@edu.ec
Similarity	1%
Analysis address	admin@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	Libro UNIANDES y la Infraestructura de Datos Espaciales.pdf Document Libro UNIANDES y la Infraestructura de Datos Espaciales.pdf (D51075687)	 1
W	URL: http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/791/T-ESPE-017763.pdf?sequence=1&isAllowed=yChan, Fetched: 2021-12-08T22:20:00.0000000	 2
W	URL: https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/CBG-BD.pdf#:~:text=Una Fetched: 2021-12-08T22:20:00.0000000	 1
W	URL: https://victoryepes.blogs.upv.es/2018/11/27/proceso-analitico-jerarquico-ahp/ Fetched: 2021-12-08T22:20:00.0000000	 1

Firma:



Firmado electrónicamente por:
**OSWALDO VINICIO
PADILLA ALMEIDA**

Ing. Padilla Almeida, Oswaldo Vinicio PhD

C. C.: 1709776650



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**Análisis geoespacial para la distribución de vacunas contra el SARS-CoV-2 en el Distrito Metropolitano de Quito, mediante el empleo de herramientas geo-informáticas**” fue realizado por la señorita **Obando Ruales, Karol Nicole** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 9 de diciembre del 2021

Firma:



Firmado electrónicamente por:

**OSWALDO VINICIO
PADILLA ALMEIDA**

.....

Ing. Padilla Almeida, Oswaldo Vinicio PhD

C. C.: 1709776650



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Obando Ruales, Karol Nicole** con cédula de ciudadanía n° 1004203350, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Análisis geoespacial para la distribución de vacunas contra el SARS-CoV-2 en el Distrito Metropolitano de Quito, mediante el empleo de herramientas geo- informáticas”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 9 de diciembre del 2021

Firma:

Karol Obando

Obando Ruales, Karol Nicole

C. C.: 1004203350



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Obando Ruales, Karol Nicole** con cédula de ciudadanía n° 1004203350, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “**Análisis geoespacial para la distribución de vacunas contra el SARS-CoV-2 en el Distrito Metropolitano de Quito, mediante el empleo de herramientas geo- informáticas**” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 9 de diciembre del 2021

Firma:

Karol Obando
.....

Obando Ruales, Karol Nicole

C. C.: 1004203350

DEDICATORIA

A mi madre y a mi abuelita Laura, mujeres fuertes y valientes que me han enseñado a luchar por mis sueños. Me faltarían palabras para agradecer cada sacrificio que han hecho por mí, así como también, me faltaría tiempo para recompensar el apoyo y amor incondicional que me han brindado. Este logro es suyo, ya que todo lo que soy se lo debo a ustedes.

An meinen großen Bruder Diego, der mein Vorbild ist. Du hast ein Teil meines Herzens nach Deutschland mitgenommen aber ich könnte dir nicht dankbarer sein, für all die Liebe und Ratschläge die du mir gegeben hast. Du warst und bist ein wichtiger Teil meiner persönlichen und professionellen Entwicklung. An meine Schwägerin Taty, der ich für all die Geduld und Liebe zu mir danke und an meinen Neffen Ilian, ihr sollt wissen, dass ihr euch einen besonderen Platz in meinem Herzen verdient habt.

A mi hermanito Jean, a quién agradezco todos los momentos compartidos, cada ocurrencia tuya es una alegría en mi corazón. Lucha también por tus sueños hermanito pues siempre estaré para ti.

A mi padre, por escucharme, aconsejarme y confiar en mis capacidades. Gracias por apoyarme incondicionalmente en cada paso y decisión que he tomado a lo largo de mi carrera y por enseñarme que el mejor conocimiento es el que se aprende por sí mismo.

Karol Nicole Obando Ruales

AGRADECIMIENTO

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, en especial a la Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente.

A mi tutor de tesis, Ing. Oswaldo Padilla, por brindarme su ayuda y guía en la elaboración del proyecto de titulación.

A mi mejor amiga Doménica Játiva, por ser mi cómplice y confidente, gracias por compartir tantas risas y lágrimas conmigo, no pude encontrar amistad más genuina.

A mis mejores amigos de la Universidad Erika Acero, Gaby Quinga, Michelle Espinoza, Emilio Beltrán, Cristian Noroña, Lex Vera, Diego Fuertes, Bryan Moscuvi y Andrés Reyes, mi vida universitaria fue lo mejor gracias a su apoyo, compañía y de vez en cuando peleas que terminaban en risas y bromas, momentos compartidos con ustedes son difíciles de superar.

A todas las personas que me han ayudado a crecer tanto de forma personal como profesional, sepan que siempre tendrán un lugar especial en mi corazón.

Karol Nicole Obando Ruales

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	3
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA	4
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN.....	5
DEDICATORIA.....	6
AGRADECIMIENTO.....	7
ÍNDICE DE TABLAS.....	13
ÍNDICE DE FIGURAS	15
RESUMEN	18
ABSTRACT	19
CAPÍTULO I	20
ASPECTOS GENERALES	20
Antecedentes.....	20
Planteamiento del problema	22
Justificación e importancia	22
Objetivos.....	23
<i>Objetivo General</i>	23
<i>Objetivos Específicos</i>	24
Metas.....	24
Hipótesis.....	25
Área de influencia	25

CAPÍTULO II	26
MARCO TEÓRICO.....	26
Origen y características del Coronavirus SARS-CoV-2.....	26
Evolución de la enfermedad por COVID-19 en Ecuador	27
Geo epidemiología.....	31
<i>Mapeo de enfermedades</i>	31
<i>Estudios de correlación geográfica</i>	32
<i>Agrupación y vigilancia de enfermedades</i>	32
Sistemas de Información Geográfica (SIG)	33
<i>Base de datos geográfica</i>	33
<i>SIG en salud pública</i>	33
Análisis espacial	35
<i>Densidad de puntos</i>	36
<i>Ponderación de distancia inversa (IDW)</i>	36
<i>Distancia euclídana</i>	37
Normalización estadística	37
Lógica difusa.....	38
a) <i>Caso 1</i>	39
b) <i>Caso 2</i>	39
c) <i>Caso 3</i>	40
Evaluación multicriterio (EMC)	41

	10
<i>Proceso Analítico Jerárquico (AHP)</i>	44
Análisis de regresión.....	45
Topología.....	45
Análisis de redes.....	46
<i>Área de servicio</i>	47
<i>Ubicación y asignación</i>	48
<i>Algoritmo de Dijkstra</i>	48
Vulnerabilidad	49
Modelo de distribución	50
Normativa Legal Vigente.....	51
CAPÍTULO III	52
METODOLOGÍA.....	52
Recopilación de información	53
Densidad poblacional.....	57
Análisis espacial de las variables de estudio.....	62
<i>Densidad de puntos</i>	63
<i>Ponderación de distancia inversa (IDW)</i>	64
<i>Distancia euclidiana</i>	64
Normalización estadística	64
Lógica difusa.....	64
Evaluación multicriterio (EMC)	68

	11
<i>Componente de Asentamientos Humanos</i>	68
<i>Componente Sociocultural</i>	70
<i>Componente de Movilidad</i>	72
Generación del mapa de zonas con mayor vulnerabilidad	74
Identificación y priorización de población crítica.....	78
<i>Reclasificar</i>	78
<i>Ráster a polígono</i>	78
<i>De entidad a punto</i>	78
Análisis de redes.....	79
<i>Detección y corrección de relaciones topológicas</i>	80
<i>Construcción del Network Dataset</i>	84
<i>Obtención de rutas</i>	85
Cantidad de personas beneficiadas por establecimiento.....	89
CAPÍTULO IV	94
RESULTADOS	94
Geodatabase de variables sociodemográficas, económicas y sanitarias	94
Análisis de vulnerabilidad poblacional frente al contagio de SARS-CoV-2 en el D.M.Q.	95
Análisis de la ubicación de establecimientos en función de la vulnerabilidad poblacional.....	100
Modelo cartográfico de análisis geoespacial para la distribución de vacunas contra el SARS-CoV-2.....	106

Geoformulario de personas inmunizadas contra el SARS-CoV-2.....	107
Dashboard de operaciones para la visualización de variables asociadas al análisis de la vulnerabilidad poblacional en el D.M.Q.	110
CAPÍTULO V.....	112
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	112
Conclusiones	112
Recomendaciones	115
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
ANEXOS	129

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Número de casos confirmados por prueba PCR en el año 2020</i>	27
Tabla 2. <i>Número de casos confirmados por prueba PCR en el año 2021</i>	28
Tabla 3. <i>Escala de juicio</i>	42
Tabla 4. <i>Asignación de pesos</i>	43
Tabla 5. <i>Componente Asentamientos Humanos</i>	53
Tabla 6. <i>Componente Económico</i>	54
Tabla 7. <i>Componente Sociocultural</i>	55
Tabla 8. <i>Componente Movilidad</i>	56
Tabla 9. <i>Componente Político Institucional</i>	56
Tabla 10. <i>Ejemplo de distribución de la población a nivel parroquial del D.M.Q. según el censo del año 2010</i>	58
Tabla 11. <i>Ejemplo de proyecciones de la población a nivel parroquial del D.M.Q.</i>	58
Tabla 12. <i>Densidad poblacional por parroquias del D.M.Q.</i>	58
Tabla 13. <i>Método de análisis espacial</i>	62
Tabla 14. <i>Análisis de cada variable según casos Fuzzy</i>	65
Tabla 15. <i>Valor de importancia asignado por variable del componente Asentamientos Humanos</i>	69

Tabla 16. <i>Matriz de comparaciones pareadas del componente Asentamientos Humanos</i>	69
Tabla 17. <i>Pesos de Saaty del componente Asentamientos Humanos</i>	70
Tabla 18. <i>Valor de importancia asignado por variable del componente Sociocultural</i>	70
Tabla 19. <i>Matriz de comparaciones pareadas del componente Sociocultural</i>	71
Tabla 20. <i>Pesos de Saaty del componente Sociocultural</i>	71
Tabla 21. <i>Valor de importancia asignado por variable del componente Movilidad</i>	72
Tabla 22. <i>Matriz de comparaciones pareadas del componente Movilidad</i>	72
Tabla 23. <i>Pesos de Saaty del componente Movilidad</i>	73
Tabla 24. <i>Pesos de las variables de estudio</i>	73
Tabla 25. <i>Número de personas beneficiadas por establecimiento según área de influencia</i>	90
Tabla 26. <i>Barrios con altos niveles de vulnerabilidad, total de casos confirmados de COVID-19</i>	98
Tabla 27. <i>Nombre de los establecimientos escogidos en función de la vulnerabilidad poblacional</i>	102
Tabla 28. <i>Cantidad total de dosis necesarias por establecimiento</i>	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Área de influencia, D.M.Q.</i>	25
Figura 2. <i>Primer caso del análisis de Fuzzy</i>	39
Figura 3. <i>Segundo caso del análisis de Fuzzy</i>	40
Figura 4. <i>Tercer caso del análisis de Fuzzy</i>	40
Figura 5. <i>Ejemplo de la estructura jerárquica AHP</i>	44
Figura 6. <i>Ruta de menor costo desde el nodo 1 hacia el resto de nodos</i>	49
Figura 7. <i>Flujograma de la metodología aplicada</i>	52
Figura 8. <i>Primera parte del modelo cartográfico para la generación de un modelo de zonas vulnerables del D.M.Q.</i>	75
Figura 9. <i>Segunda parte del modelo cartográfico para la generación de un modelo de zonas vulnerables del D.M.Q.</i>	76
Figura 10. <i>Tercera parte del modelo cartográfico para la generación de un modelo de zonas vulnerables del D.M.Q.</i>	76
Figura 11. <i>Cuarta parte del modelo cartográfico para la generación de un modelo de zonas vulnerables del D.M.Q.</i>	77
Figura 12. <i>Quinta parte del modelo cartográfico para la generación de un modelo de zonas vulnerables del D.M.Q.</i>	77
Figura 13. <i>Población con vulnerabilidad alta, media y baja del D.M.Q.</i>	79

Figura 14. <i>Resumen de relaciones topológicas</i>	80
Figura 15. <i>Visualización de relaciones topológicas identificadas en ArcMap</i>	81
Figura 16. <i>Ejemplo de regla topológica “Must Not Overlap”</i>	81
Figura 17. <i>Ejemplo de regla topológica “Must Not Intersect”</i>	82
Figura 18. <i>Ejemplo de regla topológica “Must Not Have Dangles”</i>	82
Figura 19. <i>Ejemplo de regla topológica “Must Not Have Pseudo Nodes”</i>	83
Figura 20. <i>Ejemplo de regla topológica “Must Be Single Part”</i>	83
Figura 21. <i>Especificaciones del atributo de red</i>	84
Figura 22. <i>Evaluadores de la red</i>	84
Figura 23. <i>Ejemplo de la topología de red en la parroquia urbana Iñaquito</i>	85
Figura 24. <i>Ejemplo de la herramienta ubicación-asignación en la parroquia urbana Iñaquito</i>	87
Figura 25. <i>Ejemplo de la herramienta área de servicio en la parroquia urbana Iñaquito</i>	89
Figura 26. <i>Geodatabase del proyecto de investigación</i>	94
Figura 27. <i>Mapa de vulnerabilidad poblacional frente al contagio por SARS-CoV-2 en el D.M.Q.</i>	97
Figura 28. <i>Mapa del número de casos confirmados por parroquia en el D.M.Q.</i>	99

Figura 29. <i>Mapa de los establecimientos escogidos en función de la vulnerabilidad poblacional</i>	101
Figura 30. <i>Área de servicio de los establecimientos escogidos en función de la vulnerabilidad poblacional</i>	103
Figura 31. <i>Sección A de la Ficha de inmunización contra el SARS-CoV-2</i>	109
Figura 32. <i>Sección B de la Ficha de inmunización contra el SARS-CoV-2</i>	109
Figura 33. <i>Vista principal del Dashboard de variables asociadas al análisis de vulnerabilidad poblacional en el D.M.Q.</i>	110

RESUMEN

El Distrito Metropolitano de Quito se caracteriza por su posición estratégica de conectividad regional, nacional e internacional. No obstante, frente a la nueva realidad que trajo consigo la pandemia, se ha convertido en uno de los cantones con mayor índice de contagios. Por tal motivo, se propuso generar un modelo de análisis geoespacial para la distribución de vacunas contra el SARS-CoV-2 en el D.M.Q., mediante el empleo de herramientas geo-informáticas, lo cual implica interrelacionar variables demográficas, infraestructura, sanitarias, socioeconómicas y de movilidad a través de un Sistema de Información Geográfica (S.I.G), a fin de obtener un modelo de vulnerabilidad poblacional e identificar los potenciales establecimientos que pueden ser adaptados como centros de vacunación, para brindar una máxima cobertura de inmunización a la población quiteña. Como resultado, se identificó 10 parroquias altamente vulnerables, 17 posibles centros de vacunación y la cantidad de dosis que deberán ser asignadas a cada centro, para mejorar la gestión de recursos sanitarios y la logística del actual plan de vacunación. Además, se propone una metodología que puede ser mejorada al incluir otro tipo de variables geoespaciales, un geoformulario cuya estructura es amigable con el usuario y un dashboard de operaciones del D.M.Q.

PALABRAS CLAVE:

- **SARS-COV-2.**
- **SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG).**
- **VULNERABILIDAD POBLACIONAL.**
- **GEOFORMULARIO.**
- **DASHBOARD DE OPERACIONES.**

ABSTRACT

Metropolitan District of Quito is characterized by its strategic position of regional, national and international connectivity. However, faced with the new reality brought about by the pandemic, it has become one of the cantons with the highest rate of contagion. For this reason, it was proposed to generate a geospatial analysis model for the distribution of vaccines against SARS-CoV-2 in the D.M.Q., through the use of geo-informatics tools, which involves interrelating demographic, infrastructure, health, socioeconomic and mobility variables through a Geographic Information System (G.I.S.), in order to obtain a population vulnerability model and identify potential establishments that may be suitable as vaccination centers, to provide maximum immunization coverage to the population of Quito. As a result, 10 highly vulnerable parishes, 17 potential vaccination centers and the number of doses to be assigned to each center were identified in order to improve the management of health resources and the logistics of the current vaccination plan. In addition, a methodology is proposed that can be enhanced by including other types of geospatial variables, a geoformulary whose structure is user-friendly and an operations dashboard of the D.M.Q.

KEYBOARDS:

- **SARS-COV-2.**
- **GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS (GIS).**
- **POPULAR VULNERABILITY.**
- **GEOFORM.**
- **OPERATIONS DASHBOARD.**

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

Antecedentes

En diciembre del 2019, la República Popular China reportó un conjunto de casos de neumonía de origen desconocido, seguidamente determinados el 9 de enero de 2020 como casos provocados por un nuevo coronavirus (Organización Panamericana de la Salud, 2020a). Los coronavirus son una extensa familia de virus, que causan diversos síntomas que van desde un resfriado común hasta afecciones más severas, como ocurre con el coronavirus MERS-CoV, que causó el síndrome respiratorio de Oriente Medio y el coronavirus SARS-CoV, causante del síndrome respiratorio agudo grave (Ministerio de Salud Pública, 2020). Al nuevo virus se lo identificó como Coronavirus SARS-CoV-2 y la enfermedad que provoca se denominó COVID-19 (Trilla et al., 2020).

El 29 de febrero del 2020, el Ministerio de Salud Pública del Ecuador (MSP) anuncia la presencia del primer caso confirmado de COVID-19; de manera consecuente, el 11 de marzo mediante Acuerdo Ministerial No. 00126-2020, la Ministra de Salud establece el Estado de Emergencia Sanitaria en el Sistema Nacional de Salud (Ministerio del Gobierno, 2020). No obstante, la realidad de las provincias ha sido cambiante a lo largo de la pandemia, ya que Guayas empezó como la más afectada hasta mayo del 2020, mes en el que la curva epidemiológica descendió; mientras que, en Pichincha sucedió todo lo contrario, pues a finales de junio se dispararon los contagios por COVID-19. Cabe resaltar que esto no implica que los escenarios actuales se vayan a mantener, pues la carencia de información sobre la dinámica de contagio dificulta anticiparse al curso de propagación del nuevo virus.

Según las cifras oficiales actualizadas del MSP, en Pichincha hasta el 9 de abril del 2021 se han confirmado 118.927 contagios, equivalente al 34.7% a escala nacional (Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias, 2021b), además de los ocho cantones que conforman la provincia, Quito registra 109.896 casos confirmados. Por otro lado, frente a la creciente preocupación por la rapidez de contagios, el COE provincial se propuso adoptar medidas necesarias para evitar la propagación del virus, destacando que la medida fundamental es la prevención, donde los ciudadanos tienen una misión fundamental, quedarse en casa y cumplir con todas las recomendaciones y regulaciones impuestas por el Gobierno (Secretaría de Educación Superior, Ciencia, 2020).

Es en este contexto que el uso de sistemas de información geográfica (SIG) en Salud Pública permitirá a las autoridades sanitarias conocer cómo se extiende una enfermedad, estudiar su posible relación con un potencial foco de riesgo, o localizar un brote epidémico (Gómez et al., 2004). Además, resultan ser herramientas poderosas que son capaces de combinar datos de salud (mortalidad, morbilidad, características clínicas o patológicas, etc.) con datos demográficos (edad, género, distribución, etc.) y cualquier otra información que se considere relevante y necesaria para el desarrollo de un proyecto (Burstein, 2002). En conclusión, el abordaje de los problemas de la salud como la actual pandemia, debería contemplar el uso de herramientas geoespaciales como los SIG para determinar la variación en distribución y cobertura de las vacunas entre las poblaciones objetivo, cuantificar el número de personas inmunizadas y monitorear la tendencia del virus (Oppmann, 2020), cuyos resultados se transformarán en un material de apoyo para los tomadores de decisiones a fin de ejecutar los planes de distribución de vacunas en base a medidas que ayuden a disminuir el impacto negativo en la salud de la población.

Planteamiento del problema

En Ecuador, no se han realizado investigaciones a fin de emplear herramientas geoespaciales como medio de planificación para la logística de distribución de vacunas en territorio nacional. Por esta razón y en cierta medida no se están gestionando los recursos sanitarios de manera adecuada y, por tanto, no se han establecido medidas que permitan contener de forma parcial o total la propagación del SARS-CoV-2.

Por consiguiente, la aplicación de SIG supone un medio para comprender la organización espacial de la salud de la población y la distribución de servicios de salud (Passalent et al., 2013), por ende, es una herramienta vital que permitirá al estudio, desarrollar un modelo de análisis geoespacial para la distribución de vacunas que integre el análisis de variables demográficas, sanitarias, socioeconómicas y de movilidad que se complementen entre sí, y faciliten la toma de decisiones en los equipos de salud para las campañas de inmunización dirigidas a mejorar la salud de la población. En el caso de no generarse una metodología adecuada, no se conseguirá una distribución apropiada de vacunas para toda la población ecuatoriana.

Justificación e importancia

El Distrito Metropolitano de Quito es uno de los cantones más poblados de Ecuador, y se caracteriza por su posición estratégica de conectividad nacional e internacional; así como también, por ser un espacio referente que acoge a la institucionalidad pública, organismos culturales y comerciales (Barrera et al., 2012). No obstante, frente a la nueva realidad que trajo consigo la pandemia, se ha convertido en uno de los cantones con mayor índice de contagios, ya que, hasta el lunes 5 de abril del 2021, los datos oficiales registraron 108.054 casos confirmados, 2.298 fallecidos y 132 fallecidos por sospecha de COVID-19.

Es en este contexto que se propone desarrollar un modelo de análisis geoespacial que permita la distribución adecuada y rápida de vacunas dirigida a las personas que comprenden la Fase II y III del actual plan de vacunación de Ecuador, enfatizando en un enfoque espacial que permita una planificación sistemática y completa de toda la información disponible para llevar el proceso de manera organizada. Además, el modelo a desarrollar puede ser aplicado a cualquier plan de inmunización que tenga como objetivo la gestión de recursos sanitarios en el caso de atravesar por un evento similar a la actual pandemia.

La importancia de llevar a cabo este tipo de investigaciones es demostrar las múltiples ventajas que proporcionan los SIG frente a estos escenarios de riesgo epidemiológico; claro ejemplo se sitúa al inicio de la pandemia y a lo largo del 2020, en el que los líderes gubernamentales y sanitarios confiaron en las herramientas geo-informáticas para realizar paneles de visualización en tiempo real, permitir el intercambio de datos, análisis y planificación (Geraghty, 2020). También pueden ser fundamentales para ayudar a determinar el alcance geográfico de las poblaciones en riesgo, así como identificar grupos de personas vulnerables y determinar sitios estratégicos para el almacenamiento y la administración de vacunas (Khan et al., 2013).

Objetivos

Objetivo General

Generar un modelo de análisis geoespacial para la distribución de vacunas contra el SARS-CoV-2 en el Distrito Metropolitano de Quito, mediante el empleo de herramientas geo-informáticas que definan la cantidad de dosis asignadas a los centros de vacunación en beneficio de la comunidad.

Objetivos Específicos

- Recopilar y estructurar las variables demográficas, infraestructura, sanitarias, socioeconómicas y de movilidad relevantes al tema de estudio.
- Identificar las zonas con mayor vulnerabilidad frente al contagio de la población por SARS-CoV-2 en el Distrito Metropolitano de Quito.
- Analizar la ubicación de los centros de vacunación en función de la vulnerabilidad para la distribución de vacunas contra el SARS-CoV-2 dentro de la zona de estudio.
- Generar un modelo cartográfico que encadene geoprocesos que permitan la construcción del modelo geoespacial de distribución de vacunas contra el SARS-CoV-2.
- Diseñar un geo-formulario para el levantamiento de información de personas inmunizadas en una base de datos geoespacial que facilite el seguimiento del proceso de vacunación.

Metas

- Geodatabase de las variables demográficas, infraestructura, sanitarias, socioeconómicas y de movilidad recopiladas para el estudio.
- Reporte de zonas vulnerables identificadas en el DMQ.
- Mapa de los centros de vacunación para la distribución de vacunas en el DMQ.
- Modelo cartográfico de análisis geoespacial para la distribución de vacunas contra el SARS-CoV-2.
- Geo-formulario para el registro de información de personas inmunizadas.

Hipótesis

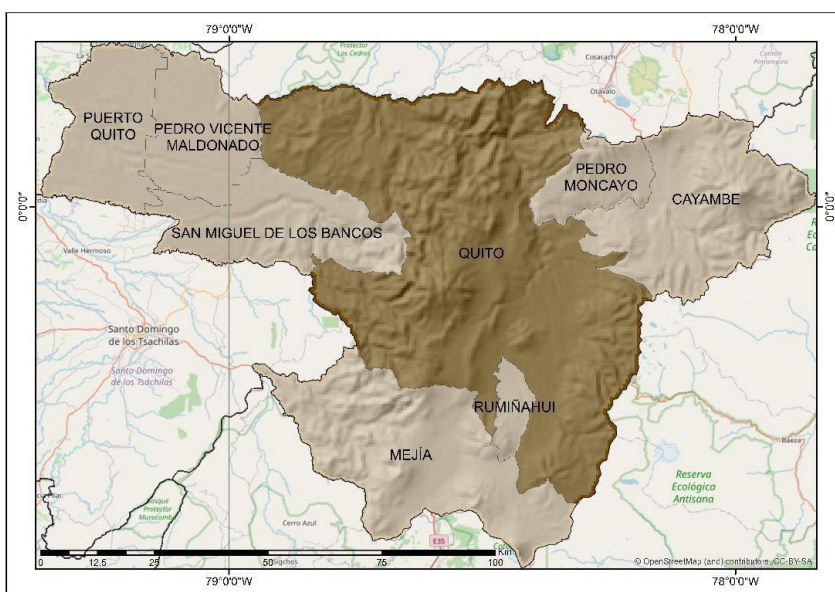
El análisis geoespacial de la distribución de vacunas contra el SARS-CoV-2 mediante el empleo de herramientas geo-informáticas permite mejorar la gestión de recursos sanitarios y la logística, en beneficio de la salud y bienestar ciudadano.

Área de influencia

El área de influencia es el Distrito Metropolitano de Quito (D.M.Q), capital de la República del Ecuador y de la provincia de Pichincha. Éste cantón limita al norte con la provincia de Imbabura; al Sur con los cantones Rumiñahui y Mejía; al Este con los cantones Pedro Moncayo, Cayambe y la provincia del Napo, y al Oeste con los cantones Pedro Vicente Maldonado, Los Bancos y la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas (Figura 1) (Gobierno Provincial de Pichincha, 2017). El D.M.Q. tiene una superficie de 4.183 km² y según la proyección poblacional del Instituto de Estadísticas y Censos (INEC), es el cantón con mayor número de habitantes.

Figura 1.

Área de influencia, D.M.Q.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Origen y características del Coronavirus SARS-CoV-2

El SARS-CoV-2 se considera un nuevo *Betacoronavirus* cuyo análisis filogenético indica que está estrechamente relacionado con dos coronavirus comparables al SARS procedentes de murciélagos capturados en 2018 en China y genéticamente distinto del MERS-CoV y SARS-CoV. En conjunto, estos hallazgos sugieren que los murciélagos podrían ser el huésped original del virus (Harapan et al., 2020).

Por otro lado, las manifestaciones clínicas de la infección por 2019-nCoV incluyen fiebre, tos seca, disnea, dolor torácico, fatiga y mialgia. No obstante, los síntomas pueden variar según el país y evolucionarán con el tiempo a medida que cambien las circunstancias epidemiológicas. Al igual que en MERS-CoV y SARS-CoV, todavía no existe un tratamiento antiviral específico para COVID-19 (Harapan et al., 2020; Tang et al., 2020)

El SARS-CoV-2 es claramente un virus grave de interés internacional, el cual, según algunas estimaciones tiene un alto índice de contagio en comparación al SARS (Liu et al., 2020). Al igual que el MERS-CoV y el SARS-CoV la interrupción de la transmisión se considera clave para detener la propagación del virus (Chan et al., 2015). Por ende, deben implementarse estrategias en el sector de atención de la salud a nivel local y mundial.

Evolución de la enfermedad por COVID-19 en Ecuador

El 29 de febrero del 2020 se confirmó el primer caso de COVID-19 en Ecuador; una mujer de 71 años que arribó el 14 de febrero en un vuelo proveniente de España, más adelante, el 13 de marzo del mismo año, se dio a conocer el deceso de la paciente cero (Santillan Haro, 2020), así como también, el incremento de casos en territorio nacional. Estos factores, desencadenaron una serie de acciones y medidas tomadas por el Gobierno, y demás entidades público-privadas.

En este contexto, el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (SNGRE), como entidad coordinadora de las emergencias del país, proporcionó información referente a la situación epidemiológica iniciada en marzo del año 2020 hasta la actualidad (Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias, 2021a). La Tabla 1 describe el número de casos confirmados y registrados a nivel nacional durante el año 2020; mientras que, la Tabla 2 detalla el número de casos confirmados hasta el viernes, 30 de octubre del presente año.

Tabla 1.

Número de casos confirmados por prueba PCR en el año 2020

Provincia /Fecha	13/3/20	31/3/20	30/4/20	31/5/20	30/6/20	31/7/20	31/8/20	30/9/20	31/10/20	30/11/20	31/12/20
Azuay	0	78	460	869	1762	3326	5454	8981	10604	11889	13557
Bolívar	0	15	133	312	648	1148	1441	1770	2104	2382	2527
Cañar	0	39	297	331	542	739	1321	1903	2109	2437	2804
Carchi	0	6	53	152	302	895	1935	2648	3042	3289	3629
Chimborazo	0	17	167	398	773	1425	2021	2271	2510	2845	3253
Cotopaxi	0	8	100	395	1092	2010	3002	3768	4556	5093	5655
El Oro	0	34	474	1094	2022	3181	4385	5523	6452	7367	8323

Esmeraldas	0	10	187	852	2084	3223	3543	3736	4226	4845	5044
Galápagos	0	5	68	76	88	103	109	198	227	628	918
Guayas	5	1615	10436	14061	15012	17517	18836	20387	22126	24336	27317
Imbabura	0	10	89	203	578	1476	2881	4012	4745	5407	6063
Loja	0	22	232	357	864	2553	4445	5396	6220	7011	7592
Los Ríos	11	80	693	1509	2269	2858	3273	3688	4000	4457	4899
Manabí	0	54	612	2235	4445	6488	8482	9751	11196	12905	14960
Morona Santiago	0	10	61	105	780	2011	2467	2714	2996	3282	3641
Napo	0	1	23	201	586	940	1153	1356	1438	1537	1668
Orellana	0	1	33	237	741	1323	1618	1731	1952	2064	2110
Pastaza	0	5	46	228	686	1376	1908	2145	2255	2338	2411
Pichincha	3	219	1420	3940	7220	14813	23898	39930	58995	69629	75465
Santa Elena	0	17	362	771	924	1148	1297	1484	1720	2140	2631
Santo Domingo de los Tsáchilas	0	18	202	1043	1997	3674	4505	4902	5274	5628	5914
Sucumbíos	1	27	42	110	413	1144	2257	2556	2754	2893	3009
Tungurahua	0	9	170	477	1022	2083	3348	4708	5114	6673	7453
Zamora Chinchipe	0	2	44	186	536	945	1232	1489	1577	1610	1669

Nota: estadísticas registradas por el (Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias, 2021a).

Tabla 2.

Número de casos confirmados por prueba PCR en el año 2021

Provincia /Fecha	31/1/21	28/2/21	31/3/21	30/4/21	31/5/21	30/6/21	23/7/21	6/8/21	3/9/21	30/10/21
Azuay	15998	17367	18879	21093	23088	24952	26413	27133	27933	28824
Bolívar	3045	3841	4980	5912	6477	6717	6849	6919	6998	7118
Cañar	3502	3911	6117	6896	7933	8542	9243	6352	6465	6617

Carchi	5074	5714	4472	5159	5601	5950	6271	9576	9783	9923
Chimborazo	4293	4997	5920	6951	7843	8474	8863	8988	9128	9232
Cotopaxi	7162	8127	9009	10241	11086	11490	11797	11920	12042	12202
El Oro	10497	12625	14986	18120	20533	21594	22517	23007	23516	23864
Esmeraldas	5453	6077	7020	7792	8311	8792	9325	9524	9723	9884
Galápagos	1247	1309	1346	1387	1441	1466	1473	1477	1484	1498
Guayas	31840	36351	42514	49991	57335	65059	67416	68170	69759	71498
Imbabura	7523	8618	9608	11602	13776	15018	16040	16544	17179	17608
Loja	9064	10345	12475	14838	16151	17045	17605	17869	18076	18297
Los Ríos	6057	7577	9286	11070	12200	12636	12873	12948	13049	13175
Manabí	17591	20529	25118	28739	30770	32072	32671	32932	33298	33844
Morona Santiago	4198	4384	4654	5294	5688	6027	6452	6622	6776	6899
Napo	1953	2186	2431	2773	3201	3512	3766	3817	3897	4036
Orellana	2198	2323	2506	2895	3210	3449	3584	3600	3648	3763
Pastaza	2520	2635	2740	2967	3165	3290	3475	3531	3598	3657
Pichincha	87656	100480	114664	134446	151432	163840	174118	179661	184670	191919
Santa Elena	3045	3365	3683	4088	4313	4406	4446	4477	4503	4571
Santo Domingo de los Tsáchilas	6783	7818	9241	10274	11187	11556	11873	12007	12114	12353
Sucumbíos	3241	3427	3892	4665	5169	5411	5664	5802	5927	6083
Tungurahua	9094	10216	11020	12044	13345	14293	15014	15313	15555	15945
Zamora Chinchipe	1794	1933	2194	2655	2782	2913	2972	2996	3025	3049

Nota: estadísticas registradas por el (Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias, 2021a).

Inicialmente, la provincia del Guayas fue la más afectada para el martes, 31 de marzo del 2020 con el mayor número de casos confirmados del país (Ver Tabla 1). No

obstante, al transcurrir el tiempo y de acuerdo a las estadísticas presentadas en la Tabla 2, el virus ha impactado de diferente manera en otras provincias, puesto que, hasta el sábado, 30 de octubre del 2021, Pichincha registró el mayor número de casos confirmados a nivel nacional. Por otro lado, aquellas provincias que registraron un bajo número de casos confirmados durante los primeros meses de pandemia, presentan en la actualidad, un aumento gradual de infectados (Ver Tabla 1 y Tabla 2). Cabe destacar, que el comportamiento del virus está sujeto al lugar en donde se origine el brote y el acceso al sistema de salud (Campoverde, 2020).

En cuanto a la tasa de letalidad del COVID-19 en Ecuador, la misma superó la media mundial a partir de la tercera semana de marzo 2020 (Parra & Carrera, 2021). Puesto que, según el estudio “Evolución de la COVID-19 en Ecuador”, provincias como El Oro, Guayas, Los Ríos, Manabí y Santa Elena registraron las tasas más altas de letalidad, al ser los primeros lugares en los que se propagó de forma exponencial el virus, dando paso al colapso de su sistema de salud.

Respecto a la tasa de mortalidad, según datos disponibles en el estudio “Evolución de la COVID-19 en Ecuador”, el país se encuentra sobre la media mundial, siendo entre los meses de marzo y abril del año 2020, en los que se produjo el mayor número de fallecidos a causa del nuevo virus (Parra & Carrera, 2021).

Actualmente, la situación epidemiológica a nivel nacional no se compara a la magnitud y gravedad de los primeros meses de pandemia, debido a que, frente a los escenarios que atravesaron ciudades capitalinas como Guayaquil y Quito, se han incrementado el número de camas hospitalarias y de cuidados intensivos para pacientes COVID-19 (Sacoto, 2021), estrategias, que tienen como objetivo reducir la morbilidad y mortalidad por esta enfermedad en los ecuatorianos.

Geo epidemiología

La geo epidemiología o epidemiología geográfica puede definirse como el estudio y descripción de los diversos patrones espaciales de morbilidad y mortalidad, a fin de establecer hipótesis sobre la etiología de las enfermedades (Rezaeian et al., 2007).

Otros autores definen a la geo epidemiología como la descripción y análisis de datos sanitarios indexados geográficamente a datos demográficos, ambientales, socioeconómicos, genéticos y factores de riesgo infecciosos (Luque Fernandez, 2018). Además, se lo considera como una disciplina de la epidemiología, encargada de describir y comprender la variación espacial de riesgo de enfermedades, especialmente en áreas pequeñas (Freier, 2007).

Se puede identificar distintas ramas según las necesidades de los especialistas en salud pública y los epidemiólogos, en el análisis de la etiología de las enfermedades. Entre los métodos geo epidemiológicos en áreas pequeñas, predominan (Lawson et al., 1999):

Mapeo de enfermedades

El mapeo de enfermedades proporciona un resumen visual de información geográfica compleja, en la que se puede identificar patrones en los datos. Es importante resaltar, que este método se lo utiliza con fines descriptivos, para (Elliott & Wartenberg, 2004; Wilkinson et al., 1997):

- Generar hipótesis sobre la etiología.
- Destacar áreas de alto riesgo.
- Ayudar a la formulación de políticas y asignación de recursos.

- Identificar grupos de enfermedades específicas y resultados de estudios de fuentes puntuales.

A pesar de que los mapas de enfermedades se caracterizan por ser atractivamente visuales e intuitivos, se debe tener cuidado en la interpretación de información, ya que los patrones pueden ser malinterpretados dependiendo de la representación de la variable cartografiada y la escala de trabajo (Elliott & Wartenberg, 2004).

Estudios de correlación geográfica

Los estudios de correlación geográfica permiten examinar variaciones geográficas entre grupos de población frente a su exposición a variables ambientales (suelo, agua, aire), medidas demográficas y socioeconómicas, o factores de estilo de vida (Elliott & Wartenberg, 2004). Por otro lado, se asume que estos estudios generan hipótesis tomando en consideración el grupo geográfico en lugar del individuo, por ende, es necesario realizar validaciones y replicación de la metodología a nivel individual (Elliott & Wartenberg, 2004; Piantadosi et al., 1988).

Agrupación y vigilancia de enfermedades

Este método permite analizar aquellas enfermedades que ocurren con un patrón espacial no aleatorio. Además, la agrupación y vigilancia de enfermedades es similar al método “mapeo de enfermedades”, ya que se aplican las mismas consideraciones de análisis, particularmente en lo que respecta a la calidad de datos (Elliott & Wartenberg, 2004).

Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Un SIG se define como un conjunto de datos, técnicas y procesos desarrollados para actuar de manera lógica y coordinada para almacenar, examinar, transformar y presentar toda la información geográfica y sus atributos con el propósito de satisfacer múltiples propósitos (Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, 2006). De la misma forma, AEROTERRA (2021) detalla que un SIG combina diversos tipos de información, de manera que revela minuciosamente el conocimiento en los datos como el comportamiento, patrones y relaciones a fin de ayudar a los usuarios a tomar decisiones más inteligentes.

Base de datos geográfica

Una base de datos geográfica corresponde a la estructura de datos nativa del software ArcGIS y es el formato de datos central que se emplea para la gestión y análisis de datos. Además, las geodatabases vienen en diferentes tamaños acorde al número de usuarios, presentándose así bases de datos pequeñas de un solo usuario hasta geodatabases corporativas y de grupos de trabajo más grandes a las que acceden una cantidad considerable de usuarios (ESRI, s. f.-d).

Por otro lado, una geodatabase se emplea como soporte para la adopción y ejecución de servicios geográficos vinculados con las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE), y su contenido es la base fundamental en los procesos de generación cartográfica (Instituto Geográfico Nacional de España, s. f.).

SIG en salud pública

La aplicación de SIG en salud pública ofrece múltiples ventajas, ya que en muchos países estos recursos son imprescindibles para afrontar las problemáticas

relacionadas a enfermedades epidemiológicas. Por otro lado, los SIG se pueden usar de diversas formas para mostrar visualmente el uso de los servicios de salud, así como para tener en cuenta los factores relacionados con las limitaciones de ubicación que pueden impedir que una persona obtenga la debida atención médica, por tanto, el uso de este tipo de herramientas supone una promesa para mejorar la distribución de recursos sanitarios e identificar las brechas en los servicios (Musa et al., 2013).

Además, los SIG en el sector de salud, permiten describir el comportamiento epidemiológico de una determinada enfermedad, así como, su distribución geográfica y factores que se encuentran relacionados a su aparición (Mejía, 2019), convirtiéndose en la principal herramienta que facilita los procesos de monitoreo, análisis de información y toma de decisiones respecto al fenómeno salud-enfermedad (Molina, 2001).

En la investigación y análisis de políticas sanitarias existen tres funciones importantes de los SIG, siendo (Bindu & Janak, 2012):

- Gestión de bases de datos espaciales. Incluye la vinculación, integración y edición de diversos datos de carácter sanitario, social, medioambiental, entre otros. Además, los datos espaciales en conjunto a los de tipo epidemiológico, permiten el análisis de las variables que desempeñan un papel importante en la transmisión de enfermedades. Por otro lado, la integración de datos es importante en la planificación de políticas sanitarias y toma de decisiones.
- Visualización. Es una poderosa herramienta que permite mostrar la variación de los patrones de la enfermedad a lo largo del tiempo, puesto que, determina la distribución geográfica, la prevalencia e incidencia de enfermedades. Además, la visualización y cartografía permite a los políticos comprender fácilmente los

problemas respecto a los recursos para gestionarlos de forma eficaz y organizada.

- Análisis espacial. Comprende diversos métodos y procedimientos desarrollados en la geografía, estadística y otras disciplinas para analizar y relacionar información espacial, es decir que, cuando aparece una enfermedad, los SIG pueden representar la información y analizar su propagación de forma dinámica.

Análisis espacial

Se lo define como el estudio y revisión que establece las características, funcionamiento y dinamismo de diferentes procesos en un determinado espacio; definiendo a los elementos que lo componen y la manera en que se vinculan con la finalidad de poder convertir los datos iniciales en información útil (Ojeda & Tovar, 2016). Además, el análisis espacial es un aspecto sobresaliente del software comercial ArcGIS, pues su objetivo es generar información a partir de datos existentes de forma que permita una mejor toma de decisiones (ESRI, s. f.-k).

Es en este contexto que el análisis espacial permite solventar problemas complejos relacionados con la ubicación, búsqueda de patrones y evaluación de tendencias (ESRI, s. f.-h), ya que es un proceso en el que se abordan los problemas desde el ámbito geográfico, obteniéndose resultados mediante procedimientos informáticos (Analytics-ESRI, 2018). Este tipo de análisis ha demostrado ser muy eficaz para evaluar la idoneidad geográfica de determinadas ubicaciones para fines específicos, estimar y predecir resultados, interpretar y comprender cambios, y un sinnúmero de aplicaciones acorde a la variable sometida a estudio.

Densidad de puntos

Point Density es una herramienta disponible en el software ArcGIS que se encarga de calcular la densidad de entidades puntuales en torno a cada celda ráster de salida. Técnicamente, divide una cantidad de puntos ubicados en un área de búsqueda para el tamaño definido del área de búsqueda, y así obtener el valor de densidad de cada celda (ESRI, s. f.-a).

Dispone, de una configuración para el campo *Field Population*, el cual al ser distinto a la opción *NONE*, automáticamente procede a determinar el número de veces que se va a tomar en cuenta la entidad puntual. Por otro lado, definir un valor en el campo *Neighborhood*, no cambia en gran medida los valores de densidad calculados, ya que según ESRI (s.f.-a) el número de puntos será dividido por un área más grande y se obtendrá como resultado un ráster más generalizado.

Ponderación de distancia inversa (IDW)

La interpolación IDW es un método determinístico que estima valores mediante una combinación ponderada linealmente de un conjunto de datos, es decir, las observaciones más cercanas a las ubicaciones no muestreadas reciben un peso más grande, mientras que las observaciones más distantes, tienen una baja influencia en la predicción (Aspexit, s. f.; ESRI, s. f.-b).

Este método es recomendable para bases de datos pequeñas, así como también cuando la distancia de muestreo es grande (Kravchenko, 2003; Villatoro et al., 2008). Por otro lado, el peso atribuido a cada observación es controlado mediante un parámetro de potencia, a menudo denominado p , el cual permite determinar la importancia de las observaciones en función de la distancia a partir del punto de salida (ESRI, s. f.-i).

En ArcGIS, es habitual utilizar esta herramienta al limitar el número de observaciones mediante un vecindario de búsqueda definido, ya que el tamaño del área restringe la distancia y el lugar en el que se buscarán los valores medidos que se emplearán en la predicción (ESRI, s. f.-b).

Distancia euclidiana

En matemáticas, se define como la distancia en línea recta comprendida entre dos puntos en un espacio n-dimensional (GRAPH, s. f.). Su fórmula (Ver Ecuación 1) se basa en la aplicación del Teorema de Pitágoras acerca de los triángulos rectángulos, en la que este tipo de distancia sería la longitud de la hipotenusa de un triángulo recto (EcuRed, 2012).

$$d(p, q) = \sqrt{(p_1 - q_1)^2 + p_2 - q_2)^2 + \dots + p_i - q_i)^2} \quad Ec. (1)$$

En ArcGIS, la distancia se calcula a partir del centro de la celda de origen hasta el centro de cada celda más cercana. Esta herramienta se usa con mayor frecuencia para aplicaciones independientes como por ejemplo la búsqueda del hospital más cercano para el abastecimiento inmediato de suministros médicos (ESRI, s. f.-e).

Normalización estadística

La normalización se lleva a cabo al emplear un algoritmo o fórmula que permita transformar medidas expresadas en distintas escalas a una escala en común, a razón de que las variables puedan ser analizadas bajo un mismo modelo estadístico (Comisión Económica para América Latina y el Caribe - CEPAL, s. f.).

Generalmente, se busca ajustar los valores originales a una escala comprendida en un rango [0,1] acorde a la siguiente fórmula (Gil et al., 2014).

$$N'_{xy} = \frac{N_{xy} - \min_y}{\max_y - \min_y} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde N'_{xy} es el valor x transformado del conjunto de datos y ; N_{xy} es el valor x original del conjunto de datos y ; \min_y corresponde al valor mínimo; \max_y al valor máximo del conjunto de datos y .

Lógica difusa

Esta técnica permite trabajar de manera simultánea con términos lingüísticos y datos numéricos, no obstante, los términos lingüísticos resultan ser menos precisos que los datos numéricos, pero en muchas ocasiones proporcionan información más útil que el razonamiento humano (Andocilla et al., 2012).

Por otro lado, la idea tras esta técnica es determinar en qué grado $\in [0, 1]$ una variable X es cierta, denominándose a dicho grado de certeza como *grado de pertenencia*, aunque en otros apartados se le denomina *posibilidad*, y en este caso se suele hacer énfasis en la diferencia entre probabilidad (frecuencia con que se repite una observación en un conjunto de medidas) y posibilidad (grado de pertenencia de una observación a un conjunto difuso) (Quantdare, 2014).

En resumen, la teoría de lógica difusa provee una base matemática para comprender los problemas de decisión y para establecer reglas en combinación y evaluación de criterios (Gutiérrez & Jegat, 2005).

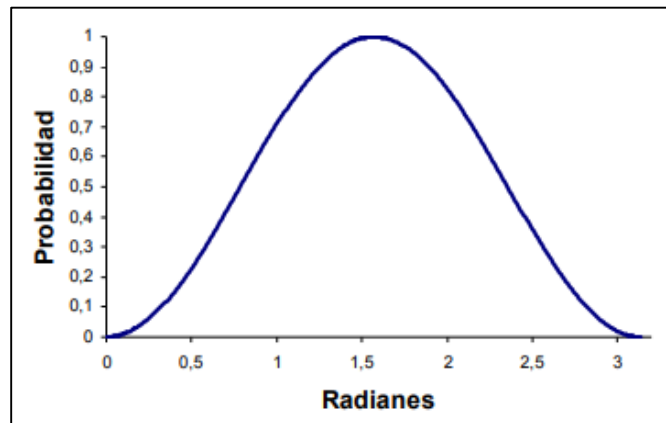
La función de pertenencia a emplearse dependerá del análisis y selección del caso particular de la variable que interactúa con el fenómeno o evento sometido a estudio, para ello se contemplan tres casos (Andocilla et al., 2012):

a) *Caso 1*

La probabilidad de presencia del fenómeno o evento en estudio crece desde 0 hasta un punto máximo 1 y posteriormente decrece nuevamente a 0 (Figura 2). Se emplea la función seno en un rango de 0° a 180° (0 a π).

Figura 2.

Primer caso del análisis de Fuzzy



Nota: se obtuvo de (Carranza, 2008).

b) *Caso 2*

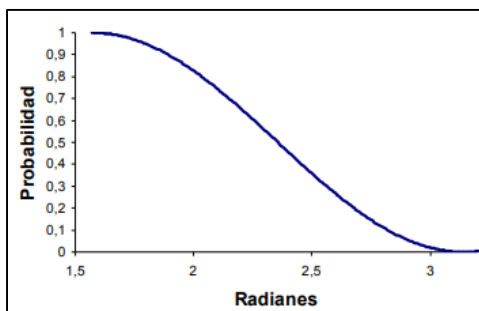
Los casos a encontrar son aquellos donde la probabilidad de ocurrencia es inversamente proporcional al evento analizado (Figura 3). Se emplea la función coseno en un rango de 0° a 90° (0 a $\pi/2$). A continuación se presenta la fórmula (Andocilla et al., 2012):

$$P = \cos\left(\frac{\pi}{2} * N\right) \quad 0 \leq P \leq 1 \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde N representa la variable estadísticamente normalizada.

Figura 3.

Segundo caso del análisis de Fuzzy



Nota: se obtuvo de (Carranza, 2008).

c) *Caso 3*

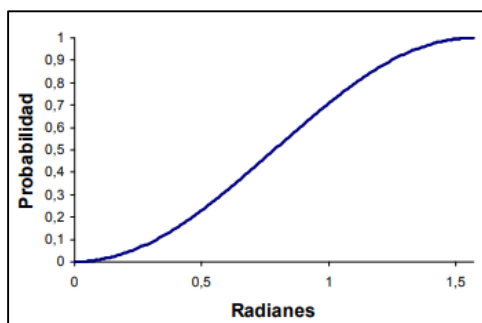
Los casos a encontrar son aquellos donde la probabilidad de ocurrencia es directamente proporcional al evento analizado (Figura 4). Se emplea la función seno en un rango de 0° a 90° (0 a $\pi/2$). A continuación se presenta la fórmula (Andocilla et al., 2012):

$$P = \text{sen}\left(\frac{\pi}{2} * N\right) \quad 0 \leq P \leq 1 \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde N representa la variable estadísticamente normalizada.

Figura 4.

Tercer caso del análisis de Fuzzy



Nota: se obtuvo de (Carranza, 2008).

Evaluación multicriterio (EMC)

La EMC ofrece un conjunto de procedimientos y herramientas para modelar la realidad territorial. Sin embargo, se debe sustentar claramente la selección de criterios que se usarán en la evaluación para modelar un problema ambiental, socioeconómico, técnico o institucional (Manzano et al., 2019).

Por otro lado, resulta ser un instrumento analítico que se emplea para encontrar la mejor solución en un conjunto de posibilidades, y a su vez facilita la integración de variables determinantes o de aptitud (Villacreses, 2019). Mediante este método, se asigna un peso a cada variable con la finalidad de proporcionarle un nivel de importancia, cabe destacar que el proceso de asignación de pesos se debe hacer con cautela a fin de prevenir el sesgo o conseguir una respuesta inadecuada (Pacheco & Contreras, 2008).

Adicionalmente, en la aplicación de las técnicas de EMC se combinan y valoran simultáneamente criterios (base para la toma de decisión). Estos se componen de factores, aspectos que pueden fortalecer o debilitar los criterios mediante el manejo de sus atributos (variables) dentro de reglas específicas de decisión y valoración (Barredo, 1998). Para formar una estructura de este tipo es necesario diseñar un proceso que parte de acotar el objetivo de la evaluación.

Posterior, el proceso se centra en determinar los criterios relevantes para el objetivo, y la importancia relativa que tiene cada uno de los criterios para proceder a su medida y efectuar su valoración. Es en este orden, que habrá que identificar las variables del territorio indicativas de cada factor, y de cada criterio, y la forma adecuada para su medida (Benjamín et al., 2013).

La Tabla 3 describe la escala numérica propuesta por Saaty y Vargas en 1991, esta escala permite establecer la preferencia o importancia de alternativas en la matriz de comparaciones pareadas, además, dichas comparaciones pueden estar basadas en experiencias o análisis previos, de modo que se puede concluir en una homogeneidad y grado de certeza en cada comparación.

Tabla 3.

Escala de juicio

Escala numérica	Definición	Explicación
1	Igual importancia.	Los dos elementos contribuyen igualmente a la propiedad o criterio.
3	El elemento es moderadamente más importante respecto al otro.	El juicio y la experiencia previa favorecen a un elemento frente al otro.
5	El elemento es fuertemente más importante respecto al otro.	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente al otro.
7	La importancia del elemento es muy fuerte respecto al otro.	Un elemento domina fuertemente.
9	La importancia del elemento es extrema respecto al otro.	Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud posible.
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes.	
Incrementos 0,1	Valores intermedios entre incrementos (utilice esta escala si cree que su valoración necesita un alto grado de precisión).	
Inversos $\frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \frac{1}{5}, \frac{1}{6}, \frac{1}{7}, \frac{1}{8}, \frac{1}{9}$	Se utiliza cuando el segundo elemento es mayor en el criterio a comparar.	

Nota: se obtuvo de (Mendoza et al., 2019; Saaty & Vargas, 2001).

En la Tabla 4 se puede observar, a manera de ejemplo, el procedimiento al asignar los pesos en una matriz de 2x2, al asignar un peso a_{xy} en la comparación del elemento x con el elemento y , entonces se asignará un valor $a_{yx} = 1/a_{xy}$ al comparar el elemento y con x .

Tabla 4.

Asignación de pesos

Variables	x	y
x	$a_{xx} = 1$	a_{xy}
y	$1 / a_{xy}$	$a_{yy} = 1$

De este proceso se calcula el vector principal $A=(a_{xy})$, donde a_{xy} corresponde a los pesos obtenidos a través de un método determinístico de algebra lineal. Llegado a este punto, si el número de elementos es n , el método demuestra matemáticamente que n será el auto valor máximo ($\lambda_{máx}$), es así que se puede comprobar la consistencia de los valores de importancia establecidos por el decisor al comparar el valor de $\lambda_{máx}$ con n , que en el caso de demostrar ser consistentes, habrán de ser iguales (González et al., 2003; Padrón & Montilla, 2013). Definiéndose así el “índice de consistencia” (Ver Ecuación 5) como:

$$IC = \frac{\lambda_{máx} - n}{n - 1} \quad Ec. (5)$$

A partir del índice de consistencia, se procede a calcular la “razón de consistencia” (Ver Ecuación 6) en el que se establece que el juicio será consistente si el valor obtenido es inferior a 0.1 (González et al., 2003). El índice de consistencia aleatorio representa el índice de una matriz recíproca generada a partir de una escala de 1 a 9 (Saaty & Vargas, 2001).

$$\text{Razón de consistencia} = \frac{IC}{\text{índice de consistencia aleatorio}} \quad \text{Ec. (6)}$$

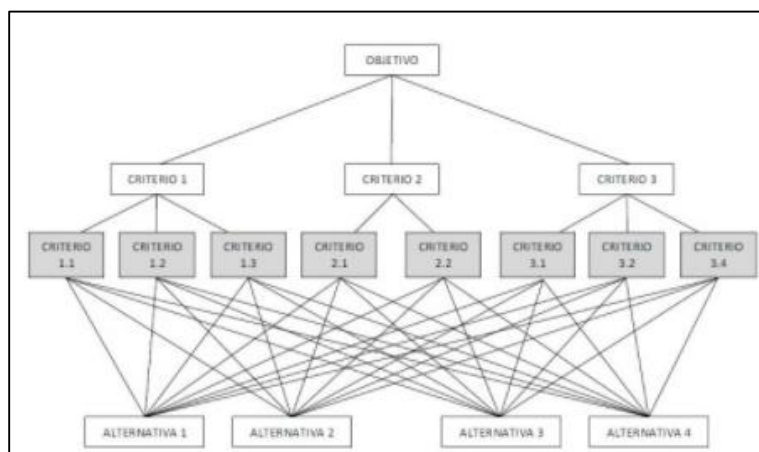
Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

El AHP es un método que determina alternativas en función de una serie de variables o criterios jerarquizados, que suelen entrar en conflicto. Por otro lado, es una estructura jerárquica que ubica al objetivo final en el nivel más elevado, mientras que los criterios y subcriterios en niveles inferiores (Figura 5). Para que este método sea eficaz, es indispensable elegir adecuadamente los criterios y subcriterios, pues éstos deberán ser relevantes y mutuamente excluyentes (Yepes, 2018).

Dado que el diseño del método AHP está basado en un modelo jerárquico, se deben identificar el objetivo o foco, criterios, subcriterios y alternativas (Benjamín et al., 2013), ya que está basado en la comparación binaria entre elementos, asignación de pesos, ranking de alternativas acorde a los pesos dados y análisis de sensibilidad (Toskano, 2005).

Figura 5.

Ejemplo de la estructura jerárquica AHP



Nota: se obtuvo de (Yepes, 2018)

Las ventajas de la metodología AHP engloba la definición del problema que se desea resolver, la identificación de criterios discriminantes en la toma de decisiones, trabajo con un equipo multidisciplinario, estructuración de criterios y subcriterios en una jerarquía, determinación de la importancia de cada criterio en términos de ponderaciones y la obtención de un resultado consensuado (Benjamín et al., 2013).

Análisis de regresión

Son técnicas estadísticas que permiten evaluar la relación existente entre dos o más variables. En el contexto de la problemática se identifica la variable dependiente y la variable independiente, para posteriormente realizar los cálculos para sustituir en las fórmulas correspondientes y obtener la ecuación de regresión (Martínez & Salazar, 2019). Existen tres razones principales por las cuales se emplea el análisis de regresión (ESRI, 2020):

- Modelar un fenómeno determinado para entenderlo mejor y tomar decisiones sobre las medidas apropiadas a aplicar, pues el objetivo es medir la extensión que cambia en una o más variables que en conjunto afectan los cambios en la otra.
- Modelar un fenómeno determinado para prever valores en otra temporalidad o localidad, tendiendo como objetivo crear un modelo de predicción coherente.
- Se puede emplear las técnicas de análisis de regresión para estudiar y comprobar hipótesis.

Topología

Es una rama de la matemática enfocada al estudio de relaciones espaciales entre entidades, haciendo especial énfasis en conceptos de colinealidad, contigüidad, adyacencia, conectividad y proximidad (Stewart, 1995). Además, la topología

comprende una colección de reglas que junto a herramientas y procedimientos de edición en ArcGIS, permite encontrar geometrías coincidentes en las entidades de tipo punto, línea o polígono, conociendo así, la integridad de la información y coherencia de las capas (ESRI, s. f.-j).

En ArcGIS, la topología se almacena en una geodatabase en la que se especifican los siguientes parámetros (ESRI, s. f.-m):

- Nombre de la topología que se generará.
- Tolerancia de clúster empleada en las operaciones de procesamiento topológico.
- Listado de Feature Classes participantes en la topología. Todos los Feature Classes deberán estar en un solo sistemas de coordenadas y dentro del mismo Feature Dataset.
- Rango de precisión relativa referente a las coordenadas de los Feature Classes. Esto se empleará en la integración y validación topológica.
- Listado de reglas topológicas que serán definidas de acuerdo a la entidad con la que se esté trabajando.

La topología representa un requisito fundamental SIG para la administración de datos ya que se emplea principalmente para garantizar la calidad e integridad de los datos, así como también, de las relaciones espaciales entre entidades (ESRI, s. f.-j).

Análisis de redes

El análisis de redes es uno de los campos de aplicación más importante en los SIG, debido a la información geográfica que analiza y maneja, es decir, el movimiento de personas, la distribución de servicios o recursos, las redes de carreteras, redes de telecomunicaciones, entre otros que representan el continuo flujo e intercambio de un

sistema constituido por relaciones. En ArcGIS dichas relaciones se modelan como redes geométricas (Barrientos Martínez, 2007; Luaces & Naveiras, 2007).

Al evaluar el comportamiento de una red vial, es necesario tomar en cuenta dos conceptos clave correspondientes al tiempo y la distancia. El factor tiempo es uno de los más complejos de analizar en los modelos de redes, ya que constituye uno de los evaluadores de desempeño más precisos, además, depende de variables asociadas a las características de los automóviles, congestión vehicular, normativas que regulan la velocidad, entre otros. Por otro lado, el factor distancia permite evaluar de manera más rápida el flujo de la red ya que no depende de otras variables (Barrientos Martínez, 2007).

Las organizaciones públicas y privadas pueden verse beneficiadas de las funcionalidades que ofrece la extensión Network Analyst debido a que proporciona una guía para ejecutar sus actividades de forma más organizada y eficaz. Por ejemplo, se puede realizar un análisis de la dinámica de mercados actuales y potenciales, al conocer quién accede a sus servicios o bienes (ESRI, s. f.-c).

Área de servicio

La herramienta Service Area permite identificar áreas de servicio situados en torno a cualquier ubicación al interior la red. Además, es posible definir un rango de impedancia determinado para limitar la región de búsqueda que abarque las calles accesibles (Barrientos Martínez, 2007; ESRI, s. f.-l).

En el análisis de redes se entiende por accesibilidad a la facilidad para movilizarse a cualquier lugar, este parámetro puede ser medido en términos de distancia, tiempo de viaje o algún otro tipo de impedancia. Como ejemplo, una de las ventajas de evaluar la accesibilidad es que permite determinar la conveniencia de

desplazar o ubicar un negocio en particular, o también identificar el tipo de instalaciones cercanas en las que pueden basarse las estrategias de marketing (ESRI, s. f.-l)

Ubicación y asignación

Esta herramienta considera uno de los factores más importantes correspondiente a la ubicación, el cual conduce al éxito de una empresa sea del sector privado o público (ESRI, s. f.-l). Su aplicación comprende que se disponga de información referente a organizaciones que proporcionen servicios y bienes, y a su vez de un conjunto de clientes o puntos de demanda.

Es importante resaltar que la herramienta dispone de siete tipos de problemas para encontrar una ubicación en particular, es decir, el usuario puede minimizar la impedancia, minimizar el número de instalaciones, definir una cuota de mercado objetivo o maximizar la misma, maximizar la asistencia, maximizar la cobertura o maximizar una cobertura capacitada. La finalidad de estas opciones es encontrar las instalaciones que provean con eficiencia al punto de demanda.

Algoritmo de Dijkstra

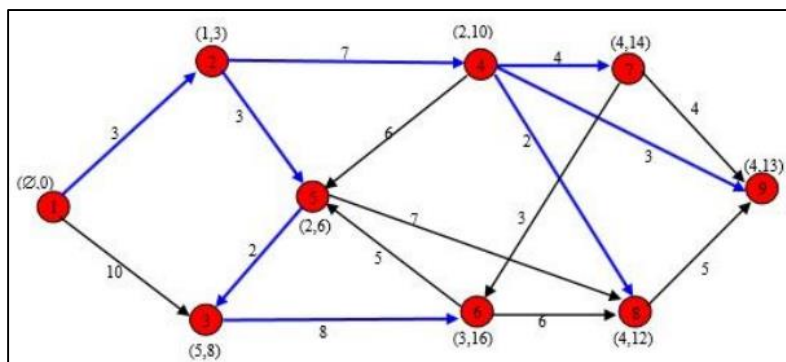
Es un algoritmo informático que permite definir el camino de coste mínimo de un vértice m a otro n , es decir, determina el camino más corto dado un nodo de origen al resto de nodos de una red (Figura 6). El algoritmo fue nombrado en honor al científico holandés Edsger Dijkstra quién lo diseñó en 1959 (Javaid, 2013; Sánchez & Lozano, s. f.)

El algoritmo se fundamenta en el principio de optimalidad, si la ruta de menor distancia entre los nodos m y n pasa por el nodo p , entonces la parte de la ruta que va de p - n debe ser la ruta más corta entre todos los caminos que van de p - n . De esta

forma, se construye de manera iterativa las rutas o caminos de menor distancia (coste mínimo) desde un nodo origen hasta cada uno de los nodos de la red (Sánchez & Lozano, s. f.).

Figura 6.

Ruta de menor costo desde el nodo 1 hacia el resto de nodos



Nota: se obtuvo de (Javaid, 2013).

Es importante tener en consideración que el algoritmo trabaja solo con pesos positivos, ya que se suman los pesos de los bordes para encontrar la ruta más corta. Si se establecen pesos negativos el algoritmo no funcionará correctamente (Javaid, 2013).

Vulnerabilidad

La vulnerabilidad es un concepto universal que está relacionada con varias disciplinas, no obstante, basado en la revisión de la literatura se lo puede definir como la falta -o disminución- de la capacidad de un individuo o grupo para anticipar, resistir y recuperarse del impacto de una amenaza natural o provocada por el ser humano (International Federation of Red Cross, 2021). En este mismo sentido González (2015) sugiere que la vulnerabilidad hace referencia a la falta de preparación y capacidad necesaria para potenciar la calidad de vida y acceder a diferentes servicios y bienes.

Según Karaye & Horney (2020) los impactos negativos de la pandemia en la población socialmente vulnerable se han explicado en parte por las desigualdades endémicas, así como por los ingresos, educación, nutrición, transporte, vivienda, empleo, el medio ambiente y el estrés psicosocial, mismos que contribuyen a la mala salud. Al mismo tiempo, informes recientes sobre morbilidad y mortalidad causada por COVID-19 han indicado una carga más alta entre las minorías étnicas, los pobres, adultos mayores y las personas con bajo nivel educativo (Wadhera et al., 2020).

Modelo de distribución

Un modelo de distribución debe poder entregar vacunas inmediatamente después de la autorización o aprobación del uso de la vacuna, a todos los puntos de administración, así como deberá garantizar la seguridad de los productos, mantener el control y la visibilidad, gestionar la captación y aceptación con el fin de asegurar una máxima cobertura de inmunización (Department of Health & Human Services, 2021). Según el Ministerio de Salud de Argentina (2020) la estrategia de distribución de vacunas debe tomar en cuenta cuatro aspectos:

- Directrices de prioridad en la población vulnerable, tomando en cuenta criterios éticos y científicos, en una situación de disponibilidad gradual de dosis de vacunas.
- Componentes esenciales relacionados con la logística, distribución y la administración de las vacunas de acuerdo con su disponibilidad.
- Ejes principales para determinar las metas de vacunación: índice de cobertura y supervisión continua de la efectividad de las vacunas, en relación con el impacto epidemiológico que produzca la vacunación sobre la COVID-19.

- Aspectos asociados a la estrategia de comunicación que estará dirigida al personal médico y a la comunidad, para brindar información continua y transparente a fin de fortalecerla confianza en el proceso.

Es así que de acuerdo a Grauer et al. (2020) las esperanzas de contrarrestar con los impactos negativos de la epidemia de COVID-19 se basan en gran medida en la expectativa de una rápida distribución, por tanto, una distribución espacio-temporal estratégica como por ejemplo el priorizar a determinadas ciudades, puede ayudar a elevar la tasa de supervivencia de una población sujeta a una enfermedad epidémica.

Normativa Legal Vigente

El proyecto de investigación se fundamenta en la Ley Orgánica de Salud, TITULO I. CAPITULO III: De la autoridad nacional, sus competencias y responsabilidad. En él se describe la responsabilidad del Ministerio de Salud Pública en el artículo 4, mismo que declara la obligatoriedad de las inmunizaciones contra determinadas enfermedades, en los términos y condiciones que la realidad epidemiológica nacional y local requiera; así como la definición de normas y el esquema básico nacional de inmunizaciones; y la provisión sin costo a la población de los elementos necesarios para cumplirlo.

De la misma manera en la Ley Orgánica de Salud, TITULO II. CAPITULO I: De las inmunizaciones, en los artículos 52, 53, 54, 58 y 60; reconoce que la autoridad sanitaria nacional proveerá a los establecimientos de salud los biológicos e insumos para las enfermedades contempladas en el esquema básico nacional de vacunación, así como, el que el Estado garantizará y transferirá oportunamente, a través del organismo competente, los recursos económicos para el cumplimiento de las acciones del Programa Ampliado de Inmunizaciones, de conformidad con lo señalado en la ley.

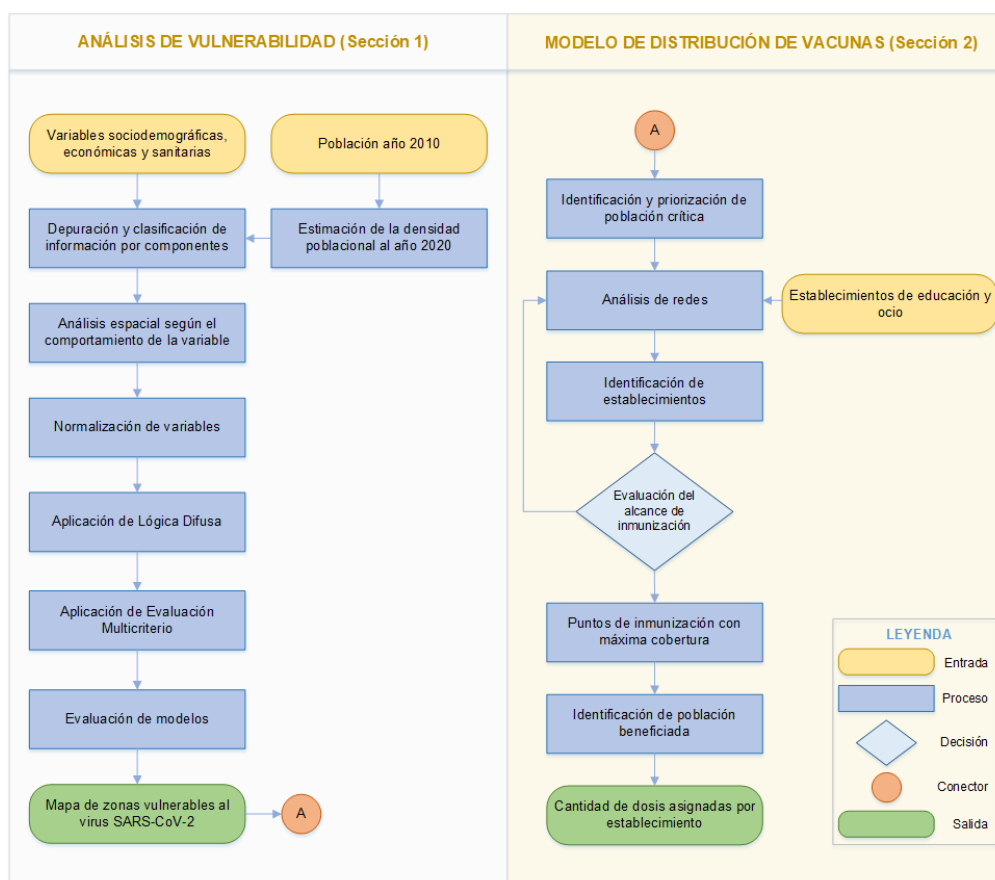
CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

A lo largo del capítulo se describen procesos a partir de los cuales se desarrolló una metodología estándar para determinar los niveles de vulnerabilidad poblacional en el D.M.Q., a partir de ello, identificar establecimientos que puedan ser adaptados como centros de vacunación y, por último, definir la cantidad de vacunas que deberán ser destinadas a cada uno de los centros. La metodología comprende dos secciones descritas en la Figura 7.

Figura 7.

Flujograma de la metodología aplicada



Recopilación de información

Se recurrió a diversas fuentes, siendo estas de carácter bibliográfico, bases de datos de libre acceso y datos facilitados por instituciones del estado dispuestas a colaborar con la investigación, obteniéndose así, un total de 31 variables cuyas características se describen en la Tabla 5, Tabla 6, Tabla 7, Tabla 8 y Tabla 9.

Cabe destacar que la recopilación de información es la fase fundamental de la investigación, debido a la accesibilidad, transparencia, calidad y vigencia de los datos adquiridos, así como también, que dichos datos requieren de tiempo y recurso humano necesario para ser depurados. Por otro lado, en cuanto el diseño y jerarquía de la base de datos propuesta, se basó en la estructura de componentes de Ordenamiento Territorial para clasificar la información depurada.

Tabla 5.

Componente Asentamientos Humanos

Variable	Criterio cartográfico			
	Geometría	Año de elaboración	Sistema de Referencia / Proyección	Fuente
Disponibilidad de comunicación móvil*	Punto	2010	WGS 84 / UTM Zona 17S	INEC
Disponibilidad de internet*	Punto	2010	WGS 84 / UTM Zona 17S	INEC
Disponibilidad de computadora*	Punto	2010	WGS 84 / UTM Zona 17S	INEC
Servicio de red pública de alcantarillado*	Punto	2010	WGS 84 / UTM Zona 17S	INEC

Servicio de red de empresa eléctrica*	Punto	2010	WGS 84 / UTM Zona 17S	INEC
Servicio de recolección de basura*	Punto	2010	WGS 84 / UTM Zona 17S	INEC
Servicio de red pública de agua potable*	Punto	2010	WGS 84 / UTM Zona 17S	INEC
Casas	Punto	2013	WGS 84 / UTM Zona 17S	IGM
Edificios	Punto	2013	WGS 84 / UTM Zona 17S	IGM
Aglomeraciones en mercados	Punto	2021	WGS 84 / UTM Zona 17S	SIS ECU 911

Nota: *la información proviene del registro de “Datos de población, hogar, vivienda, emigración a nivel manzana/localidad del Censo de Población y vivienda CPV 2010”.

Tabla 6.

Componente Económico

Variable	Criterio cartográfico			
	Cobertura	Geometría	Año de elaboración	Sistema de Referencia / Proyección
Pobreza por necesidades básicas insatisfechas (NBI)*	Punto	2010	WGS 84 / UTM Zona 17S	INEC

Nota: *la información proviene del registro de “Datos de población, hogar, vivienda, emigración a nivel manzana/localidad del Censo de Población y vivienda CPV 2010”.

Tabla 7.

Componente Sociocultural

Variable	Criterio cartográfico			
	Cobertura	Geometría	Año de elaboración	Sistema de Referencia / Proyección
Densidad poblacional*	Punto	2010	WGS 84 / UTM Zona 17S	INEC / Secretaría Técnica Planifica Ecuador
Establecimientos de salud	Punto	2021	WGS 84 / UTM Zona 17S	Ministerio de Salud Pública de Ecuador
Casos confirmados con pruebas RT-PCR	Punto	2021	WGS 84 / UTM Zona 17S	Ministerio de Salud Pública de Ecuador
Fallecidos confirmados con pruebas RT-PCR	Punto	2021	WGS 84 / UTM Zona 17S	Ministerio de Salud Pública de Ecuador
Camas hospitalarias**	Punto	2019	WGS 84 / UTM Zona 17S	INEC
Camas de unidad de cuidados intensivos**	Punto	2019	WGS 84 / UTM Zona 17S	INEC
Camas cuidados intermedios**	Punto	2019	WGS 84 / UTM Zona 17S	INEC
Médicos**	Punto	2018	WGS 84 / UTM Zona 17S	INEC
Enfermeros**	Punto	2018	WGS 84 / UTM Zona 17S	INEC
Auxiliares**	Punto	2018	WGS 84 / UTM Zona 17S	INEC
Laboratorios clínicos**	Punto	2018	WGS 84 / UTM Zona 17S	INEC
Farmacias**	Punto	2018	WGS 84 / UTM Zona 17S	INEC

Mortalidad**	Punto	2019	WGS 84 / UTM Zona 17S	INEC
Morbilidad**	Punto	2018	WGS 84 / UTM Zona 17S	INEC

Nota: *la densidad poblacional fue estimada a partir de la población del año 2010 a nivel parroquial. **La información proviene de registros como: “Datos de población, hogar, vivienda, emigración a nivel manzana/localidad del Censo de Población y vivienda CPV 2010; Registro Estadístico de Recursos y Actividades de Salud – RAS (2018); Registro Estadístico de Camas y Egresos Hospitalarios 2019”.

Tabla 8.

Componente Movilidad

Variable	Criterio cartográfico			
Cobertura	Geometría	Año de elaboración	Sistema de Referencia / Proyección	Fuente
Vías de primer orden	Línea	2021	WGS 84 / UTM Zona 17S	OpenStreetMap
Vías de segundo orden	Línea	2021	WGS 84 / UTM Zona 17S	OpenStreetMap
Vías de tercer orden	Línea	2021	WGS 84 / UTM Zona 17S	OpenStreetMap
Vías de cuarto orden	Línea	2021	WGS 84 / UTM Zona 17S	OpenStreetMap

Tabla 9.

Componente Político Institucional

Variable	Criterio cartográfico			
Cobertura	Geometría	Año de elaboración	Sistema de Referencia / Proyección	Fuente
Parroquias	Área	2015	WGS 84 / UTM Zona 17S	Gobierno Abierto de Quito
Barrios	Área	2015	WGS 84 / UTM Zona 17S	Gobierno Abierto de Quito

Densidad poblacional

Actualmente el INEC dispone de manera oficial la proyección poblacional a nivel cantonal, provincial y nacional, dado que a dichos niveles se puede garantizar determinada confiabilidad estadística.

Por consiguiente, se buscó estimar la población del D.M.Q. al año 2020 en razón de la limitación de dicha información. Sin embargo, los constantes cambios en la distribución y tamaño de la población a unidades territoriales menores, suelen ocasionar que cualquier estimación carezca de certeza y sirvan únicamente como un marco de referencia para la planificación territorial.

Es en este contexto que se empleó la metodología de ajuste de las estructuras poblacionales mediante niveles de proporcionalidad de la población, propuesta por la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (ahora Secretaría Técnica Planifica Ecuador) en el año 2013.

En primer lugar, se procede a dividir la población del año 2010 de cada una de las parroquias respecto a la población total del D.M.Q. en el mismo año, obteniéndose así las proporciones de población parroquial expresadas en la Tabla 10.

Posterior, se aplica la proporción poblacional calculada a la población proyectada del D.M.Q. al año 2020, encontrando así, las poblaciones de cada parroquia, como se observa en la Tabla 11. Por otro lado, la Tabla 12 expone datos resultantes de la metodología expuesta previamente de todas las parroquias urbanas y rurales del D.M.Q.

Tabla 10.

Ejemplo de distribución de la población a nivel parroquial del D.M.Q según el censo del año 2010

Parroquia	Población (hab)	Proporción poblacional (hab/población D.M.Q.)
Guamaní	68.417	0.0307
Turubamba	53.490	0.0240
La Ecuatoriana	59.875	0.0268

Nota: la población total del D.M.Q. al 2010 corresponde a 2'230.076 personas (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2010) (Naranjo, 2015).

Tabla 11.

Ejemplo de proyecciones de la población a nivel parroquial del D.M.Q.

Parroquia	Proporción poblacional (hab/población D.M.Q.)	Proyección poblacional (hab)
Guamaní	0.0307	85.339
Turubamba	0.0240	66.720
La Ecuatoriana	0.0268	74.684

Nota: la proyección poblacional del D.M.Q. al 2020 corresponde a 2'781.641 personas (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, s. f.).

Tabla 12.

Densidad poblacional por parroquias del D.M.Q.

Zona/Parroquia	Superficie (ha)	Población 2010 (hab)	Proporción Poblacional (hab/población D.M.Q.)	Población 2020 (hab)	Densidad Poblacional 2020 (p/ha)
<i>ZONA QUITUMBE</i>					
Guamaní	18.094	68.417	0.031	85.339	4.716
Turubamba	17.204	53.490	0.024	66.720	3.878

La Ecuatoriana	24.116	59.875	0.027	74.684	3.097
Quitumbe	13.771	79.07	0.035	98.633	7.163
Chillogallo	15.398	58.199	0.026	72.593	4.714
<i>ZONA ELOY ALFARO</i>					
La Mena	8.695	44.352	0.020	55.322	6.362
Solanda	4.457	78.279	0.035	97.640	21.908
La Argelia	7.181	57.291	0.026	71.461	9.951
San Bartolo	3.898	64.038	0.029	79.877	20.491
La Ferroviaria	6.372	65.626	0.029	81.857	12.846
Chilibulo	8.563	48.729	0.022	60.781	7.098
La Magdalena	2.916	30.818	0.014	38.440	13.185
Chimbacalle	2.417	39.82	0.018	49.669	20.552
Lloa	545.402	1.494	0.001	1.864	3.417
<i>ZONA MANUELA SAENZ</i>					
Puengasí	11.313	62.172	0.028	77.549	6.855
La Libertad	2.649	26.827	0.012	33.462	12.631
Centro Histórico	3.731	40.587	0.018	50.625	13.597
Itchimbia	11.207	34.059	0.015	42.483	3.791
San Juan	18.955	55.069	0.025	68.689	3.624
<i>ZONA EUGENIO ESPEJO</i>					
Belisario Quevedo	13.487	47.752	0.021	59.563	4.416
Mariscal Sucre	2.788	12.976	0.006	16.185	5.806
Iñaquito	15.053	42.397	0.019	52.883	3.513
Rumipamba	10.372	28.918	0.013	36.070	3.478
Jipijapa	6.241	35.475	0.016	44.249	7.089
Cochapamba	23.363	57.910	0.026	72.233	3.092
La Concepción	5.208	32.269	0.014	40.250	7.729
Kennedy	6.682	69.484	0.031	86.669	12.972

San Isidro del Inca	6.207	41.875	0.019	52.232	8.415
Nayón	15.828	15.635	0.007	19.502	1.232
Zambiza	7.663	4.017	0.002	5.011	0.654
<i>ZONA LA DELICIA</i>					
Cotocollao	2.767	31.623	0.014	39.444	14.256
Ponceano	6.652	54.052	0.024	67.421	10.136
Comité del Pueblo	5.489	46.932	0.021	58.540	10.665
El Condado	54.847	86.094	0.039	107.388	1.957
Carcelén	9.685	54.938	0.025	68.526	7.075
Nono	213.910	1.732	0.001	2.160	10.099
Pomasquí	23.682	29.502	0.013	36.799	1.554
San Antonio	111.615	32.357	0.015	40.360	0.362
Calacalí	190.331	3.895	0.002	4.858	0.026
<i>ZONA NOROCCIDENTE</i>					
Nanegal	245.091	2.636	0.001	3.288	0.013
Nanegalito	125.127	3.026	0.001	3.774	0.030
Gualea	120.819	2.025	0.001	2.526	0.201
Pacto	345.815	4.798	0.002	5.985	0.017
<i>ZONA NORCENTRAL</i>					
Puellaro	70.778	5.488	0.002	6.845	0.097
Perucho	9.795	789	0.000	984	0.100
Chavezpamba	12.300	801	0.000	999	0.081
Atahualpa/ Habaspamba	68.834	1.901	0.001	2.371	0.034
San José de Minas	307.493	7.243	0.003	9.034	0.029
<i>ZONA CALDERÓN</i>					
Calderón	78.760	152.731	0.068	190.506	2.419

Llano Chico	7.323	9.853	0.004	12.290	1.678
<i>ZONA TUMBACO</i>					
Cumbayá	30.526	31.463	0.014	39.245	1.286
Tumbaco	65.488	49.94	0.022	62.297	0.951
<i>ZONA LOS CHILLOS</i>					
Amaguaña	60.181	31.106	0.014	38.799	0.644
Conocoto	44.148	82.424	0.037	102.810	2.328
Guangopolo	10.284	3.059	0.001	3.816	0.371
Alangasí	29.173	24.251	0.011	30.249	1.036
La Merced	31.974	8.394	0.004	10.470	0.327
Pintag	489.601	17.930	0.008	22.365	0.046
<i>ZONA AEROPUERTO</i>					
Puembo	31.727	13.593	0.006	16.955	0.534
Pifo	254.344	16.645	0.007	20.762	0.082
Tababela	25.383	2.823	0.001	3.521	0.139
Yaruquí	72.416	17.854	0.008	22.270	0.308
Checa	88.801	8.980	0.004	11.201	0.126
Quinche	74.594	16.056	0.007	20.027	0.268
Guayllabamba	55.686	16.213	0.007	20.223	0.363

Nota: el campo *Superficie* se calculó a partir de la geometría de la capa *Parroquias* perteneciente al Componente Político Institucional, el campo *Población 2010* se obtuvo de (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2010) (Naranjo, 2015), mientras que el campo *Proporción Poblacional y Población 2020* se estimó a partir de la metodología expuesta previamente a razón de estimar la densidad poblacional del Cantón Quito al año 2020.

Análisis espacial de las variables de estudio

Al disponer de información con diferente nivel de representación, se utilizaron distintos métodos de análisis espacial acorde al comportamiento y distribución de cada variable en la zona de estudio. La Tabla 13 resume las herramientas empleadas en cada variable a través del software ArcGIS 10.X.

Tabla 13.

Método de análisis espacial

Componente	Variable	Método de análisis espacial
Asentamientos Humanos	Disponibilidad de comunicación móvil	Densidad de puntos
	Disponibilidad de internet	Densidad de puntos
	Disponibilidad de computadora	Densidad de puntos
	Servicio de red pública de alcantarillado	Densidad de puntos
	Servicio de red de empresa eléctrica	Densidad de puntos
	Servicio de recolección de basura	Densidad de puntos
	Servicio de red pública de agua potable	Densidad de puntos
	Casas	Densidad de puntos
	Edificios	Densidad de puntos
	Aglomeraciones en mercados	Densidad de puntos
Económico	Pobreza por necesidades básicas insatisfechas (NBI)	Densidad de puntos
Sociocultural	Densidad poblacional	Interpolación IDW
	Establecimientos de salud	Densidad de puntos
	Casos confirmados con pruebas RT-PCR	Interpolación IDW
	Fallecidos confirmados con pruebas RT-PCR	Interpolación IDW
	Camas hospitalarias	Interpolación IDW
	Camas de unidad de cuidados intensivos	Interpolación IDW

	Camas cuidados intermedios	Interpolación IDW
	Médicos	Interpolación IDW
	Enfermeros	Interpolación IDW
	Auxiliares	Interpolación IDW
	Laboratorios clínicos	Interpolación IDW
	Farmacias	Interpolación IDW
	Tasa de mortalidad	Interpolación IDW
	Tasa de morbilidad	Interpolación IDW
Movilidad	Vías de primer orden	Distancia euclidiana
	Vías de segundo orden	Distancia euclidiana
	Vías de tercer orden	Distancia euclidiana
	Vías de cuarto orden	Distancia euclidiana

Nota: la información obtenida se encuentra a escala 1:50.000, dato que fue empleado para calcular el tamaño del pixel correspondiente al valor de 15 para la generación de cada ráster.

Densidad de puntos

En la Tabla 13 se identifican las variables que se analizaron a través de este método, a partir de las cuales, en 10 de las 12 variables se especificó un radio de 1 km, a excepción de las variables “Aglomeraciones en mercados” y “Establecimientos de salud” en las que se definió un radio de 2.5 km debido a la zona de influencia que se pretendía abarcar para su análisis.

Cabe destacar que en las 12 variables se especificó el campo *Field Population* acorde a las características que presentaban cada una de ellas, como por ejemplo el número de hogares que disponía de un servicio determinado (red pública de alcantarillado, agua potable, luz eléctrica o recolección de basura).

Ponderación de distancia inversa (IDW)

En la tabla 13 se describen las variables analizadas a través de este método, ya que de acuerdo al apartado *Ponderación de distancia inversa (IDW) del Capítulo II – Marco Teórico*, es recomendable para bases de datos pequeñas. Se consideró un total de 6 puntos para la interpolación y se dejó al parámetro *Potencia* en su valor predeterminado, es decir 2.

Distancia euclidiana

Mediante este método se analizaron cuatro variables correspondientes al componente de movilidad, en las cuales se definió el tamaño del pixel equivalente al valor de 15, y se estableció una máscara para limitar el entorno de análisis correspondiente a la zona de estudio.

Normalización estadística

Este proceso se llevó a cabo para establecer relaciones y comparaciones del conjunto de datos, por ende, previo a la aplicación de la evaluación multicriterio, se aplicó la Ecuación 2 detallada en el apartado *Normalización estadística del Capítulo II – Marco Teórico*, para cada una de las 29 variables expuestas en la Tabla 13.

Lógica difusa

Con el propósito de analizar el comportamiento de la variable evaluada ante la probabilidad de contagio, se empleó funciones de pertenencia de tipo sinusoidal correspondientes a coseno y seno en un rango de 0 a 90 grados sexagesimales ($\pi/2$ radianes). En el primer caso (Ver Ecuación 3 disponible en el apartado *Lógica difusa del Capítulo II – Marco Teórico*), se evaluaron escenarios donde la probabilidad de ocurrencia (P) es inversamente proporcional al evento analizado (N); mientras que, en

el segundo caso (Ver Ecuación 4 disponible en el apartado *Lógica difusa del Capítulo II – Marco Teórico*) se evaluaron escenarios donde la probabilidad de ocurrencia (P) es directamente proporcional al evento analizado (N), en este caso la probabilidad de contagio.

En la Tabla 14 se describe el comportamiento de cada variable respecto a la probabilidad de ocurrencia de una mayor o menor vulnerabilidad poblacional, así como también la función de evaluación asignada según el análisis descrito con anterioridad.

Tabla 14.

Análisis de cada variable según casos Fuzzy

Variable	Descripción	Función
Disponibilidad de comunicación móvil	El celular es un medio de comunicación masivo, por lo que a mayor disponibilidad del mismo, menor será la vulnerabilidad.	Coseno
Disponibilidad de internet	Actualmente, el internet se ha convertido en una herramienta que facilita el teletrabajo y la teleeducación, por lo que una mayor disponibilidad del servicio representa una menor vulnerabilidad.	Coseno
Disponibilidad de computadora	Existe una relación inversamente proporcional, puesto que el uso de la computadora como medio de comunicación durante la pandemia ha disminuido la vulnerabilidad en el sector educativo.	Coseno
Servicio de red pública de alcantarillado	El sistema de alcantarillado evita que se originen problemas de tipo sanitario o inundaciones, por tanto, a mayor disponibilidad de este servicio, menor será la vulnerabilidad.	Coseno
Servicio de red de empresa eléctrica	La electricidad es importante para la economía mundial ya que permite el uso de maquinarias, por	Coseno

	ende, a mayor disponibilidad del mismo, menor será la vulnerabilidad.	
Servicio de recolección de basura	La acumulación de determinados materiales representa un problema, tanto ambiental como para la salud de quienes se encuentran cerca, por tanto, la disponibilidad de este servicio disminuye la vulnerabilidad en la población.	Coseno
Servicio de red pública de agua potable	El abastecimiento de agua es esencial para el desarrollo de la población, tanto en salud como en las actividades desarrolladas en otros sectores, por lo que a una mayor disponibilidad del mismo, habrá menor vulnerabilidad poblacional.	Coseno
Casas	Representan un punto de aglomeración comercial o residencial, por lo que existe una relación directamente proporcional respecto a la vulnerabilidad poblacional.	Seno
Edificios		Seno
Aglomeraciones en mercados	La continua aglomeración de personas en mercados supone un mayor riesgo de contagio, es decir, hay mayor vulnerabilidad poblacional.	Seno
Pobreza por necesidades básicas insatisfechas (NBI)	La población con un alto índice de pobreza resulta ser la más afectada, por tanto, existe una relación directamente proporcional respecto a la vulnerabilidad poblacional.	Seno
Densidad poblacional	El tamaño de la población influye notablemente en la rapidez de la propagación del virus, por lo que a mayor densidad poblacional existe mayor vulnerabilidad.	Seno
Establecimientos de salud	Actualmente, el ambiente de los establecimientos de salud supone un potencial foco de infección, por lo que una mayor concentración de estos establecimientos indica una mayor vulnerabilidad.	Seno

Casos confirmados con pruebas RT-PCR	Existe una relación directamente proporcional, ya que a mayor número de casos confirmados existe mayor probabilidad de contagio local, es decir, una mayor vulnerabilidad poblacional.	Seno
Fallecidos confirmados con pruebas RT-PCR	A mayor número de fallecidos a causa de COVID-19, habrá una mayor vulnerabilidad poblacional debido a la exposición al virus.	Seno
Camas hospitalarias	El número de camas disponibles puede variar de acuerdo al flujo de pacientes, así como también por aspectos técnicos como reparación o desinfección; no obstante, se asume que las mismas cuentan con el personal y equipo de apoyo necesario, por lo que a una mayor disponibilidad de personal médico e insumos, habrá menor vulnerabilidad poblacional.	Coseno
Camas de unidad de cuidados intensivos		Coseno
Camas cuidados intermedios		Coseno
Médicos		Coseno
Enfermeros		Coseno
Auxiliares		Coseno
Laboratorios clínicos	Los laboratorios clínicos han jugado un papel importante en la detección y diagnóstico del SARS-CoV-2, por lo que existe una relación inversamente proporcional respecto a la vulnerabilidad poblacional.	Coseno
Farmacias	Desde el comienzo de la pandemia, las farmacias se han esforzado por mantener sus servicios y una continua atención a la ciudadanía, por lo que una mayor disponibilidad de este servicio concluye en una menor vulnerabilidad poblacional frente a la crisis sanitaria.	Coseno
Tasa de mortalidad	La tasa de mortalidad expresa la razón de las defunciones, ya sea el estado de salud o los diversos fenómenos sociales violentos, es por ello que un mayor índice de mortalidad representa una mayor vulnerabilidad en la sociedad.	Seno

Tasa de morbilidad	Una mayor tasa de morbilidad indica una mayor fragilidad en la salud, es decir, existe una relación directamente proporcional en cuanto a la vulnerabilidad poblacional se refiere.	Seno
Vías de primer orden	Existe una relación inversamente proporcional debido a que una mayor cercanía de la población a las vías de comunicación terrestre representan una menor vulnerabilidad.	Coseno
Vías de segundo orden		Coseno
Vías de tercer orden		Coseno
Vías de cuarto orden		Coseno

Evaluación multicriterio (EMC)

En primer lugar, se procedió a asignar valores de importancia acorde a la Tabla 1 descrita en el apartado *Evaluación Multicriterio (EMC) del Capítulo II – Marco Teórico*, para cada una de las variables de los componentes de Asentamientos Humanos, Sociocultural y de Movilidad, dichos valores son descritos en la Tabla 15, Tabla 18, Tabla 21. Posterior, se realizó el cálculo explicado a detalle en el mismo apartado, para cada componente cuyos resultados se presentan en la Tabla 16, Tabla 17, Tabla 19, Tabla 20, Tabla 22 y Tabla 23.

Una vez obtenido los pesos (W_i) de cada variable se logró generar el modelo basado en lógica difusa y valores de importancia para cada componente (Anexo 1, Anexo 2, Anexo 3). Cabe destacar que no se aplicó esta metodología en el Componente Económico ya que cuenta con una sola variable.

Componente de Asentamientos Humanos

Tabla 15.

Valor de importancia asignado por variable del componente Asentamientos Humanos

Variable	Valor
Comunicación móvil	1
Internet	3
Computador	2
Alcantarillado	4
Electricidad	6
Recolección de basura	5
Agua potable	7
Casas	8
Edificios	9
Aglomeración en mercados	10

Tabla 16.

Matriz de comparaciones pareadas del componente Asentamientos

Comparación de variables	Comunicación móvil	Internet	Computador	Alcantarillado	Electricidad	Recolección de basura	Agua potable	Casas	Edificios	Aglomeración en mercados
Comunicación móvil	1.000	0.333	0.500	0.250	0.167	0.200	0.143	0.125	0.111	0.100
Internet	3.000	1.000	1.500	0.750	0.500	0.600	0.429	0.375	0.333	0.300
Computador	2.000	0.667	1.000	0.500	0.333	0.400	0.286	0.250	0.222	0.200
Alcantarillado	4.000	1.333	2.000	1.000	0.667	0.800	0.571	0.500	0.444	0.400
Electricidad	6.000	2.000	3.000	1.500	1.000	1.200	0.857	0.750	0.667	0.600
Recolección de basura	5.000	1.667	2.500	1.250	0.833	1.000	0.714	0.625	0.556	0.500
Agua potable	7.000	2.333	3.500	1.750	1.167	1.400	1.000	0.875	0.778	0.700
Casas	8.000	2.667	4.000	2.000	1.333	1.600	1.143	1.000	0.889	0.800
Edificios	9.000	3.000	4.500	2.250	1.500	1.800	1.286	1.125	1.000	0.900
Aglomeración en mercados	10.000	3.333	5.000	2.500	1.667	2.000	1.429	1.250	1.111	1.000
Sumatoria	55.000	18.333	27.500	13.750	9.167	11.000	7.857	6.875	6.111	5.500

Tabla 17.*Pesos de Saaty del componente Asentamientos Humanos*

Variable	Pesos (Wi)
Comunicación móvil	0.018
Internet	0.055
Computador	0.036
Alcantarillado	0.073
Electricidad	0.109
Recolección de basura	0.091
Agua potable	0.127
Casas	0.145
Edificios	0.164
Aglomeración en mercados	0.182
Sumatoria	1.000

*Componente Sociocultural***Tabla 18.***Valor de importancia asignado por variable del componente Sociocultural*

Variable	Valor
Densidad poblacional	20
Establecimientos de salud	15
Casos confirmados	18
Fallecidos confirmados	3
Camas hospitalarias	11
Camas U.C.I.	10
Camas C.I.	9
Médicos	13
Enfermeros	12
Auxiliares	4
Laboratorios clínicos	7
Farmacias	6
Mortalidad	2
Morbilidad	17

Tabla 19.*Matriz de comparaciones pareadas del componente Sociocultural*

Comparación de variables	Densidad poblacional	Establ. de salud	Casos confirmados	Fallecidos confirmados	Camas hospitalarias	Camas U.C.I.	Camas C.I.	Médicos	Enfermeros	Auxiliares	Laboratorios clínicos	Farmacias	Mortalidad	Morbilidad
Densidad poblacional	1.0	1.3	1.1	6.7	1.8	2.0	2.2	1.5	1.7	5.0	2.9	3.3	10.0	1.2
Establ. de salud	0.8	1.0	0.8	5.0	1.4	1.5	1.7	1.2	1.3	3.8	2.1	2.5	7.5	0.9
Casos confirmados	0.9	1.2	1.0	6.0	1.6	1.8	2.0	1.4	1.5	4.5	2.6	3.0	9.0	1.1
Fallecidos confirmados	0.2	0.2	0.2	1.0	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.8	0.4	0.5	1.5	0.2
Camas hospitalarias	0.6	0.7	0.6	3.7	1.0	1.1	1.2	0.8	0.9	2.8	1.6	1.8	5.5	0.6
Camas U.C.I.	0.5	0.7	0.6	3.3	0.9	1.0	1.1	0.8	0.8	2.5	1.4	1.7	5.0	0.6
Camas C.I.	0.5	0.6	0.5	3.0	0.8	0.9	1.0	0.7	0.8	2.3	1.3	1.5	4.5	0.5
Médicos	0.7	0.9	0.7	4.3	1.2	1.3	1.4	1.0	1.1	3.3	1.9	2.2	6.5	0.8
Enfermeros	0.6	0.8	0.7	4.0	1.1	1.2	1.3	0.9	1.0	3.0	1.7	2.0	6.0	0.7
Auxiliares	0.2	0.3	0.2	1.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	1.0	0.6	0.7	2.0	0.2
Laboratorios clínicos	0.4	0.5	0.4	2.3	0.6	0.7	0.8	0.5	0.6	1.8	1.0	1.2	3.5	0.4
Farmacias	0.3	0.4	0.3	2.0	0.5	0.6	0.7	0.5	0.5	1.5	0.9	1.0	3.0	0.4
Mortalidad	0.1	0.1	0.1	0.7	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	0.3	0.3	1.0	0.1
Morbilidad	0.9	1.1	0.9	5.7	1.5	1.7	1.9	1.3	1.4	4.3	2.4	2.8	8.5	1.0
Sumatoria	7.4	9.8	9.8	49.0	13.4	14.7	16.3	11.3	12.3	36.8	21.0	24.5	73.5	8.6

Tabla 20.*Pesos de Saaty del componente Sociocultural*

Variable	Pesos (Wi)
Densidad poblacional	0.136
Establecimientos de salud	0.102
Casos confirmados	0.122
Fallecidos confirmados	0.020

Camas hospitalarias	0.075
Camas U.C.I.	0.068
Camas C.I.	0.061
Médicos	0.088
Enfermeros	0.082
Auxiliares	0.027
Laboratorios clínicos	0.048
Farmacias	0.041
Mortalidad	0.014
Morbilidad	0.116
Sumatoria	1.000

Componente de Movilidad

Tabla 21.

Valor de importancia asignado por variable del componente Movilidad

Variable	Valor
Vías de orden 1	10
Vías de orden 2	9
Vías de orden 3	8
Vías de orden 4	6

Tabla 22.

Matriz de comparaciones pareadas del componente Movilidad

Comparación de variables	Vías de orden 1	Vías de orden 2	Vías de orden 3	Vías de orden 4
Vías de orden 1	1.000	1.111	1.250	1.667
Vías de orden 2	0.900	1.000	1.125	1.500
Vías de orden 3	0.800	0.889	1.000	1.333
Vías de orden 4	0.600	0.667	0.750	1.000
Sumatoria	3.300	3.667	4.125	5.500

Tabla 23.*Pesos de Saaty del componente Movilidad*

Variable	Pesos (Wi)
Vías de orden 1	0.3030
Vías de orden 2	0.2727
Vías de orden 3	0.2424
Vías de orden 4	0.1818
Sumatoria	1.000

La Tabla 24 presenta un resumen de los valores obtenidos para cada variable según el componente al que pertenecen, así como también los valores obtenidos de la ponderación entre componentes.

Tabla 24.*Pesos de las variables de estudio*

Componente	Variable	Pesos (Variable)	Pesos (Componente)
Asentamientos Humanos	Disponibilidad de comunicación móvil	0.018182	0.259259
	Disponibilidad de internet	0.054545	
	Disponibilidad de computadora	0.036364	
	Servicio de red pública de alcantarillado	0.072727	
	Servicio de red de empresa eléctrica	0.109091	
	Servicio de recolección de basura	0.090909	
	Servicio de red pública de agua potable	0.127273	
	Casas	0.145455	
	Edificios	0.163636	
	Aglomeraciones en mercados	0.181818	

Económico	Pobreza por necesidades básicas insatisfechas (NBI)	-	0.222222
Sociocultural	Densidad poblacional	0.136054	0.370370
	Establecimientos de salud	0.102041	
	Casos confirmados con pruebas RT-PCR	0.122449	
	Fallecidos confirmados con pruebas RT-PCR	0.020408	
	Camas hospitalarias	0.074830	
	Camas de unidad de cuidados intensivos	0.068027	
	Camas cuidados intermedios	0.061224	
	Médicos	0.088435	
	Enfermeros	0.081633	
	Auxiliares	0.027211	
	Laboratorios clínicos	0.047619	
	Farmacias	0.040816	
	Mortalidad	0.013605	
	Morbilidad	0.115646	
Movilidad	Vías de primer orden	0.303030	0.148148
	Vías de segundo orden	0.272727	
	Vías de tercer orden	0.242424	
	Vías de cuarto orden	0.181818	

Generación del mapa de zonas con mayor vulnerabilidad

Para la elaboración del mapa de vulnerabilidad se utilizó la herramienta *Raster Calculator*, en la que se definió una expresión algebraica que incluye tanto los cuatro componentes establecidos para el estudio como sus pesos obtenidos a través de criterios de jerarquización (Ver Ecuación 7), esto con el fin de identificar las zonas vulnerables al virus SARS-CoV-2 en el Distrito Metropolitano de Quito.

$$f(x) = 0.259259X_1 + 0.222222X_2 + 0.370370 X_3 + 0.148148 X_4 \quad Ec. (7)$$

Donde:

X_1 = Componente de asentamientos humanos.

X_2 = Componente económico.

X_3 = Componente sociocultural.

X_4 = Componente de movilidad.

Adicionalmente la Figura 8, Figura 9, Figura 10. Figura 11 y Figura 12 resumen de manera sistematizada la metodología empleada para el modelamiento de zonas vulnerables bajo la aplicación de herramientas de análisis espacial, normalización estadística, lógica difusa y criterios de jerarquización.

Figura 8.

Primera parte del modelo cartográfico para la generación de un modelo de zonas vulnerables del D.M.Q.

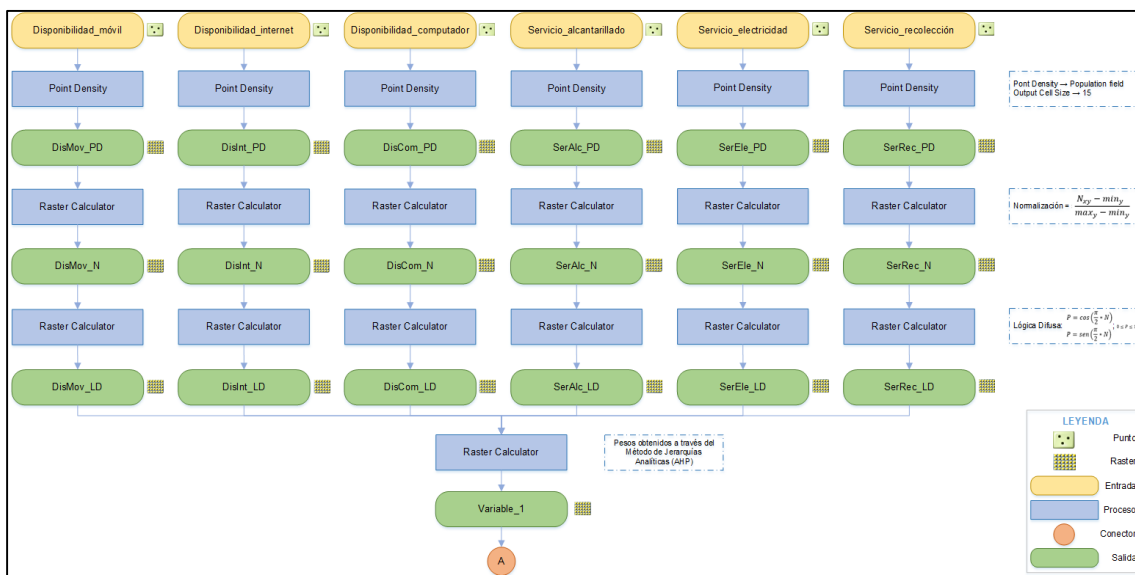


Figura 9.

Segunda parte del modelo cartográfico para la generación de un modelo de zonas vulnerables del D.M.Q.

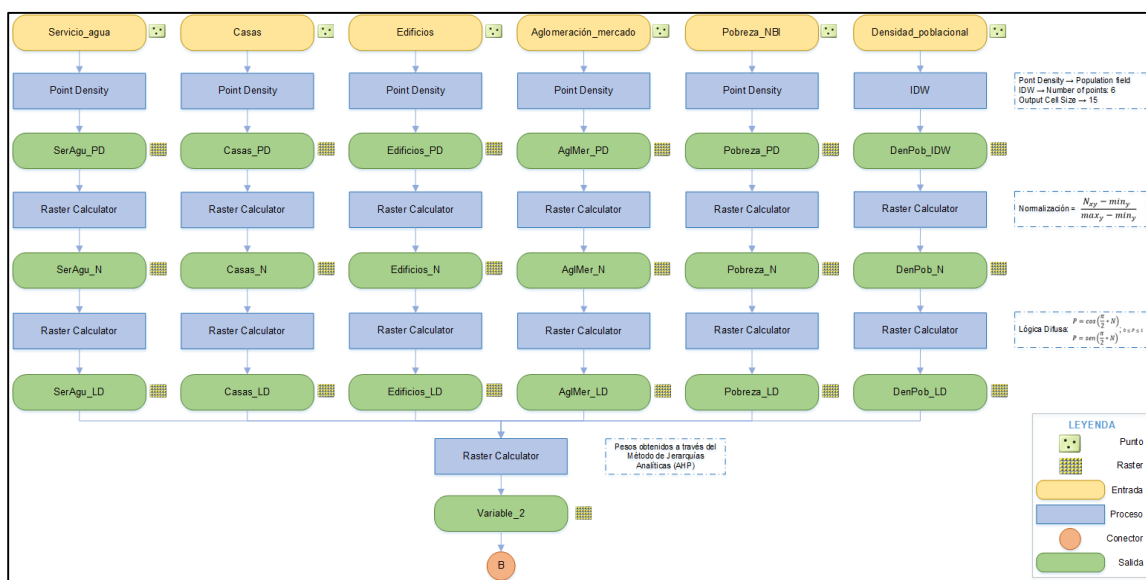


Figura 10.

Tercera parte del modelo cartográfico para la generación de un modelo de zonas vulnerables del D.M.Q.

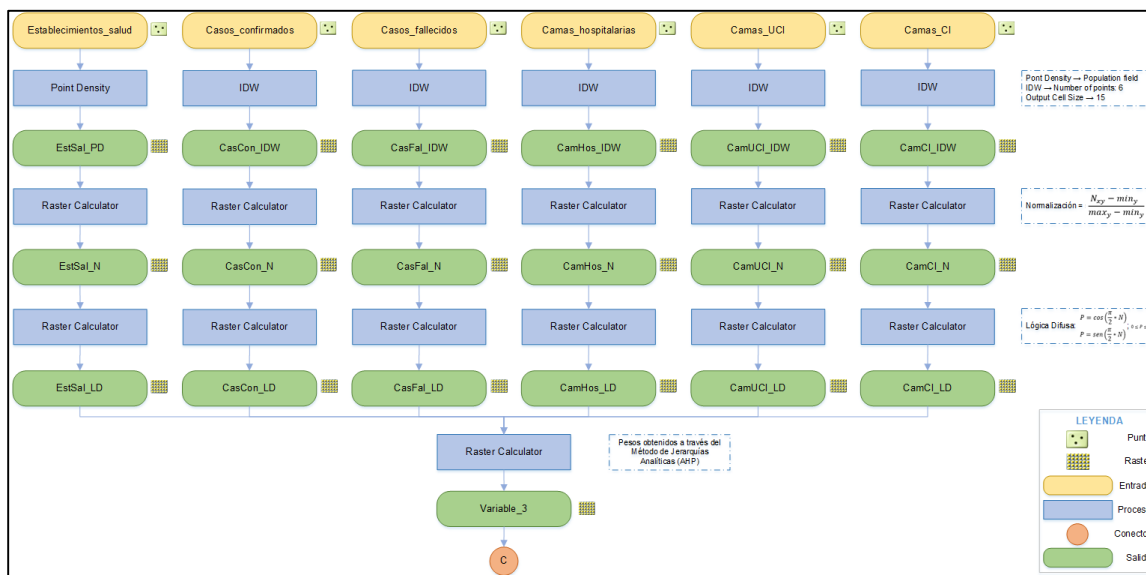


Figura 11.

Cuarta parte del modelo cartográfico para la generación de un modelo de zonas vulnerables del D.M.Q.

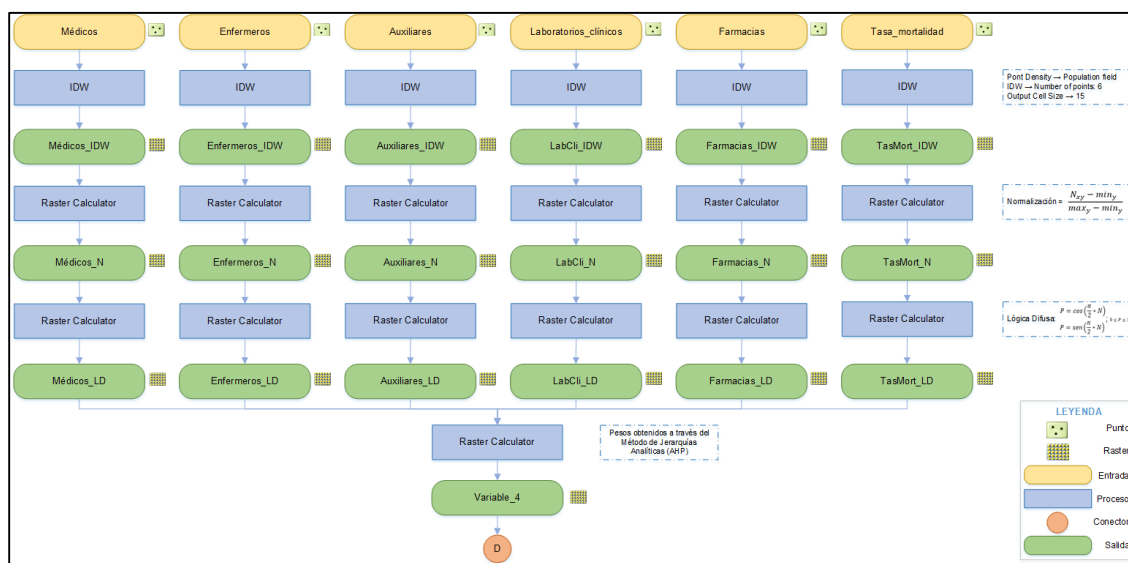
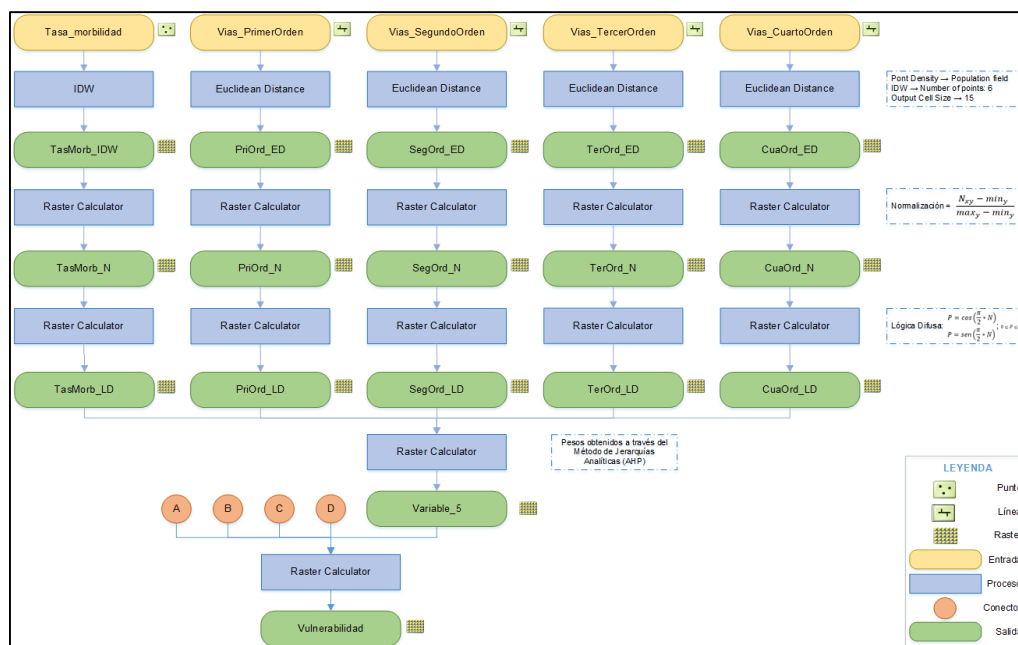


Figura 12.

Quinta parte del modelo cartográfico para la generación de un modelo de zonas vulnerables del D.M.Q.



Identificación y priorización de población crítica

La interfaz de ArcGIS dispone de un amplio grupo de herramientas necesarias para identificar la población crítica de la zona de estudio, por ende, se recurrió a un proceso de tres pasos para priorizar dichas zonas en un posterior análisis de redes.

Reclasificar

Esta herramienta facilita modificar uno o más valores de la capa de entrada (formato ráster) por nuevos valores en la capa de salida. Es decir, el reclasificar información permite agrupar valores de acuerdo a una escala predefinida, en este caso se interpretarían los valores de 1 a 3 como vulnerabilidad baja, valores de 4 a 7 como vulnerabilidad media y valores de 8 a 10 como vulnerabilidad alta.

Ráster a polígono

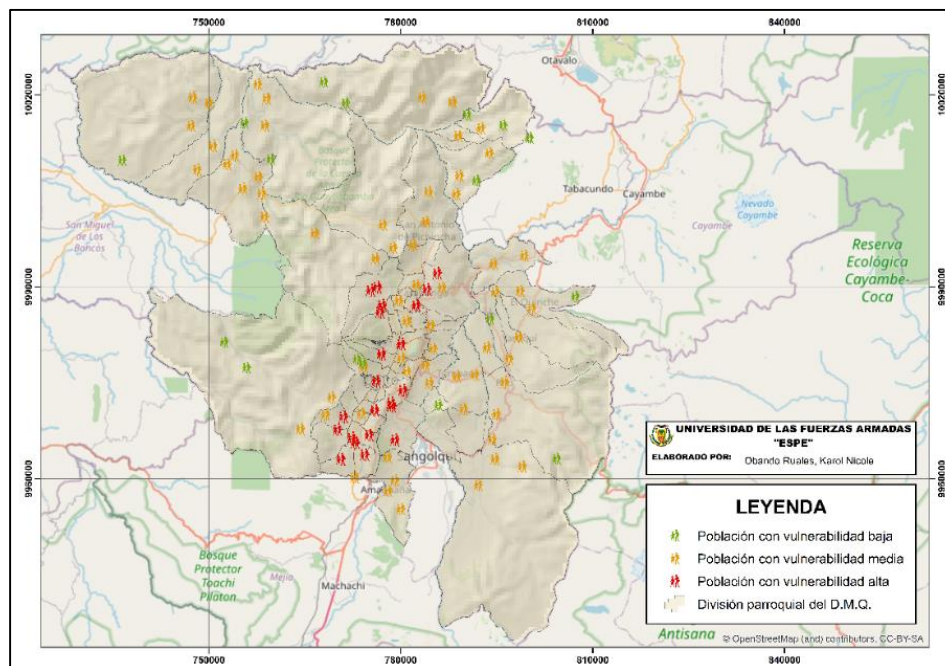
Esta herramienta permite transformar la capa ráster previamente reclasificada en una nueva capa en formato vectorial. No obstante, se debe considerar que los polígonos se construirán al agruparse celdas contiguas con el mismo valor, es decir que pueden generarse polígonos innecesarios para el análisis que se desea realizar. Es por ello que, de forma continua se empleó la herramienta *Eliminate*, la cual permite eliminar entidades al combinarlas con aquellos polígonos adyacentes que presentan un área más grande o tienen un borde compartido más largo.

De entidad a punto

Una vez depurada la capa vectorial, se emplea la herramienta *Feature to Point*, a razón de identificar la ubicación de las poblaciones con una vulnerabilidad baja, media y alta, producto del análisis espacial realizado con anterioridad. La Figura 13 presenta el resultado del proceso descrito con anterioridad.

Figura 13.

Población con vulnerabilidad alta, media y baja del D.M.Q.



Análisis de redes

Las herramientas disponibles en la extensión *Network Analyst* manejan datasets de redes a fin de calcular y analizar rutas óptimas, instalaciones cercanas, áreas de servicio, matrices de costes origen-destino y ubicación/asignación sobre las redes de transporte.

En el presente caso se empleó la herramienta *Location/Allocation* para seleccionar los establecimientos que suministren los diferentes tipos de vacunas a los puntos de demanda (población vulnerable frente al contagio por SARS-CoV-2) de la manera más eficiente, así como también se usó la herramienta *Service Area* con el propósito de identificar el número de personas y la superficie de terreno que comprenderían las instalaciones escogidas con anterioridad. Esta sección comprende un proceso de tres pasos detallados a continuación:

Detección y corrección de relaciones topológicas

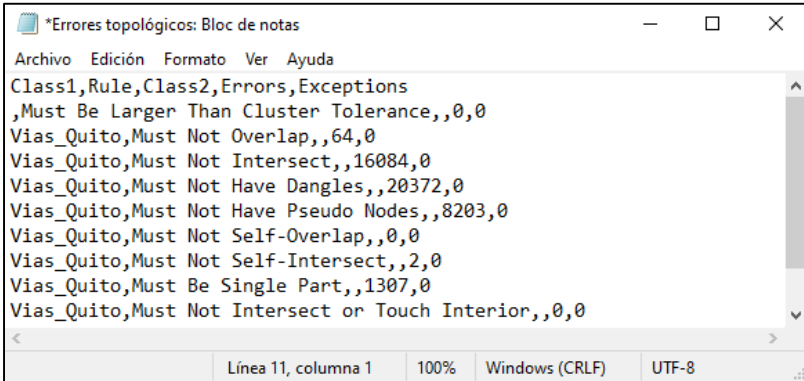
Para efectuar el análisis de redes es necesario realizar la corrección topológica de las vías de la zona de estudio, por lo tanto, se aplicaron 8 reglas topológicas para líneas, las cuales son descritas a continuación:

- Must Not Overlap
- Must Not Intersect
- Must Not Have Dangles
- Must Not Have Pseudo Nodes
- Must Not Self-Overlap
- Must Not Self-Intersect
- Must Be Single-Part
- Must Not Intersect or Touch Interior

Se contabilizó un total de 46032 inconsistencias (Figura 14) en la cobertura de red vial del D.M.Q. Por otro lado, la Figura 15 expone un panorama general de las relaciones topológicas identificadas en la zona de estudio.

Figura 14.

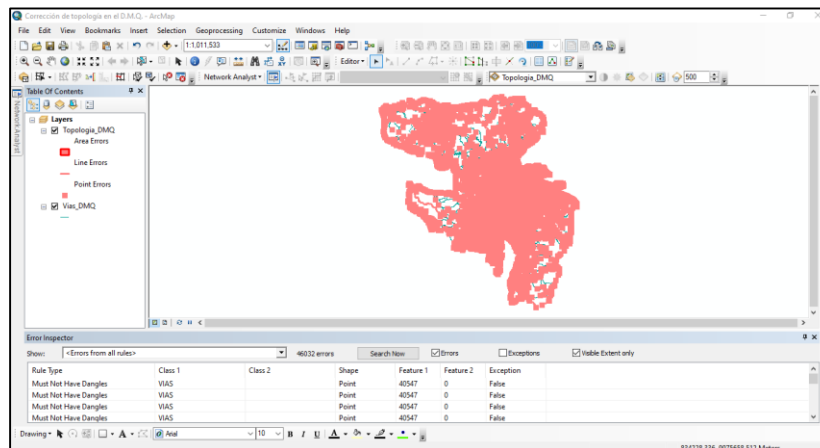
Resumen de relaciones topológicas



```
*Errores topológicos: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
Class1,Rule,Class2,Errors,Exceptions
,Must Be Larger Than Cluster Tolerance,,0,0
Vias_Quito,Must Not Overlap,,64,0
Vias_Quito,Must Not Intersect,,16084,0
Vias_Quito,Must Not Have Dangles,,20372,0
Vias_Quito,Must Not Have Pseudo Nodes,,8203,0
Vias_Quito,Must Not Self-Overlap,,0,0
Vias_Quito,Must Not Self-Intersect,,2,0
Vias_Quito,Must Be Single Part,,1307,0
Vias_Quito,Must Not Intersect or Touch Interior,,0,0
Línea 11, columna 1 100% Windows (CRLF) UTF-8
```


Figura 15.

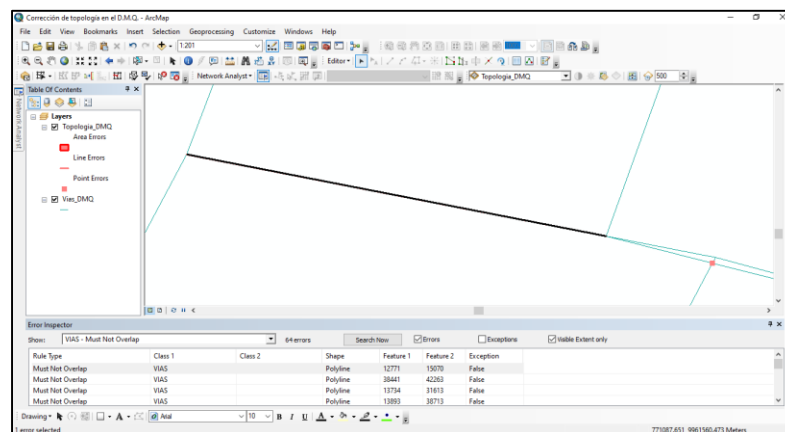
Visualización de relaciones topológicas identificadas en ArcMap



Las correcciones se realizaron de forma individual y detallada en el Software ArcGIS 10.X. La Figura 16 expone un ejemplo de la regla topológica *Must Not Overlap*, en este caso al tratarse de la superposición de dos entidades lineales, se procedió a remover la porción de la entidad que está generando el error mediante la herramienta *Subtract*.

Figura 16.

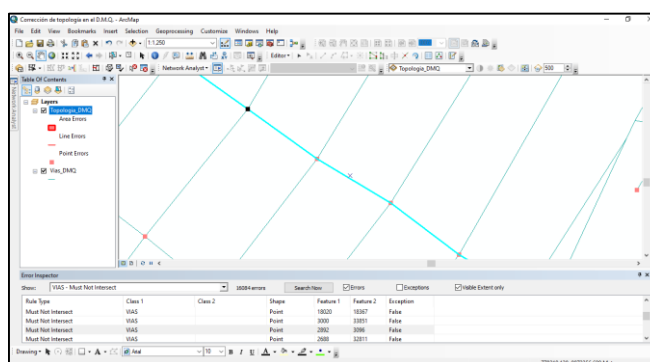
Ejemplo de regla topológica "Must Not Overlap"



La Figura 17 expone un ejemplo de la regla topológica *Must Not Intersect*, en este caso al tratarse de una intersección, lo ideal es que la vía tenga un corte en la misma para una adecuada movilidad de transeúntes y automóviles dependiendo como sea configurada la red, por ende, se procedió a emplear la herramienta *Split* para dividir la entidad lineal en el punto de intersección.

Figura 17.

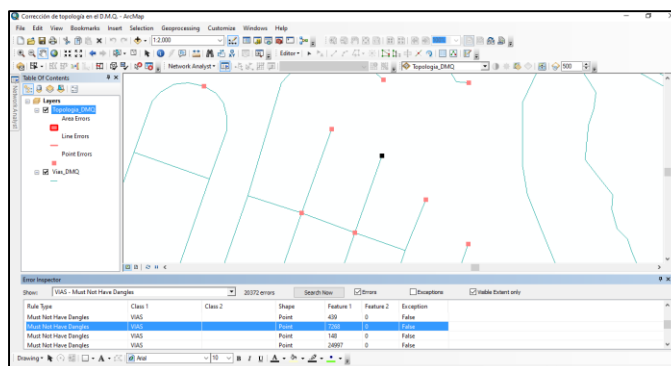
Ejemplo de regla topológica "Must Not Intersect"



La Figura 18 expone un ejemplo de la regla topológica *Must Not Have Dangles*, en este caso la mayoría de relaciones topológicas se solucionan al marcarlas como excepción debido a que comprenden el vértice final de la calle digitalizada.

Figura 18.

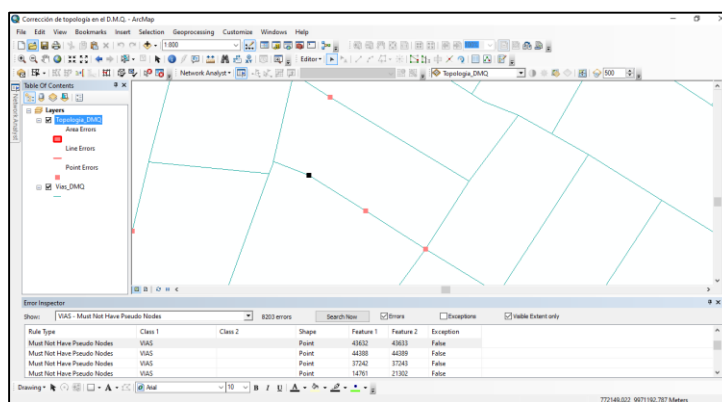
Ejemplo de regla topológica "Must Not Have Dangles"



La Figura 19 expone un ejemplo de la regla topológica *Must Not Have Pseudo Nodes*, esta regla requiere que la entidad se conecte de forma lógica con otras entidades lineales, por ende, en este caso se empleó la herramienta *Merge* para fusionar ambas entidades conservando los atributos de la primera línea.

Figura 19.

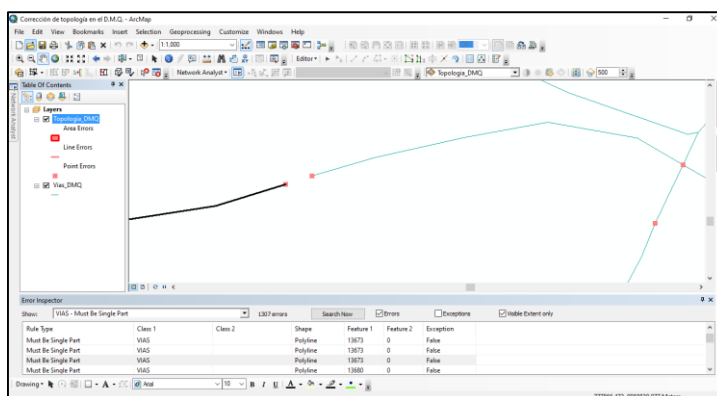
Ejemplo de regla topológica "Must Not Have Pseudo Nodes"



La Figura 20 expone un ejemplo de la regla topológica *Must Be Single Part*, esta regla requiere las entidades lineales como carreteras sean continuas y no tengan múltiples partes, para ello se empleó la herramienta *Explode*.

Figura 20.

Ejemplo de regla topológica "Must Be Single Part"



Construcción del Network Dataset

Se generó la red con las características descritas a continuación:

- Generar el Network Dataset en el Feature Dataset (FDS) en el que se corrigió la topología de vías, a través de ArcCatalog.
- En cuanto a los atributos de red, se consideró solamente la longitud expresada en kilómetros (Figura 21), a razón de la falta de información de velocidad, jerarquía o sentido del eje vial. Para los evaluadores se seleccionó el campo correspondiente a la longitud del tramo (Figura 22).

Figura 21.

Especificaciones del atributo de red

Figura 22.

Evaluadores de la red

Source	Direction	Element	Type	Value
Vias_Quito	From-To	Edge	Field	Shape_Length
Vias_Quito	To-From	Edge	Field	Shape_Length

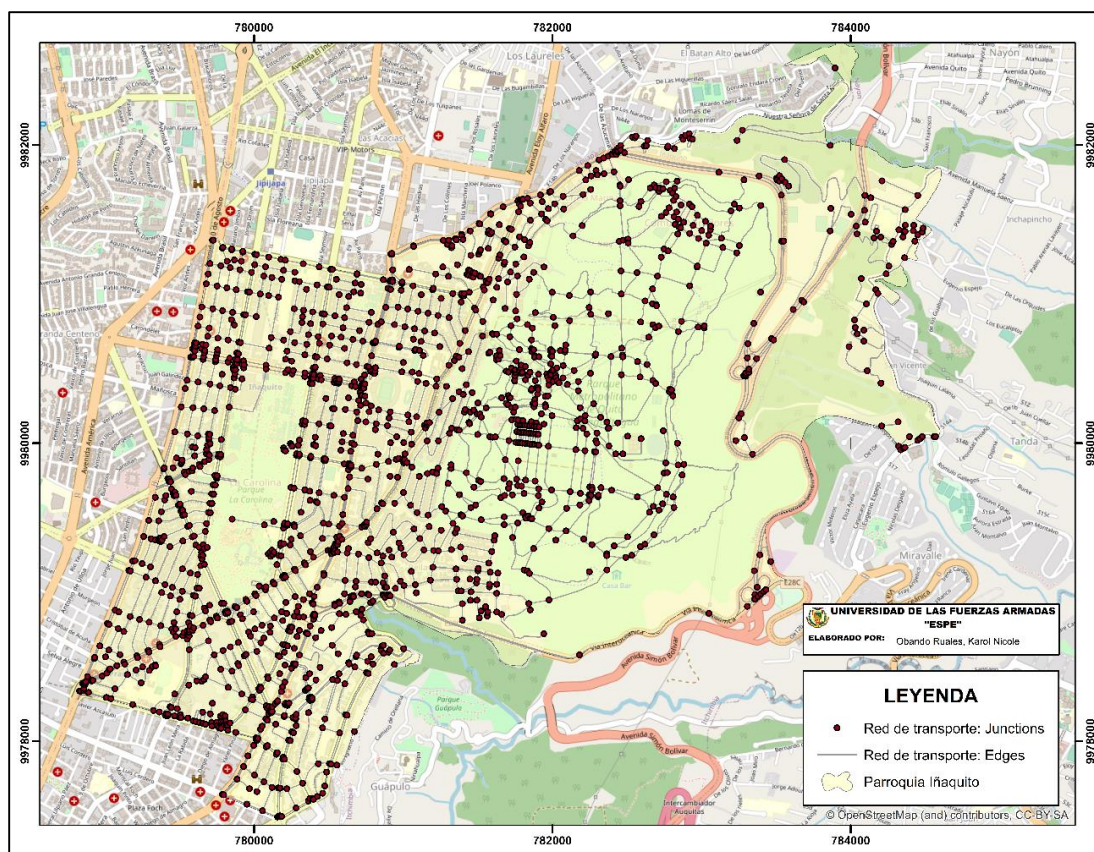
- Debido a la falta de información en el campo *Nombre* de los ejes viales, no se consideró la configuración de indicaciones de manejo en la red.

Obtención de rutas

El análisis de red se genera a partir del *Network Dataset* configurado con todos los parámetros necesarios para ejecutar la evaluación de rutas óptimas. Es por ello que llegado a este punto se emplea la herramienta *Build Network* para construir la topología de red (Figura 23).

Figura 23.

Ejemplo de la topología de red en la parroquia urbana Iñaquito



Posterior, se generó una capa vectorial correspondiente a 159 establecimientos que puedan ser adaptados como centros de vacunación masiva en el D.M.Q. Es así que, el primer análisis consistió en emplear la herramienta *Location-Allocation*, con el fin

de identificar instalaciones del sector público o privado que permitan el flujo continuo de personas sin comprometer su salud frente al contagio del SARS-CoV-2. Esta herramienta se configuró de acuerdo a los siguientes criterios:

- En el parámetro *Facilities* se seleccionó la capa de establecimientos candidatos a convertirse en centros de vacunación; mientras que, en el parámetro *Demand Points* se especificó la población crítica (en la Figura 13 se puede observar que se identificaron 22 puntos con altos niveles de vulnerabilidad). Adicionalmente, se especificó la casilla *Name* en ambas capas vectoriales y se dejó por defecto la tolerancia correspondiente a un valor de 5000 metros.
- En cuanto a la configuración de red, se trabajó bajo el modelo “Minimizar la Impedancia” debido a que acorta la distancia que el público debe recorrer para llegar a los establecimientos escogidos, así como también que dichos establecimientos tengan una cobertura máxima de acuerdo a la impedancia definida (ESRI, s. f.-f).
- En la pestaña *Analysis Settings* se estableció como Impedancia el campo *Longitud*, y que el análisis se lo realice desde *Demand Points* hacia *Facilities*. Cabe destacar que al tratarse de un ejercicio práctico no se permiten los cambios de sentido, es decir que el vehículo no pueda dar vuelta en una confluencia y regresar por la misma calle, definiéndose así a la casilla *U-Turns at Junctions* como *Not Allowed*. Por otro lado, se dejó por defecto la casilla *Output Shape Type* en *Straight Line* y se marcó la casilla *Ignore Invalid Locations* ya que el no hacerlo puede generar errores en la resolución de red.
- En la pestaña *Advanced Settings* se definió un total de 159 *Facilities To Choose* (establecimientos candidatos) y la Impedancia se dejó el valor por defecto ya que, el no establecer una tolerancia se considera usualmente más apropiado

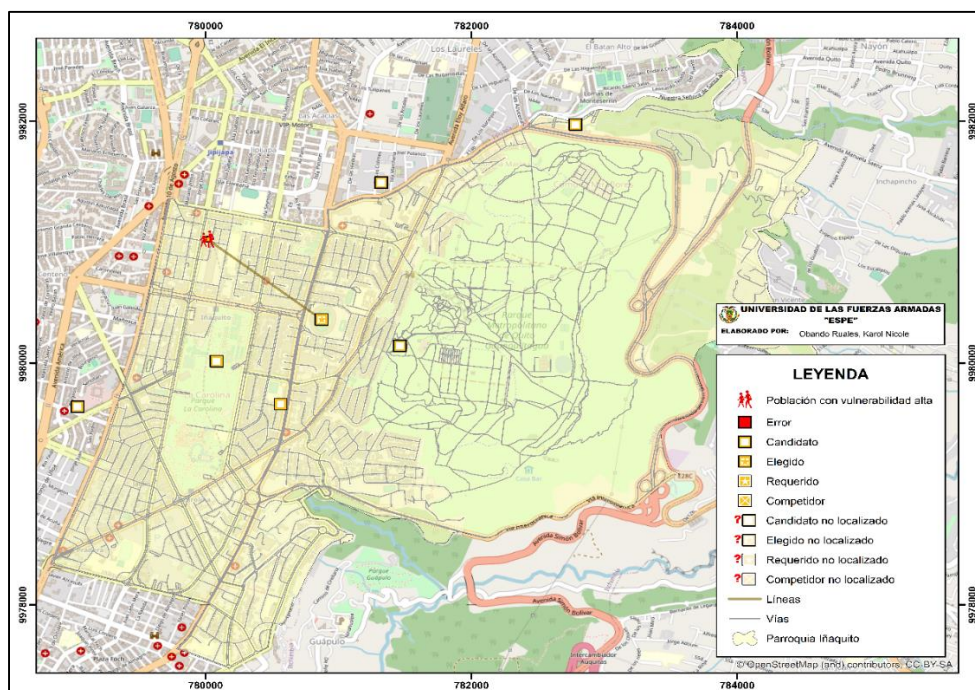
para ubicar determinadas instalaciones del sector público. Por otro lado, en la casilla *Impedance Transformation* se dejó la opción por defecto *Linear*, ya que esta transformación utiliza el valor de uno a razón de no modificar los costes (ESRI, s. f.-f).

- En la pestaña *Accumulation* se eligió el atributo de Longitud, no obstante, cabe destacar que este valor sirve como una referencia ya que el asistente usa el atributo especificado en el parámetro Impedancia (ESRI, s. f.-f).

Finalmente, se ejecutó la herramienta a través de la opción *Network Analyst > Solve* (Figura 24). A partir de este análisis, se generó una nueva capa con los establecimientos escogidos en función de la población con alta vulnerabilidad, misma que servirá para futuros análisis en cuanto se refiere a la asignación de vacunas por establecimiento.

Figura 24.

Ejemplo de la herramienta ubicación-asignación en la parroquia urbana Iñaquito.



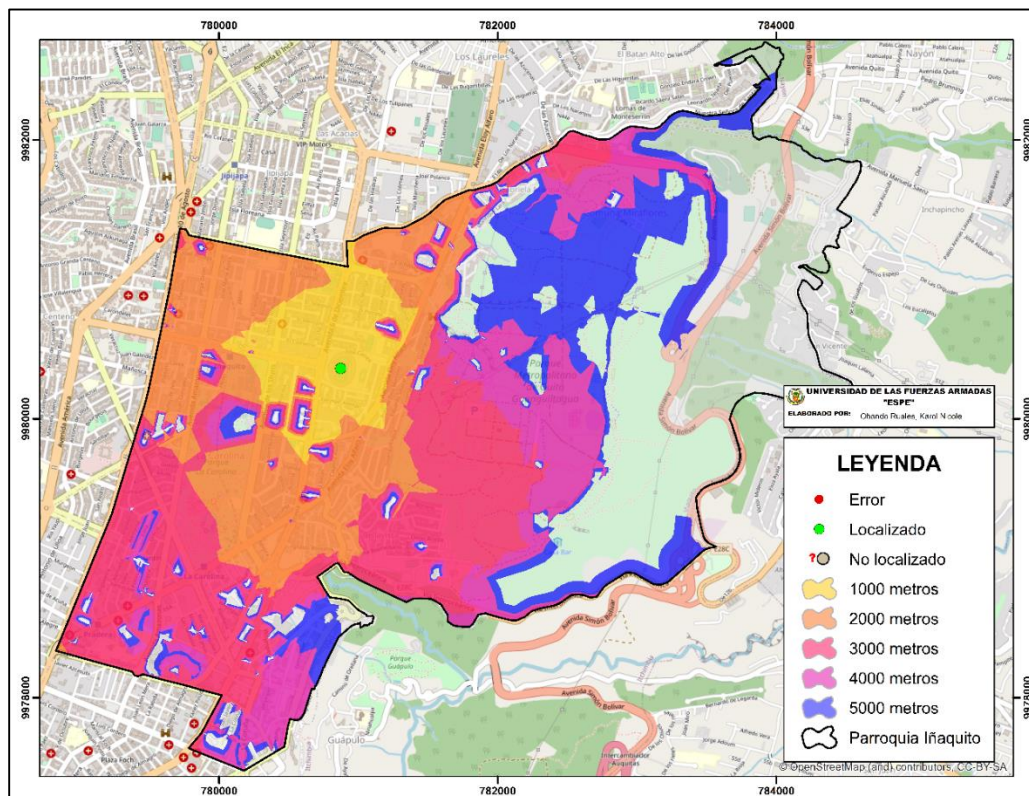
Para el segundo análisis a fin de encontrar el área de influencia en torno a los establecimientos escogidos como centros de vacunación y calcular el número de personas beneficiadas, se empleó la herramienta *Service Area* de acuerdo a los siguientes criterios:

- En el parámetro *Facilities* se cargó la capa de establecimientos seleccionados a partir del análisis de ubicación-asignación, especificándose a su vez el nombre de dichos establecimientos en la casilla *Name* y dejando por defecto la tolerancia definida en el asistente.
- En cuanto a la configuración de red, en la pestaña *Analysis Settings* se estableció como Impedancia el campo Longitud al que se le definió cortes a los 1000, 2000, 3000, 4000 y 5000 metros para analizar el comportamiento de la red y la superficie que abarcaría en la distancia definida. Para la dirección se optó por la opción *Away From Facility*, mientras que para la casilla *U-Turns at Junctions* se seleccionó la opción *Not Allowed* y se marcó la casilla *Ignore Invalid Locations* en base al razonamiento explicado para la configuración de la red Location-Allocation.
- En la pestaña *Polygon Generation* se optó por la opción *Detailed Polygon Type* dado que la red también comprende caminos rurales y de montaña, y este tipo de polígonos resultan ser significativamente más precisos para modelar las áreas de servicio (ESRI, s. f.-g). Por otro lado, en la casilla *Multiple Facilities Options* se marcó la opción *Not Overlapping* a fin de generar áreas de influencia individuales para cada instalación.
- Bajo el razonamiento empleado en el análisis anterior de Location-Allocation, en la pestaña *Accumulation* se eligió el atributo *Longitud*, convirtiéndolo en un valor

referencial. Finalmente, se ejecutó la herramienta a través de la opción *Network Analyst > Solve*, el resultado del análisis se lo puede visualizar en la Figura 25.

Figura 25.

Ejemplo de la herramienta área de servicio en la parroquia urbana Iñaquito.



Cantidad de personas beneficiadas por establecimiento

Para la asignación de dosis, se tuvo en cuenta las capas de información correspondiente al área de servicio de los establecimientos elegidos en el análisis de redes (*Location-Allocation*) y la estimación poblacional a nivel parroquial al año 2020.

Como punto de partida, se creó una malla de puntos por cada parroquia urbana y rural del D.M.Q con la intención de cuantificar la población beneficiada, para ello se empleó la herramienta *Create Random Points*, cuyo parámetro *Minimum Allowed*

Distance se especificó valores entre 5 y 10 metros dependiendo de la cantidad de personas y superficie de la parroquia. Posterior, se realizó un *Clip* seleccionando a la malla de puntos como *in_features* y a la capa de áreas de influencia como *clip_features*, para determinar el número total de personas beneficiadas.

Finalmente, se ejecutó la herramienta *Intersect* entre la capa de la población beneficiada y la capa de áreas de servicio con la finalidad de conocer la cantidad de personas que serán atendidas por establecimiento, esta información se presenta en la Tabla 25, y el proceso empleado se detalla en el Anexo 37, Anexo 38 y Anexo 39.

Tabla 25.

Número de personas beneficiadas por establecimiento según área de influencia

Establecimiento	Personas beneficiadas
<i>Población con vulnerabilidad alta</i>	
Unidad Educativa Arturo Borja	53702
Unidad Educativa Municipal Bicentenario	79922
Unidad Educativa Particular Pedro Travesari	117085
Colegio San Vicente de Paúl	43941
Coliseo de la Universidad Central del Ecuador	78152
Centro Comercial Portal Shopping	82376
Coliseo Bello Horizonte II	44540
Estadio Olímpico Atahualpa	143410
Unidad Educativa Nicolás Guillen	82379
Unidad Educativa Liceo del Sur	248374
Unidad Educativa Dr. Miguel Ángel Zambrano	46702

Unidad Educativa Lucila Santos de Arosemena	48730
Unidad Educativa Técnico Teniente Hugo Ortiz	138215
Unidad Educativa Luis Felipe Borja	13834
Unidad Educativa Abdón Calderón	99869
Unidad Educativa Jan Komensky	112196
Unidad Educativa Pisulo	25173
<i>Población con vulnerabilidad media</i>	
Unidad Educativa Arturo Borja	72335
Unidad Educativa Municipal Oswaldo Lombeyda	67592
Unidad Educativa Particular Pedro Travesari	72327
Unidad Educativa Fiscal General Pintag	540
Unidad Educativa Particular Jacinto Jijón y Caamaño	1175
Unidad Educativa Corazón de María	15494
Unidad Educativa Matovelle	2453
Universidad Politécnica Salesiana del Norte	186695
Colegio Sebastián de Benalcázar	75836
Escuela de Educación Básica Luis Napoleón Dillón	732
Escuela Lineal Equinoccial	166
Institución Educativa Guayllabamba	4129
Paseo San Francisco	9655
Coliseo de Tumbaco	7928
Coliseo de Yaruquí "Libre como el cóndor"	4179
Coliseo Municipal Puenbo	6568
Coliseo Parroquial de Atahualpa Habaspamba	185
Coliseo de Nayón	14108

Coliseo del Quinche	1780
Coliseo del Ministerio de Deportes, Carcelén	92003
Coliseo Deportivo de Calderón	59101
Coliseo María Augusta Urrutia	279959
Coliseo, San Francisco de Pita	7413
Coliseo Gabriel Vallejo	10981
Coliseo Los Quitus	99719
Coliseo de Alchipichi	336
Coliseo parroquial Lloa	2854
Coliseo parroquial Perucho	422
Estadio Rodrigo Paz Delgado	123207
CEMEXPO	12905
Parque Metropolitano Sur	25108
Universidad San Francisco de Quito	14049
Unidad Educativa Pedro José Arteta	7023
Unidad Educativa Enrique Ponce Gangotena	337
Unidad Educativa Manabí	1948
Unidad Educativa General Daniel O'leary	107795
Unidad Educativa Patria Nueva	3367
Unidad Educativa Jacinto Collahuazo	12896
Unidad Educativa Luis Felipe Borja	13791
Unidad Educativa Pisulo	17545
Unidad Educativa Nanegalito	33
Unidad Educativa Guayas	83
Unidad Educativa Agust-n Félix	573

Unidad Educativa Esmeraldas	62
Unidad Educativa Luis Sodiro	98
Unidad Educativa Cumana	431
Unidad Educativa Teniente Hugo Ortiz	37
<i>Población con vulnerabilidad baja</i>	
Escuela de Educación Básica Luis Napoleón Dillón	717
Coliseo parroquial Atahualpa Habaspamba	306
Coliseo del Quinche	3597
Coliseo, sector San Juan	217460
Coliseo parroquial Lloa	3223
Unidad Educativa Enrique Ponce Gangotena	337
Unidad Educativa María José Velasco Ibarra	9947
Unidad Educativa Patria Nueva	6360
Unidad Educativa Esmeraldas	40
Unidad Educativa Nanegal	27
Unidad Educativa Luis Sodiro	98
Unidad Educativa Teniente Hugo Ortiz	37
Unidad Educativa San José de Minas	383

Nota: el análisis fue ejecutado para la población con alta, media y baja vulnerabilidad.

La segunda columna corresponde a la cantidad de población que se beneficiará al instalar una brigada de vacunación en el establecimiento propuesto. Corte de la información al 13/06/2021.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

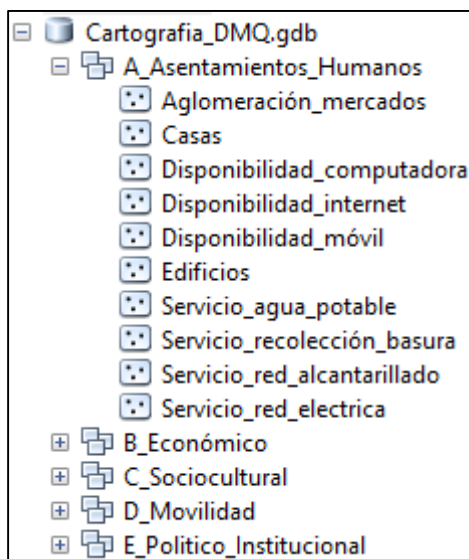
Los resultados se presentan de acuerdo al flujograma expuesto en el capítulo III y a las metas establecidas para el proyecto de investigación; resaltando así, las potencialidades de los sistemas de información geográfica en el ámbito de análisis, seguimiento y control de casos epidemiológicos.

Geodatabase de variables sociodemográficas, económicas y sanitarias

Se diseñó y estructuró la base de datos en función de los componentes de Ordenamiento Territorial (Figura 26), cuyas características tales como geometría, año de elaboración, sistema de referencia/proyección y fuente, se especifican en la Tabla 5, Tabla 6, Tabla 7, Tabla 8 y Tabla 9 descritas en el apartado *Recopilación de información del Capítulo III – Metodología*.

Figura 26.

Geodatabase del proyecto de investigación



La geodatabase comprende un total de 31 coberturas proporcionadas por diversas entidades correspondientes al sector público o bases de datos de libre acceso como son las plataformas del “Gobierno Abierto de Quito” y “OpenStreetMap”, dicha información fue escogida según su disponibilidad, vigencia y relación con el tema de estudio. Además, en cada capa se definió los atributos requeridos para el análisis espacial, mismos que podrán ser ampliados en el caso de potenciar el proyecto al incluir nueva información o redirigir el enfoque de la investigación.

La información obtenida es accesible, veraz y confiable de manera que sirva como un apoyo en la toma de decisiones para proyectos en el campo de la geografía y salud, así como también que permita la replicabilidad de la metodología en diferentes ámbitos de la ciencia.

Análisis de vulnerabilidad poblacional frente al contagio de SARS-CoV-2 en el D.M.Q.

A lo largo del tiempo, se ha estudiado el concepto de vulnerabilidad como la propensión de una entidad (persona, edificio, comunidades, etc.) a sufrir daños a causa de un fenómeno externo; sin embargo, la percepción de dicho concepto ha evolucionado ya que dentro del mismo también se ha tomado en cuenta el estar en capacidad de generar o amplificar dichos daños (D’Ercole & Metzger, 2004).

Es en este contexto que para el estudio se han considerado como principales elementos de un territorio: la densidad poblacional, disponibilidad de servicios básicos, infraestructura y servicios médicos, los cuales poseen el control de aumentar o reducir la vulnerabilidad. Bajo este razonamiento, se prevé que aquellas zonas que presentan una elevada oferta y demanda de estos elementos, serán más propensas a presentar altos niveles de vulnerabilidad ya que constituyen un foco de infección (la Tabla 14

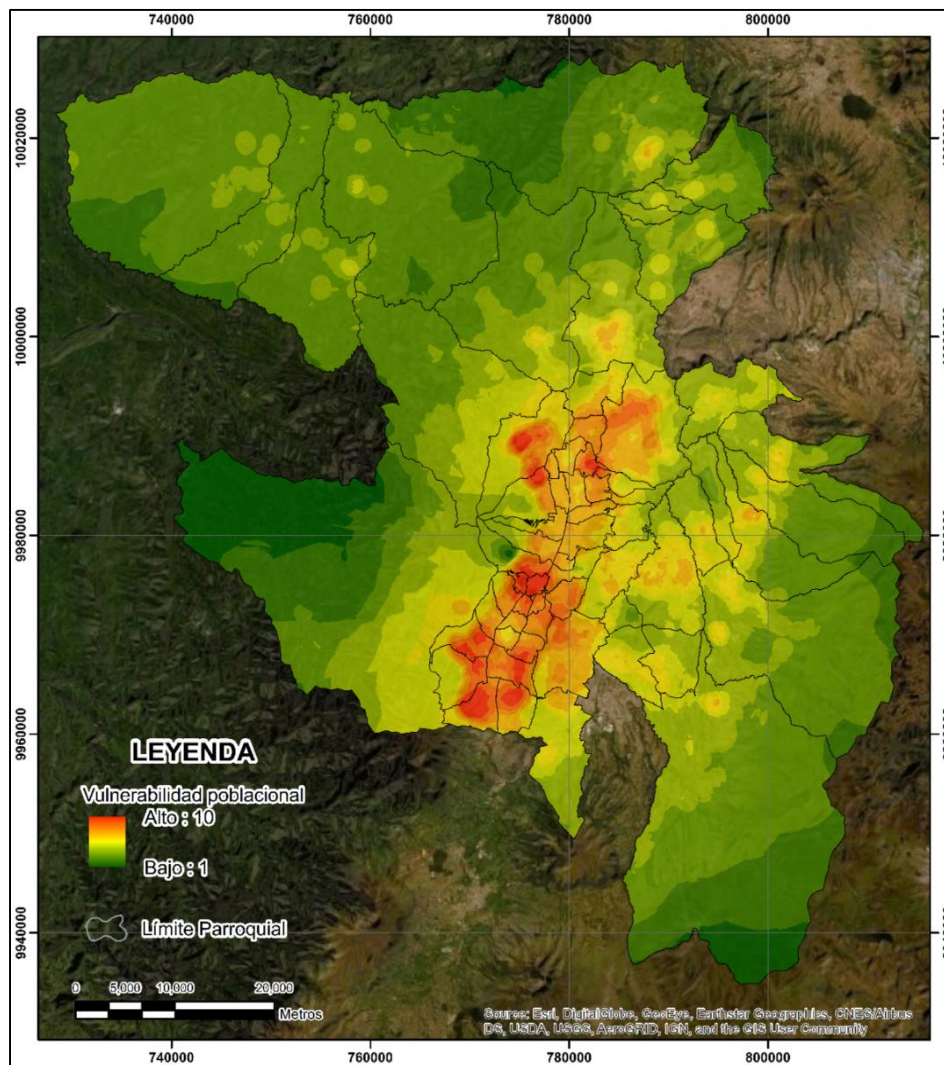
detalla cómo fueron consideradas las variables frente a un escenario de pandemia); mientras que, aquellas zonas o comunidades asentadas en parroquias rurales registrarán bajos niveles de vulnerabilidad al verse menos expuestas ante estos elementos.

Es así que, el análisis geoespacial de un conjunto de variables (Anexo 4 - Anexo 32), permitió generar un modelo de vulnerabilidad y demostrar el análisis que se consideró anteriormente al identificar la población crítica del Distrito Metropolitano de Quito (Figura 27). El modelo fue validado al ser analizado junto al número de casos confirmados de COVID-19 a nivel parroquial, datos que fueron proporcionados por la Dirección Nacional de Estadística y Análisis de Información de Salud perteneciente al Ministerio de Salud Pública del Ecuador (Figura 28).

Cabe destacar, que la aplicación de lógica difusa en estudios orientados a gestionar recursos sanitarios, es una forma adecuada de proporcionar a los profesionales de salud, el apoyo que necesitan en el manejo de conceptos lingüísticos para minimizar la pérdida de precisión en el mundo de la medicina. Es decir, que la lógica difusa dispone de una metodología similar a la que los seres humanos toman decisiones, permitiendo al experto en salud, establecer criterios en base a un juicio intuitivo en el que se consideran varios parámetros al percibir la situación de un todo.

Figura 27.

Mapa de vulnerabilidad poblacional frente al contagio por SARS-CoV-2 en el D.M.Q.



Efectivamente se determinó que la población con altos niveles de vulnerabilidad se concentra en su mayoría en parroquias urbanas del D.M.Q., identificando como nivel 10 (atención prioritaria e inmediata) a las parroquias de Centro Histórico, Chillogallo, Cochapamba, Comité del Pueblo, El Condado, Guamaní, La Ecuatoriana, La Libertad, Quitumbe y Turubamba; como nivel 9 a las parroquias: Carcelén, Chilibulo, Chimbacalle, La Argelia, La Ferroviaria, La Magdalena, Puengasí, San Isidro del Inca,

Calderón, Conocoto y Llano Chico; y finalmente como nivel 8 a las parroquias de Belisario Quevedo, Cotocollao, Iñaquito, Itchimbia, Jipijapa, Kennedy, La Concepción, La Mena, Mariscal Sucre, Pomasqui, Ponceano, Rumipamba, San Bartolo y Solanda. Adicionalmente, se analizó el modelo a una unidad de terreno más pequeña, detallando así en la Tabla 26, la lista de barrios que registran un alto nivel de vulnerabilidad.

Tabla 26.

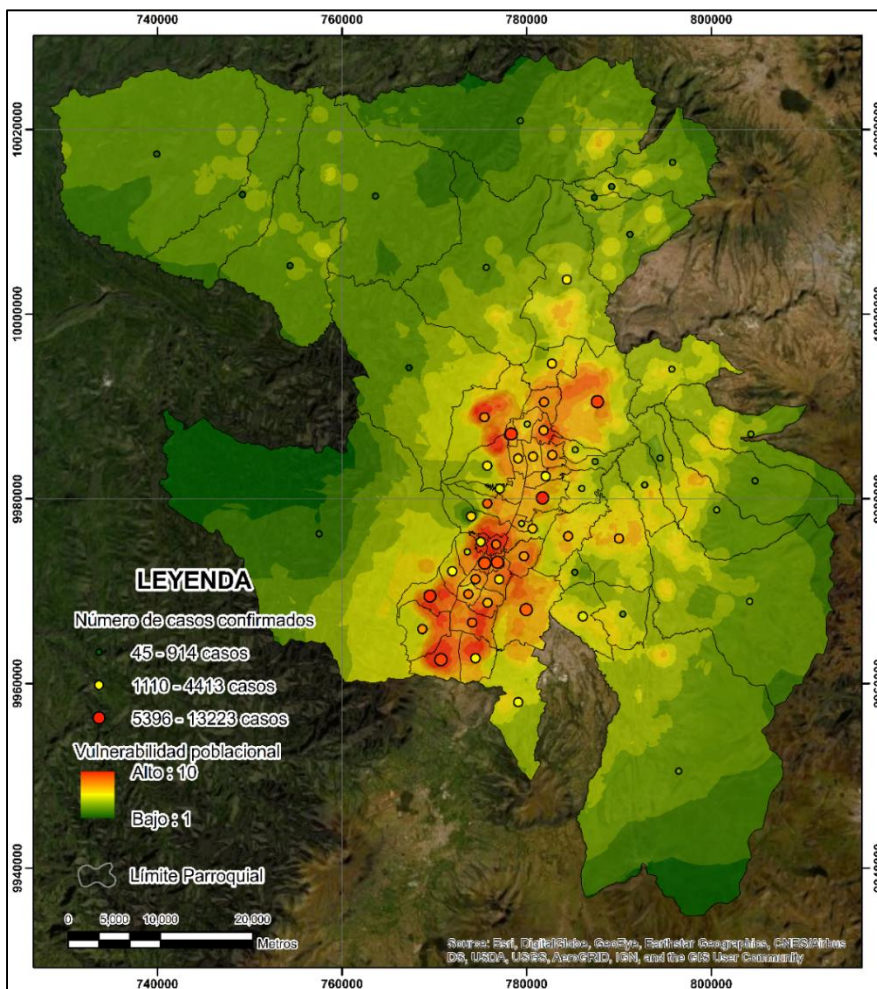
Barrios con altos niveles de vulnerabilidad, total de casos confirmados de COVID-19

Parroquia	Barrios	Total casos confirmados
<i>Población con vulnerabilidad alta (Nivel 10)</i>		
Centro Histórico	La Merced, San Marcos, La Tola, San Diego, Gonzales Suarez, La Victoria, San Roque, San Blas, La Sena, San Sebastián, Panecillo	3734
Chillogallo	Nueva Vida, Venceremos, Santa Martha Alta, San Antonio, Santa Rosa, Camilo Ponce, La Estancia, Buenaventura, San Luis, La Libertad	12210
Cochapamba	Ruperto Alarcón, Pablo Arturo Suarez, El Bosque, Atucucho	1564
Comité del Pueblo	Comité del Pueblo, La Bota	2308
El Condado	Santa Anita Alta, Pisuli	2548
Guamaní	S. Tospamba, Los Pedestales, Esperanza de Guamal	7164
La Ecuatoriana	La Merced, Manuela Saenz, 2 de Febrero	2533
La Libertad	La Libertad Bajo, Josefina Enríquez, La Libertad Alto, Dos Puentes, La Cantera, Santa Lucía Baja, Colmena Alta	1042
Quitumbe	San Martín Porras, Pueblo Unido, Tréboles del Sur	3949
Turubamba	Músculos y Rieles, Caupicho I, San Blas I, Caupicho III	1350

Nota: el número de casos confirmados de COVID-19 son estadísticas registradas hasta el 13/06/2021, fecha en la que se obtuvo la información.

Figura 28.

Mapa del número de casos confirmados por parroquia en el D.M.Q.



Comparar las estadísticas de casos confirmados (Tabla 26) junto a las zonas vulnerables a nivel parroquial (Figura 28) representan un indicador de cuán efectivo es la metodología empleada para generar modelos locales que se aproximen a la realidad de la pandemia. Por otro lado, los elementos territoriales tomados en cuenta resultan ser uno de los diversos medios para estudiar los niveles de vulnerabilidad de un territorio sin verse limitado por el comportamiento de un determinado fenómeno, en el presente caso la propagación del SARS-CoV-2 en el D.M.Q. No obstante, el análisis de

dichos elementos territoriales comprende un proceso que puede ser potenciado al incluir una infinidad de variables asociadas al tema.

Análisis de la ubicación de establecimientos en función de la vulnerabilidad poblacional

Como primer paso, se generó una capa vectorial (tipo punto) con un total de 159 atributos que representan tanto los centros de vacunación actuales del D.M.Q., como los potenciales establecimientos a los que puedan destinarse brigadas de vacunación, entre ellos: escuelas, colegios, universidades, coliseos, estadios y centros comerciales (puntos de vacunación exprés). Cabe destacar, que estos centros fueron elegidos en aquellas parroquias que no han sido consideradas por el actual plan de vacunación, así como también que se caractericen por contar con un espacio ideal, es decir, que no supongan un riesgo de contagio al permitir el flujo continuo de personas en las instalaciones. Consecuente, la red vial obtenida de *OpenStreetMap* permitió precisar la accesibilidad desde las zonas vulnerables previamente identificadas hacia los establecimientos candidatos; siendo la extensión de *Network Analyst*, la herramienta fundamental para la ejecución del proyecto.

El proceso para generar la red de análisis partió de la corrección topológica de 46032 inconsistencias al seguir la metodología descrita en el apartado *Detección y corrección de errores topológicos del Capítulo III – Marco Teórico*. Por otro lado, la precisión de la red depende de la información proporcionada por la misma en cuanto se refiere a velocidad, dirección, nodos, restricciones, entre otras características que permiten mejorar el análisis. Además, la red se encuentra condicionada para que los cálculos de ubicación-asignación y áreas de servicio sean acorde al sentido de circulación vial, es decir, transitar por las vías sin barreras físicas en la misma. Se debe

señalar que la metodología no es rígida en cuanto a la población objetivo, sino que puede estar sujeta a cambios de manera que puede ser replicada en el caso de tener un enfoque diferente.

La ejecución de la herramienta *Location-Allocation* de la extensión *Network Analyst* identificó un total de 17 establecimientos en función de la población altamente vulnerable (Figura 29); mientras que, los nombres de cada establecimiento acorde a la parroquia en la que se ubican, se describen en la Tabla 27.

Figura 29.

Mapa de los establecimientos escogidos en función de la vulnerabilidad poblacional.

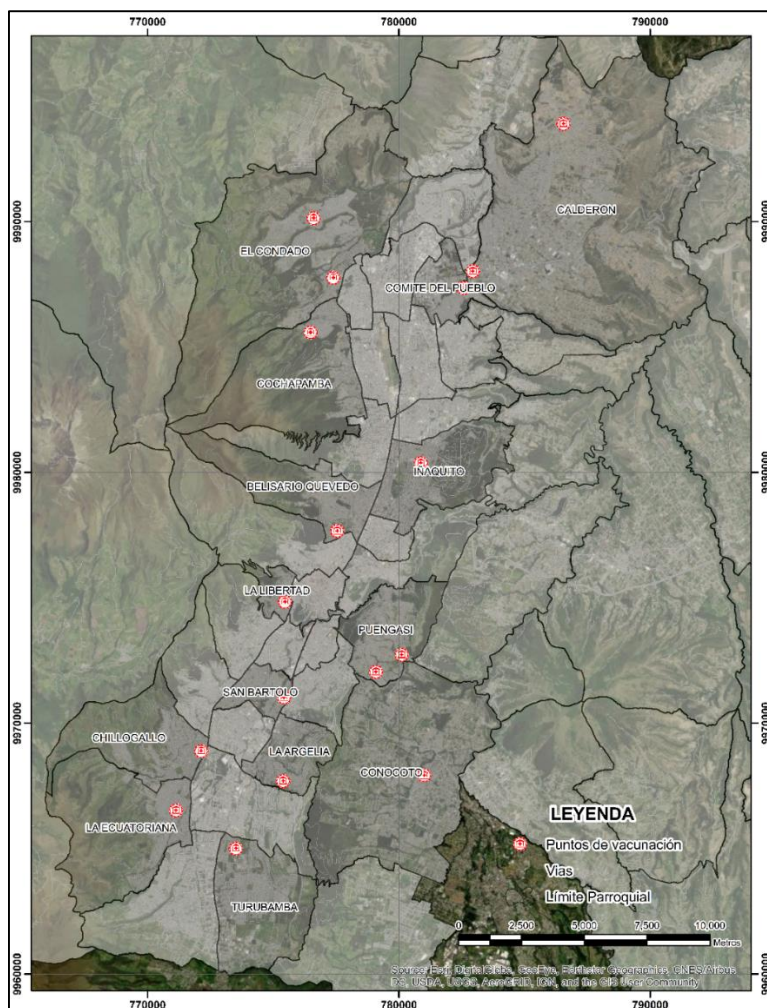


Tabla 27.

Nombre de los establecimientos escogidos en función de la vulnerabilidad poblacional

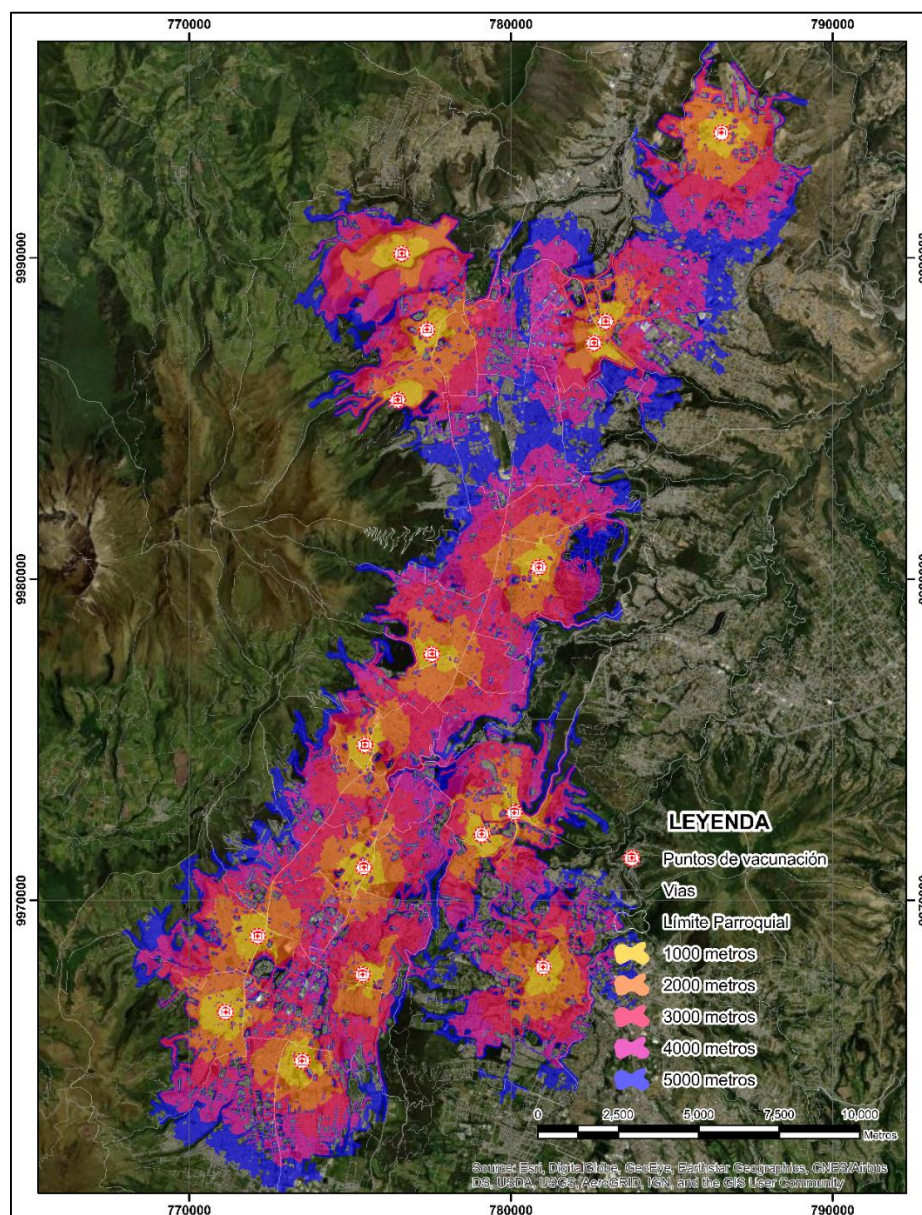
Parroquia	Establecimientos
<i>Población con vulnerabilidad alta</i>	
Belisario Quevedo	Coliseo de la Universidad Central del Ecuador
Calderón	Coliseo Bello Horizonte II
	Centro Comercial Portal Shopping
Chillo Gallo	Unidad Educativa Particular Pedro Travesari
Cochapamba	Unidad Educativa Luis Felipe Borja
Comité del Pueblo	Unidad Educativa Abdón Calderón
Conocoto	Colegio San Vicente de Paúl
El Condado	Unidad Educativa Pisulo
	Unidad Educativa Jan Komensky
Iñaquito	Estadio Olímpico Atahualpa
La Argelia	Unidad Educativa Nicolás Guillen
La Ecuatoriana	Unidad Educativa Arturo Borja
La Libertad	Unidad Educativa Técnico Teniente Hugo Ortiz
Puengasi	Unidad Educativa Lucila Santos de Arosemena
	Unidad Educativa Dr. Miguel Ángel Zambrano
San Bartolo	Unidad Educativa Liceo del Sur
Turubamba	Unidad Educativa Municipal Bicentenario

En la Tabla 27 se especifican nombres de actuales centros de vacunación como lo es el Coliseo de la Universidad Central del Ecuador, Unidad Educativa Particular Pedro Travesari, Colegio San Vicente de Paúl y la Unidad Educativa Municipal Bicentenario, instalaciones cuya decisión fue acertada al formar parte del plan de vacunación, ya que proporcionan una cobertura de inmunización a determinadas zonas vulnerables identificadas en la Figura 27, no obstante, no toda la población crítica es atendida por los actuales centros, por ello el proyecto de investigación proporciona una

lista de establecimientos que se caracterizan por poseer una posición geográfica estratégica, que permita brindar una atención inmediata y ofrecer una cobertura máxima de la población localizada en torno a cada establecimiento (Figura 30).

Figura 30.

Área de servicio de los establecimientos escogidos en función de la vulnerabilidad poblacional.



En el listado de establecimientos que pueden ser adaptados como centros de vacunación, destacan dos nombres, el primero corresponde al Estadio Olímpico Atahualpa el cual fue considerado principalmente por el espacio y ubicación, convirtiéndolo así en un lugar ideal al instalar carpas y demás servicios que pueden ser proporcionados por el Ministerio de Salud Pública o por las Fuerzas Armadas del Ecuador, así como también al contar con la capacidad de albergar alrededor de 49.319 personas en sus instalaciones (Ministerio del Deporte, 2016).

El segundo nombre corresponde al Centro Comercial Portal Shopping, ubicado en la parroquia Calderón; esta instalación fue considerada como "Punto de vacunación Exprés" al pretender replicar la iniciativa empleada en el Mall del Sol en la ciudad de Guayaquil, centro comercial en el que actualmente cuenta con alrededor de 50 personas encargadas de la logística e inoculación de pacientes sin descender de los vehículos (Ministerio de Salud Pública, 2021).

Por otra parte, el número total de dosis se obtuvo acorde a la metodología planteada en el apartado *Cantidad de personas beneficiadas por establecimiento del Capítulo III – Metodología*, la cual permitió determinar la población que se vería beneficiada en función al área de servicio por establecimiento, misma que fue definida en un rango de 1000 a 5000 metros tal como lo indica la Figura 30.

En cuanto al análisis de los resultados obtenidos de este proceso, la tercera columna de la Tabla 28 representa una dosis por persona, pues en un principio las vacunas adquiridas por el Gobierno deberán ser repartidas acorde a la población vulnerable de todos los establecimientos; sin embargo, es conocido que se necesitan de dos dosis para alcanzar un determinado grado de efectividad según el tipo de vacuna. Por tal razón, el número de dosis fue duplicado para estimar la cantidad total que

deberá ser destinada a cada establecimiento, información que se presenta en la cuarta columna de la Tabla 28.

Es necesario resaltar la importancia de establecer alianzas entre las entidades públicas y privadas, pues como se describe en la Tabla 28, el análisis considera establecimientos de ambos sectores, cuyo objetivo en común es aportar el espacio ideal y equipamiento necesario que permitan el flujo continuo de personas dispuestas a ser inmunizadas contra el SARS-CoV-2, bajo un proceso ordenado y transparente que salvaguarde la salud y seguridad de los quiteños en el contexto de transmisión comunitaria a causa de la actual pandemia.

Tabla 28.

Cantidad total de dosis necesarias por establecimiento

Parroquia	Establecimientos	Dosis asignadas	Total dosis
<i>Población con vulnerabilidad alta</i>			
Belisario Quevedo	Coliseo de la Universidad Central del Ecuador	78152	156304
Calderón	Coliseo Bello Horizonte II	44540	89080
	Centro Comercial Portal Shopping	82376	164752
Chillogallo	Unidad Educativa Particular Pedro Travesari	117085	234170
Cochapamba	Unidad Educativa Luis Felipe Borja	13834	27668
Comité del Pueblo	Unidad Educativa Abdón Calderón	99869	199738
Conocoto	Colegio San Vicente de Paúl	43941	87882
El Condado	Unidad Educativa Pisulo	25173	50346
	Unidad Educativa Jan Komensky	112196	224392

Iñaquito	Estadio Olímpico Atahualpa	143410	286820
La Argelia	Unidad Educativa Nicolás Guillen	82379	164758
La Ecuatoriana	Unidad Educativa Arturo Borja	53702	107404
La Libertad	Unidad Educativa Técnico Teniente Hugo Ortiz	138215	276430
Puengasi	Unidad Educativa Lucila Santos de Arosemena	48730	97460
	Unidad Educativa Dr. Miguel Ángel Zambrano	46702	93404
San Bartolo	Unidad Educativa Liceo del Sur	248374	496748
Turubamba	Unidad Educativa Municipal Bicentenario	79922	159844

Modelo cartográfico de análisis geoespacial para la distribución de vacunas contra el SARS-CoV-2

Basado en los objetivos planteados para el proyecto de investigación, se realizó un modelo cartográfico para responder a cada necesidad a través de la ejecución de herramientas GIS. El modelo integra un conjunto de variables y herramientas que al ser ejecutadas permiten generar escenarios que orientan al uso y distribución de recursos sanitarios (vacunas), no obstante, la metodología no es rígida, es decir que si bien en el modelo se establecen vínculos y relaciones espaciales entre todas las coberturas de información, éstas pueden ser modificadas acorde al criterio del usuario, así como también que sea empleado como una herramienta de apoyo para los tomadores de decisiones al contar con información digital y de consulta directa para cuantificar las vacunas que serán destinadas a la población crítica, en este caso del D.M.Q.

El modelo cartográfico que se presenta por secciones en el Anexo 33, Anexo 34, Anexo 35, Anexo 36, Anexo 37, Anexo 38 y Anexo 39 distingue cuatro etapas:

- En primer lugar, se analiza un conjunto de 29 variables de carácter sociodemográfico, económico y sanitario;
- En segundo, se configura la red acorde a la disponibilidad de información en la misma, en el presente caso, que los vehículos puedan transitar sin barreras físicas y en la dirección acorde al trazo del eje vial;
- En tercer lugar, se identifican los establecimientos que pueden ser adaptados como centros de vacunación y a partir de ellos, definir la cobertura que proporcionarían a la población vulnerable;
- Finalmente, en cuarto lugar, se determina la cantidad de dosis que deberán ser asignadas a cada una de las instalaciones.

Con los resultados obtenidos es posible constatar que la metodología empleada constituye una primera aproximación para determinar la vulnerabilidad poblacional y la ubicación estratégica de centros de vacunación a través del apoyo de herramientas geo-informáticas, pese a que la integración de variables complementarias mejoraría el proceso de análisis y, por ende, sus resultados.

Geoformulario de personas inmunizadas contra el SARS-CoV-2

La importancia de los formularios de vacunación radica especialmente en generar un registro de los pacientes inmunizados en cuanto se refiere a los datos tanto personales como los de la vacuna administrada. Por otro lado, la integración de esta información en una base de datos permitirá a los profesionales de la salud y autoridades gubernamentales monitorear el progreso del proceso de vacunación para una posterior planificación en cuanto al manejo eficiente de los recursos.

Actualmente, ya se cuenta con algún tipo de registro o carnet de vacunación físico, sin embargo, dicha información se encuentra desagregada en diferentes bases de datos que son posteriormente unificadas y actualizadas, por ello, el proyecto de investigación propone el diseño de un geoformulario a través de la plataforma *ArcGIS Survey123* cuyo enfoque se centra en la recolección de información que permitan crear encuestas y compartir resultados en tiempo real. La ventaja de esta plataforma es la captura continua de datos a través de dispositivos móviles o de la web sin conexión a internet, así como también, en el caso de administrar varios equipos en distintos centros de vacunación, los formularios estandarizados registrarán la información en una única base de datos (Aeroterra S.A., 2021).

El geoformulario propuesto se divide en dos secciones, en primer lugar (Figura 31), se solicita registrar de manera obligatoria los datos personales del paciente tales como tipo de identificación, identificación, nombres y apellidos, fecha de nacimiento, número de teléfono/celular y el correo electrónico; en segundo lugar (Figura 32), se requiere seleccionar los datos relacionados al centro de vacunación, número de dosis, fecha de inmunización, tipo de vacuna, número de lote y nombre del vacunador. A continuación, se dispone del link mediante el cual puede accederse a la ficha de inmunización: <https://arcg.is/1XfrCf>

Lo interesante del diseño establecido, es que en la opción *Centro de vacunación* se despliega una lista, la cual, para fines relacionados al proyecto, se detallan los nombres de los 17 establecimientos identificados a partir del análisis geo-espacial expuesto en el apartado *Análisis de la ubicación de establecimientos en función de la vulnerabilidad poblacional del Capítulo IV- Resultados*. Cabe destacar que cualquier campo puede ser modificado acorde a la información que se desee registrar, ya sea al aumentar o eliminar los campos propuestos en el diseño.

Figura 31.

Sección A de la Ficha de inmunización contra el SARS-CoV-2

FICHA DE INMUNIZACIÓN CONTRA EL SARS-CoV-2

El objetivo principal de esta ficha es apoyar en el registro de información del Plan de Vacunación - Ecuador a fin de cuantificar el número de personas inoculadas en el país; además de contar con una base de datos necesaria para posteriores agendamientos de vacunación.
La ficha comprende dos secciones, las cuales son descritas a continuación:

Sección A. Datos personales

1. Tipo de identificación*

-Seleccione-

2. Identificación*

Ingrese el número de identificación

3. Nombres y Apellidos*

Apellido Apellido, Nombre Nombre

Figura 32.

Sección B de la Ficha de inmunización contra el SARS-CoV-2

Sección B. Detalles de la vacuna

En esta sección se describirán las características de la vacuna proporcionada

7. Centro de vacunación*

-Seleccione-

8. Número de dosis*

Primera dosis

Segunda dosis

9. Fecha de inmunización*

dd/mm/yyyy

10. Tipo de vacuna*

-Seleccione-

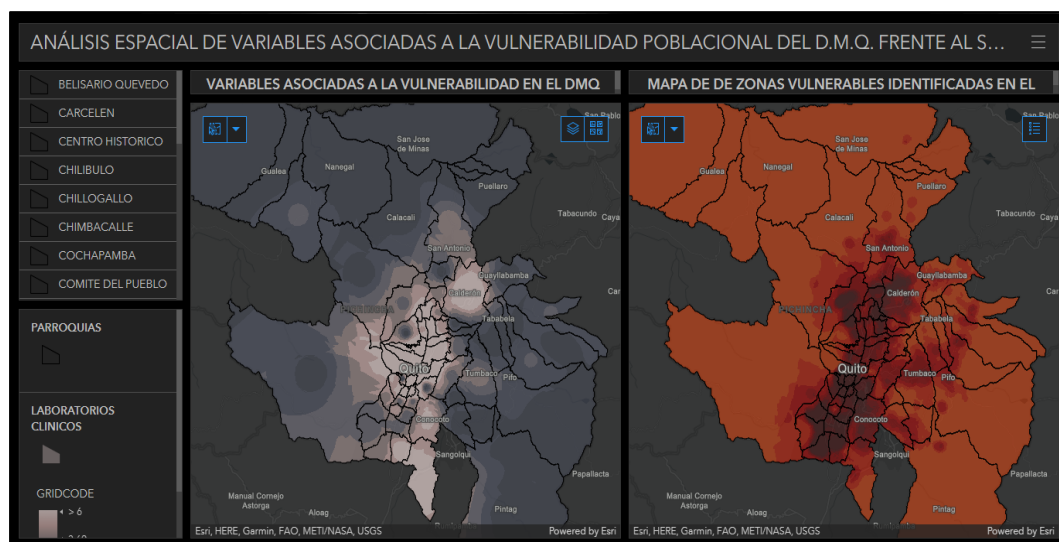
Dashboard de operaciones para la visualización de variables asociadas al análisis de la vulnerabilidad poblacional en el D.M.Q.

Como un producto adicional a las metas propuestas en el proyecto de investigación, se obtuvo un visualizador (Figura 33) desarrollado a través de Operations Dashboard for ArcGIS al contar con la licencia académica. El Dashboard está compuesto por dos mapas, el primero (ubicado a la izquierda del panel de visualización) corresponde al producto final del análisis espacial de cada una de las 29 variables mencionadas en la Tabla 13, al emplear la metodología respaldada en el modelo cartográfico detallado en el apartado *Anexos* (Anexo 33 – Anexo 39). Por otro lado, el segundo mapa (ubicado a la derecha del panel de visualización) corresponde al mapa de vulnerabilidad poblacional del D.M.Q. A continuación, se dispone del link mediante el cual puede accederse al Dashboard:

<https://www.arcgis.com/apps/dashboards/589d89dc7fcc4e0cbb86648a4f9fa9b4>

Figura 33.

Vista principal del Dashboard de variables asociadas al análisis de vulnerabilidad poblacional en el D.M.Q.



La importancia de la difusión de información concerniente a la identificación de los niveles de vulnerabilidad poblacional, así como la concentración de determinados servicios (disponibilidad de comunicación móvil, centros de salud, etc) o variables relacionadas al estudio (casos confirmados, casos fallecidos, tasa de mortalidad, etc.), radica en proporcionar una herramienta de apoyo dirigida a los tomadores de decisiones en relación al actual plan de vacunación y la logística de distribución de insumos y personal médico en el D.M.Q.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones y recomendaciones se describen acorde al orden de los objetivos propuestos para el proyecto de investigación; resaltando así, las ventajas y limitaciones que se presentaron a lo largo de la ejecución del mismo.

Conclusiones

La información recopilada de instituciones pertenecientes al sector público y plataformas de libre acceso, fue previamente depurada y estandarizada bajo un mismo sistema de proyección correspondiente a WGS84/UTM Zona 17 Sur, proceso a partir del cual se construyó una Geodatabase tomando como referencia los componentes de Ordenamiento Territorial. Cabe destacar que la estructura permite almacenar futuras variables que se deseen integrar al proyecto.

El análisis geoespacial del conjunto de variables permitió identificar la población vulnerable del D.M.Q., así como también determinar patrones espaciales correspondientes a la influencia directa o inversa de cada variable en el modelo. No obstante, si bien se analizó una cantidad considerable de información, sus resultados no son absolutos y concluyentes, pues el mundo se enfrenta a condiciones espacio-temporales que están sujetos a un constante cambio, por ende, es indispensable que las entidades involucradas en el estudio como el Instituto de Estadísticas y Censos, Servicio Integrado de Seguridad ECU 911, Ministerio de Salud Pública del Ecuador y demás, generen información actualizada y detallada que permita modelar de forma continua este tipo de fenómenos con un menor grado de generalización.

Tras el análisis de vulnerabilidad poblacional, se deduce que la metodología propuesta y respaldada en el modelo cartográfico (Anexo 33 – Anexo 37), es un instrumento e insumo en el que los planificadores y autoridades gubernamentales se deben apoyar para la toma de decisiones desde una perspectiva más amplia, al priorizar y controlar zonas que resultan ser un foco de contagio, disminuyendo así, los riesgos epidemiológicos actuales.

La metodología descrita en el modelo cartográfico (Anexo 33 – Anexo 39) y aplicada en el D.M.Q., es uno de los primeros casos realizados en territorio ecuatoriano que involucra el análisis de vulnerabilidad poblacional, ubicación geográfica estratégica de centros de vacunación y herramientas GIS que cuantifiquen la cantidad de vacunas acorde al nivel de vulnerabilidad previamente identificado, demostrando así, la potencialidad de los sistemas de información geográfica en el campo de la salud, al analizar y modelar variables que permitan una planificación completa en la gestión de recursos sanitarios y un proceso organizado de inmunización local.

En el apartado *Análisis de vulnerabilidad poblacional frente al contagio de SARS-CoV-2 del Capítulo IV – Resultados*, se logró demostrar que en su mayoría parroquias urbanas como: Centro Histórico, Chillogallo, Cochapamba, Comité del Pueblo, El Condado, Guamaní, La Ecuatoriana, La Libertad, Quitumbe y Turubamba, presentan elevados niveles de vulnerabilidad al concentrar en su territorio una gran cantidad de servicios, infraestructura y población que, bajo el enfoque y tratamiento de las variables de estudio, constituyen un foco de contagio local, afirmación que es respaldada al comparar dichas parroquias junto a su respectivo número oficial de casos confirmados de COVID-19. Sin embargo, aquellas parroquias que registran bajos niveles de vulnerabilidad también se han visto afectadas al no contar con un adecuado sistema de salud o centro de vacunación que brinde cobertura a su población.

El aprovechamiento de herramientas geo-informáticas permitió identificar los establecimientos que pueden ser adaptados como centros de vacunación acorde a la movilidad y accesibilidad en entornos urbanos y rurales del D.M.Q., así como también, la cantidad total de vacunas que deberán ser destinadas a cada instalación. No obstante, la metodología empleada debe ser adaptada a las condiciones espacio-temporales a las que se enfrenta la población objetivo, ya que, no es lo mismo analizar la vulnerabilidad cuando se dispone de un determinado número de casos confirmados de COVID-19 frente a la cantidad de casos que se registrarán en los próximos días, meses e inclusive años.

La disponibilidad de una base de datos cartográfica adecuada e identificación de diversos tipos de obstáculos como barreras físicas que ralenticen la movilidad, son un aspecto esencial que permiten mejorar el análisis de redes y, por ende, evaluar la accesibilidad a los centros de vacunación, no obstante, pese a no contar con una cartografía de vías con dichos atributos, se realizó el análisis en base a la longitud del tramo vial, pues el estudio se enfoca a la cobertura máxima de la población y no a un diseño específico de rutas.

El modelo cartográfico propuesto (Anexo 33 – Anexo 39), representa una primera aproximación del conjunto de geoprocesos empleados para determinar el modelo de distribución de vacunas contra el SARS-CoV-2, pese a que la integración de más variables en la primera etapa mejoraría el modelo de vulnerabilidad y, por ende, se identificaría con mayor precisión la población crítica del D.M.Q., o de cualquier otra zona de estudio en la que se desee replicar la metodología.

La propuesta de implementar un geoformulario (Figura 31 y Figura 32) al plan de vacunación radica en la importancia de unificar la información de los pacientes en una

única base de datos automatizada para la edición y continua actualización, de forma que tanto el personal de salud como las personas inmunizadas puedan acceder a la información en tiempo real.

Se comprueba la hipótesis del proyecto de investigación al proponer una metodología que permite mejorar la logística y gestión de recursos sanitarios, y a su vez, destaca por incorporar criterios y técnicas de análisis espacial, lógica difusa, evaluación multicriterio y demás geoprocetos, que facilitaron analizar la vulnerabilidad de la zona de estudio para priorizar la población objetivo a través de la cual, se pretende controlar y contener la propagación del SARS-CoV-2.

Recomendaciones

Si bien no resultó ser un limitante, es fundamental trabajar con datos actualizados para obtener un mejor resultado, sobre todo contar con información real de la población, ya que esta variable tuvo un rol principal en la estimación de la cantidad de dosis que deberán ser asignadas a cada establecimiento, para ello dicha variable fue estimada al emplear la metodología de ajuste de las estructuras poblacionales mediante niveles de proporcionalidad de la población, propuesta por la actual Secretaría Técnica Planifica Ecuador en el año 2013.

En cuanto al análisis e integración de métodos de evaluación y decisión multicriterio en cada variable, sería importante contar con el apoyo de un equipo multidisciplinario para establecer valoraciones fiables tanto en las variables como en los componentes tomados en cuenta para la ejecución de la primera etapa del proyecto, referente a la identificación de zonas con mayor vulnerabilidad en el D.M.Q.

Es posible realizar el análisis geoespacial al tomar como protagonista a los centros de salud, y evaluar las potencialidades y posibles riesgos que supondrían al adaptarlos como centros de vacunación. No obstante, debe considerarse que la metodología del presente proyecto de investigación plantea dicha variable como un foco de infección, por ende, el razonamiento de lógica difusa y evaluación multicriterio deberán ser modificados.

Generalmente el análisis de vulnerabilidad es abordado desde una perspectiva socioeconómica ligada a la población, o desde el punto de vista ambiental, ligada a las características del medio físico, por ende, se propone a futuros investigadores potenciar la metodología respaldada en el modelo cartográfico al incluir variables que cumplan con estas características.

La estructura establecida en el geo-formulario no es rígida, por tanto, puede contemplar más información que beneficie a la comunidad y a los tomadores de decisiones, a fin de convertirse no solo en una herramienta de apoyo, sino también, en una base de datos que facilite la emisión de “pasaportes de inmunidad”.

Es importante difundir los resultados del proyecto de investigación, para que puedan servir de base o herramienta de apoyo para los tomadores de decisiones en el sector salud que busquen mejorar la organización y gestión de recursos en el actual Plan de Vacunación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aeroterra S.A. (2021). *ArcGIS Survey123: formularios inteligentes*.
<https://www.aeroterra.com/es-ar/productos/survey123-for-arcgis/introduccion>
- Analytics-ESRI. (2018). *How to Perform Spatial Analysis*. <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/product/analytics/how-to-perform-spatial-analysis/#:~:text=The true power of GIS,explore and examine those results.>
- Andocilla, L., Padilla, O., & Cruz, M. (2012). *Implementacion del Algoritmo de Lógica Fuzzy aplicado a la determinación del grado de susceptibilidad a deslizamientos en el area Mongas - Ferroviaria - La Magdalena- Itchimbia del distrito metropolitano de Quito* [Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE].
<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/5822>
- Aspexit. (s. f.). *Spatial data interpolation : TIN, IDW, kriging, block kriging, co-kriging*.
 Recuperado 17 de octubre de 2021, de <https://www.aspexit.com/spatial-data-interpolation-tin-idw-kriging-block-kriging-co-kriging-what-are-the-differences/>
- Barredo, J. (1998). Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio, en la ordenación del territorio. *RA-MA Editorial*, 126–127.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46111998000300011
- Barrera, A., Albán, J., Heredia, F., Novillo, N., Sarsoza, P., Vallejo, R., Morejón, R., Cobos, P., Aguilar, V., Cadena, E., & Claudio, P. (2012). *PLAN METROPOLITANO DE DESARROLLO 2012-2022*.
- Barrientos Martínez, M. (2007). *Network Analyst El Análisis de redes desde ArcGIS 9.2*. 6–7. <http://www.comunidadism.es/wp->

content/uploads/downloads/2012/01/Network-Analyst-El-Análisis-de-Redes-desde-ArcGIS-9.2.pdf

Benjamín, F., Jiménez, G., & Arrebola, A. (2013). Multicriterio respecto a la implantación de edificaciones en espacios rurales. *Revistas Científicas*, 69–85.

<https://doi.org/10.14198/INGEO2013.60.04>

Bindu, B., & Janak, J. (2012). GIS in Epidemiology: Applications and Services. *National Journal of Community Medicine*, 3.

Burstein, T. (2002). Rev Peru Med Exp Salud Publica 2002; 19 (3). *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 19(3), 2002.

[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342002000300001)

[46342002000300001](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342002000300001)

Campoverde, C. (2020, marzo 31). *La evolución del COVID-19 en el Ecuador*.

<https://telecomunicaciones.edu.ec/repositorio/articulos-blog/actualidad/la-evolucion-del-covid-19-en-el-ecuador>

Carranza, D. (2008). *APLICACIÓN DE LA LÓGICA DIFUSA PARA LA UBICACIÓN DE ESPECIES FAUNÍSTICAS Y FLORÍSTICAS, Y SU COMPARACIÓN CON OTROS MÉTODOS GEOESTADÍSTICOS* [Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE].

[http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/791/T-ESPE-](http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/791/T-ESPE-017763.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[017763.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/791/T-ESPE-017763.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Chan, J. F. W., Lau, S. K. P., To, K. K. W., Cheng, V. C. C., Woo, P. C. Y., & Yue, K. Y.

(2015). Middle East Respiratory syndrome coronavirus: Another zoonotic

betacoronavirus causing SARS-like disease. *Clinical Microbiology Reviews*, 28(2),

465–522. <https://doi.org/10.1128/CMR.00102-14>

- Comisión Económica para América Latina y el Caribe - CEPAL. (s. f.). *Compresión y normalización - Gestión de datos de investigación*. Recuperado 17 de octubre de 2021, de <https://biblioguias.cepal.org/c.php?g=495473&p=4398013>
- D'Ercole, R., & Metzger, P. (2004). *DErcoleMetzger2004-VulnerabilidaddelDistritoMetropolitanoDeQuito.pdf*. Ekseption.
- Department of Health & Human Services. (2021). *The Operation Warp Speed Strategy for Distributing a COVID-19 Vaccine*.
<https://www.hhs.gov/sites/default/files/strategy-for-distributing-covid-19-vaccine.pdf>
- EcuRed. (2012). *Distancia euclídea*. https://www.ecured.cu/Distancia_euclídea
- Elliott, P., & Wartenberg, D. (2004). Spatial Epidemiology: Current Approaches and Future Challenges. *Environmental Health Perspectives*, 112(9), 998.
<https://doi.org/10.1289/EHP.6735>
- ESRI. (s. f.-a). *¿Cómo funciona la densidad de punto?* Recuperado 17 de octubre de 2021, de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-point-density-works.htm>
- ESRI. (s. f.-b). *¿How inverse distance weighted interpolation works?* Recuperado 17 de octubre de 2021, de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/2.6/help/analysis/geostatistical-analyst/how-inverse-distance-weighted-interpolation-works.htm>
- ESRI. (s. f.-c). *¿Qué es la extensión ArcGIS Network Analyst?* Recuperado 20 de octubre de 2021, de <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/guide-books/extensions/network-analyst/what-is-network-analyst-.htm>
- ESRI. (s. f.-d). *¿What is a geodatabase?* <https://pro.arcgis.com/en/pro->

[app/latest/help/data/geodatabases/overview/what-is-a-geodatabase-.htm](https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/data/geodatabases/overview/what-is-a-geodatabase-.htm)

ESRI. (s. f.-e). *Análisis de distancia euclidiana*. Recuperado 17 de octubre de 2021, de <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/understanding-euclidean-distance-analysis.htm>

ESRI. (s. f.-f). *Análisis de ubicación y asignación—ArcMap*. Recuperado 23 de agosto de 2021, de <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/extensions/network-analyst/location-allocation.htm>

ESRI. (s. f.-g). *Análisis del área de servicio—ArcMap*. Recuperado 24 de agosto de 2021, de <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/extensions/network-analyst/service-area.htm>

ESRI. (s. f.-h). *Análisis espacial en ArcGIS Pro*. <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/analysis/introduction/spatial-analysis-in-arcgis-pro.htm#:~:text=El análisis espacial le permite,y las relaciones entre ellos>.

ESRI. (s. f.-i). *Cómo funciona IDW*. Recuperado 12 de junio de 2021, de <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-idw-works.htm>

ESRI. (s. f.-j). *Fundamentos de topología*. Recuperado 19 de octubre de 2021, de <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/topologies/topology-basics.htm>

ESRI. (s. f.-k). *Resolver problemas con análisis espacial*. <https://www.sigsa.info/productos/esri/plataforma-arcgis/analisis-espacial>

ESRI. (s. f.-l). *Tipos de capas de análisis de red*. Recuperado 20 de octubre de 2021, de <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/guide-books/extensions/network->

analyst/types-of-network-analyses.htm#GUID-DA84EF13-E616-47AE-A0EE-0CB797056066

ESRI. (s. f.-m). *Topología en ArcGIS*. Recuperado 19 de octubre de 2021, de <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/data/topologies/topology-in-arcgis.htm>

ESRI. (2020). *Conceptos básicos del análisis de regresión*. <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/tools/spatial-statistics-toolbox/regression-analysis-basics.htm>

Freier, J. (2007). *Spatial Epidemiology Methods in the Study of Vector-Borne Diseases*. http://www-old.caribvet.net/en/system/files/epi_part_1.pdf

Geraghty, E. (2020). *Cómo pueden los SIG ayudar a los líderes a lograr una distribución equitativa y rápida de vacuna*. <https://www.aeroterra.com/es-ar/novedades-noticias/aeroterra-blog/novedades-eventos/distribucion-vacunas-covid-19-con-sig>

Gil, W. J., Mora, J. J., & Pérez, S. M. (2014). *Análisis del procesamiento de los datos de entrada para un localizador de fallas en sistemas de distribución* (Vol. 64, Número 41). <http://www.scielo.org.co/pdf/tecn/v18n41/v18n41a06.pdf>

Gobierno Provincial de Pichincha. (2017). *Datos de la provincia de Pichincha*. <https://www.pichincha.gob.ec/pichincha/datos-de-la-provincia/95-informacion-general#:~:text=Pichincha es una de las,Está constituida por ocho cantones>.

Gómez, V., López, A., & Verdejo, F. (2004). *AEGIS: Herramienta de análisis epidemiológico en un Sistema de Información Geográfica*. https://www.uv.es/gudo/GUDO2/resumen_Gomez2.pdf

González, M., Gómez, E., García, M., & Aragonés, P. (2003). *Aplicación de técnicas de decisión multicriterio y multiexperto a la ponderación de los factores determinantes*

del problema de la distribución en planta. 566–576.

<https://www.aepro.com/es/repository/func-startdown/2196/lang,es-es/>

GRAPH. (s. f.). *Algoritmo de distancia euclidiana*. Recuperado 17 de octubre de 2021, de <https://www.grapheverywhere.com/algoritmo-de-distancia-euclidiana/>

Gutiérrez, J., & Jegat, H. (2005). USO DE LA TEORÍA DE LÓGICA DIFUSA EN LA CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES CON COBERTURAS MIXTAS: EL CASO URBANO DE MÉRIDA, VENEZUELA. *Interciencia*, 30, 261–266.

http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442005000500005

Harapan, H., Itoh, N., Yufika, A., Winardi, W., Keam, S., Te, H., Megawati, D., Hayati, Z., Wagner, A. L., & Mudatsir, M. (2020). Coronavirus disease 2019 (COVID-19): A literature review. En *Journal of Infection and Public Health* (Vol. 13, Número 5, pp. 667–673). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2020.03.019>

Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. (2006). Los Sistemas de Información Geográfica (SIG). *Geoenseñanza*, 11, 107–116.

<https://www.redalyc.org/pdf/360/36012424010.pdf>

Instituto Geográfico Nacional de España. (s. f.). *Bases Geográficas*.

[https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/CBG-BD.pdf#:~:text=Una Base de Datos Geográfica,de Información Geográfica \(SIG\)](https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/CBG-BD.pdf#:~:text=Una Base de Datos Geográfica,de Información Geográfica (SIG))

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (s. f.). *Proyecciones Poblacionales*.

Recuperado 29 de mayo de 2021, de

<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/>

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2010). *Resultados del Censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp->

content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/pichincha.pdf

International Federation of Red Cross. (2021). *¿What is vulnerability?*

<https://www.ifrc.org/en/what-we-do/disaster-management/about-disasters/what-is-a-disaster/what-is-vulnerability/>

Javaid, M. A. (2013). Understanding Dijkstra Algorithm. *SSRN Electronic Journal*.

<https://doi.org/10.2139/SSRN.2340905>

Khan, O., Davenhall, W., Ali, M., Castillo, C., Vazquez, G., Kitron, U., Soares, R., &

Clements, C. (2013). Geographical information systems and tropical medicine. *Ann Trop Med Parasitol*, 104(4), 303–318.

<https://doi.org/10.1179/136485910X12743554759867>.Geographical

Kravchenko, A. N. (2003). Influence of Spatial Structure on Accuracy of Interpolation

Methods. *Soil Science Society of America Journal*, 67(5), 1564–1571.

<https://doi.org/10.2136/sssaj2003.1564>

Lawson, A., Böhning, D., Biggeri, A., Armstrong, B., Axelson, O., Becker, N.,

Bernardinelli, L., Besag, J., Best, N., & Bithell, J. (1999). *Disease Mapping and Risk Assessment for public health decision-making*.

https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/119178/E63686.pdf

Liu, Y., Gayle, A. A., Wilder-Smith, A., & Rocklöv, J. (2020). The reproductive number of

COVID-19 is higher compared to SARS coronavirus. *Journal of Travel Medicine*, 27(2), 1–4. <https://doi.org/10.1093/jtm/taaa021>

Luaces, M., & Naveiras, D. (2007). *Servicio web de análisis de redes en sistemas de información geográfica*.

https://idee.es/resources/presentaciones/JIDEE07/ARTICULOS_JIDEE2007/articul

o12.pdf

- Luque Fernandez, M. A. (2018). *Introduction to Spatial Epidemiology Analyses and Methods*. <https://scholar.harvard.edu/files/malf/files/spepi.pdf>
- Manzano, R., Gómez, M., & Pineda, N. (2019). Método de evaluación multicriterio. *Revista de Investigación Científica - ResearchGate*.
- Martínez, M., & Salazar, B. (2019). *Análisis de regresión y correlación lineal*. https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/icea/asignatura/administracion/2019/analisis-regresion-administracion.pdf
- Mejía, R. (2019). Sistemas de Información Geográfica y su aporte a la salud pública en El Salvador. *ALERTA*, 2, 2–5. <https://doi.org/https://doi.org/10.5377/alerta.v2i1.7533>
- Mendoza, A., Solano, C., Palencia, D., & Garcia, D. (2019). Aplicación del proceso de jerarquía analítica (AHP) para la toma de decisión con juicios de expertos. *Ingeniare*, 27(3), 348–360. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052019000300348>
- Ministerio de Salud Pública. (2021, julio 8). *El Gobierno del Encuentro inauguró el Primer Vacunatorio exprés en centro comercial del Ecuador*. <https://www.salud.gob.ec/el-gobierno-del-encuentro-inauguro-el-primer-vacunatorio-expres-en-centro-comercial-del-ecuador/>
- Ministerio del Deporte. (2016). *El Olímpico Atahualpa tendrá una nueva cara*. <https://www.deporte.gob.ec/el-olimpico-atahualpa-tendra-una-nueva-cara/>
- Ministerio del Gobierno. (2020). *Monitoreo de Seguridad Ciudadana en la Emergencia Sanitaria por COVID-19*. https://www.ministeriodegobierno.gob.ec/wp-content/uploads/2020/04/Informe_Emergencia_Sanitaria-ECU-911_.pdf

Molina, I. (2001). Los sistemas de información geográfica en Epidemiología. *Abril-Junio*, 2(2). www.medigraphic.org.mx

Musa, G. J., Chiang, P., Sylk, T., Bavley, R., Keating, W., Lakew, B., Tsou, H., & Hoven, C. W. (2013). Use of GIS Mapping as a Public Health Tool — From Cholera to Cancer. *Health Services Insights*, 111–116.
<https://doi.org/10.4137/HSI.S10471.TYPE>

Naranjo, I. (2015). *Análisis de la desigualdad en la distribución de la riqueza por activos inmobiliarios para el Distrito Metropolitano de Quito* [Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales].
<https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/10469/8097/TFLACS-O-2015IMNZ.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Ojeda, L., & Tovar, L. (2016). *El análisis espacial como una herramienta para el estudio del transporte de carga urbano*.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4995/CIT2016.2016.4125>

Oppmann, S. (2020). *Ya están disponibles las soluciones para la distribución de la vacuna contra el coronavirus*. https://esri.co/wp-content/uploads/2021/01/Comu-Prensa_Soluciones-de-distribucion-de-vacunas-contr-el-coronavirus-que-ya-estan-disponibles.pdf

Pacheco, J., & Contreras, E. (2008). *Manual metodológico de evaluación multicriterio para programas y proyectos*.
https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/35914/manual58_es.pdf

Padrón, A. D., & Montilla, T. C. (2013, abril 15). *Propuesta para la aplicación de los procesos analíticos jerárquicos en la realización de evaluaciones de seguridad de la práctica de la radioterapia*.

https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/44/117/44117998.pdf

Parra, M., & Carrera, E. (2021). *Evolución de la COVID-19 en Ecuador*.

<https://revistas.uta.edu.ec/erevista/index.php/dide/article/view/1002/926>

Passalent, L., Borsy, E., Landry, M., & Cott, C. (2013). Geographic information systems (GIS): an emerging method to assess demand and provision for rehabilitation services. *Disability and Rehabilitation*, 35(20), 1740–1749.

<https://doi.org/https://doi.org/10.3109/09638288.2012.750690>

Piantadosi, S., Byar, D. P., & Green, S. B. (1988). The Ecological Fallacy. *American Journal of Epidemiology*, 127(5).

<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.468.3245&rep=rep1&type=pdf>

Quantdare. (2014, marzo 30). *Fuzzy Logic*. <https://quantdare.com/fuzzy-logic/>

Rezaeian, M., Dunn, G., St. Leger, S., & Appleby, L. (2007). Geographical epidemiology, spatial analysis and geographical information systems: a multidisciplinary glossary. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 61(2), 98.

<https://doi.org/10.1136/JECH.2005.043117>

Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2001). *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process* (2nd Ed.). Springer: International Series in Operations Research & Management Science. [https://b-](https://b-ok.lat/book/2132544/33df4e?id=2132544&secret=33df4e&dsource=recommend)

[ok.lat/book/2132544/33df4e?id=2132544&secret=33df4e&dsource=recommend](https://b-ok.lat/book/2132544/33df4e?id=2132544&secret=33df4e&dsource=recommend)

Sacoto, F. (2021). Reflexiones sobre el COVID-19 en Ecuador: la salud pública y el Sistema Nacional. *Mundos Plurales - Revista Latinoamericana de Políticas y*

Acción Pública, 8(1), 57–64. <https://doi.org/10.17141/mundosplurales.2.2020.4849>

Sánchez, G., & Lozano, V. (s. f.). *Algoritmo de Dijkstra. Un Tutorial Interactivo.*

Recuperado 20 de octubre de 2021, de <http://www.dma.fi.upm.es/dijkstra/>

Santillan Haro, A. (2020). Caracterización Epidemiológica De Covid-19 En Ecuador.

InterAmerican Journal of Medicine and Health, 3, 1–7.

<https://doi.org/10.31005/iajmh.v3i0.99>

Secretaría de Educación Superior, Ciencia, T. e I. (2020). *COE de Pichincha adopta medidas para prevenir y evitar contagios en la provincia.*

<https://www.educacionsuperior.gob.ec/coe-de-pichincha-adopta-medidas-para-prevenir-y-evitar-contagios-en-la-provincia/>

Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias. (2021a). *Informes de Situación*

(SITREP) e Infografías – COVID 19. <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/informes-de-situacion-covid-19-desde-el-13-de-marzo-del-2020/>

Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias. (2021b). *Informes de Situación*

e Infografías – COVID 19. <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2021/03/INFOGRAFIA-NACIONALCOVID19-COE-NACIONAL-08h00-28032021.pdf>

Stewart, I. (1995). *Concepts of Modern Mathematics.* Dover Publications.

<https://media.oaipdf.com/pdf/ac383f29-d316-46de-91b5-50715d6914a4.pdf>

Tang, J. W., Tambyah, P. A., & Hui, D. S. C. (2020). Emergence of a novel coronavirus causing respiratory illness from Wuhan, China. En *Journal of Infection* (Vol. 80,

Número 3, pp. 350–371). W.B. Saunders Ltd.

<https://doi.org/10.1016/j.jinf.2020.01.014>

Toskano, G. (2005). *El proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la*

toma de decisiones en la selección de proveedores [Universidad Nacional Mayor de San Marcos].

https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/basic/toskano_hg/toskano_hg.pdf

Trilla, A., Maria, J., Violan, M., Vieta, E., & Rubinat, M. (2020). *COVID-19*. PortalCLINIC.

<https://www.clinicbarcelona.org/asistencia/enfermedades/covid-19/definicion>

Villacreses, P. (2019). *Geocalización de sitios para el emplazamiento de granjas solares en la región Sierra del Ecuador* [Universidad de Salzburg].

https://americalatina.unigis.net/files/tesis/TESIS_VILLACRESES1.pdf

Villatoro, M., Henríquez, C., & Sancho, F. (2008). COMPARACIÓN DE LOS INTERPOLADORES IDW Y KRIGING EN LA VARIACIÓN ESPACIAL DE PH, CA, CICE Y P DEL SUELO. *Agronomía Costarricense*, 32, 95–105.

<https://www.redalyc.org/pdf/436/43632109.pdf>

Wadhwa, R., Wadhwa, P., Gaba, P., Figueroa, J., Joynt, K., Yeh, R., & Shen, C. (2020). Variation in COVID-19 Hospitalizations and Deaths Across New York City Boroughs. *JAMA*, 2192–2195. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.7197>

Wilkinson, P., Thakrar, B., Shaddick, G., Stevenson, S., Pattenden, S., Landon, M., Grundy, C., & Elliott, P. (1997). Cancer incidence and mortality around the Pan Britannica Industries pesticide factory, Waltham Abbey. *Occupational and Environmental Medicine*, 54(2), 101–107. <https://doi.org/10.1136/OEM.54.2.101>

Yepes, V. (2018). *Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP)*. Blog de la Universidad Politécnica de Valencia.

<https://victoryepes.blogs.upv.es/2018/11/27/proceso-analitico-jerarquico-ahp/>

ANEXOS