

Optimización de la ubicación de albergues temporales mediante análisis de accesibilidad espacial para la respuesta ante terremotos

Raúl Méndez Gutiérrez*

<https://orcid.org/0000-0001-5644-483X>
rmendez@unfv.edu.pe
Universidad Nacional Federico Villarreal
Lima, Perú

Alberto Israel Legua Terry

<https://orcid.org/0000-0003-0588-4530>
aleguat@unfv.edu.pe
Universidad Nacional Federico Villarreal
Lima, Perú

Miqueas Gonzales Gonzales

<https://orcid.org/0000-0002-0794-8342>
2012231973@unfv.edu.pe
Universidad Nacional Federico Villarreal
Lima, Perú

María del Carmen Aylas Humareda

<https://orcid.org/0000-0002-2063-0005>
maylas@unfv.edu.pe
Universidad Nacional Federico Villarreal
Lima, Perú

Adalith Sayuri Loa Gonzales

<https://orcid.org/0000-0003-0157-0956>
2020008123@unfv.edu.pe
Universidad Nacional Federico Villarreal
Lima, Perú

*Autor de correspondencia: rmendez@unfv.edu.pe

Recibido: (23/04/2026), Aceptado: (05/07/2026)

Resumen. Los terremotos representan una amenaza significativa para las zonas urbanas, donde la vulnerabilidad territorial incrementa el riesgo para la población. El objetivo de este estudio fue optimizar la ubicación de albergues temporales mediante un análisis de accesibilidad espacial para fortalecer la respuesta ante terremotos. Se desarrolló una investigación cuantitativa, aplicada y de diseño no experimental, utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG), el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) y análisis multicriterio. El modelo integró variables de peligro sísmico, topografía, geología, tipo de suelo, accesibilidad vial y distribución poblacional para identificar ubicaciones óptimas de albergues y rutas de evacuación. Los resultados evidenciaron un predominio de zonas con peligro alto y muy alto, permitiendo proponer trece albergues estratégicamente distribuidos. Se concluye que la integración de SIG y AHP constituye una herramienta eficaz para apoyar la planificación territorial y fortalecer la gestión del riesgo sísmico.

Palabras clave: Sistemas de Información Geográfica, AHP, análisis multicriterio, accesibilidad espacial, albergues temporales, riesgo sísmico.

Optimization of Temporary Shelter Locations Using Spatial Accessibility Analysis for Earthquake Response

Abstract. Earthquakes represent a significant threat to urban areas, where territorial vulnerability increases the risk to the population. The objective of this study was to optimize the location of temporary shelters through a spatial accessibility analysis to strengthen earthquake response. A quantitative, applied, non-experimental study was conducted using Geographic Information Systems (GIS), the Analytic Hierarchy Process (AHP), and multicriteria analysis. The model integrated variables related to seismic hazard, topography, geology, soil type, road accessibility, and population distribution to identify optimal shelter locations and evacuation routes. The results showed a predominance of areas with high and very high hazard levels, allowing the proposal of thirteen strategically distributed shelters. It is concluded that the integration of GIS and AHP constitutes an effective tool to support territorial planning and strengthen seismic risk management.

Keywords: Geographic Information Systems, AHP, multicriteria analysis, spatial accessibility, temporary shelters, seismic risk.

I. INTRODUCCIÓN

Los terremotos continúan siendo uno de los fenómenos naturales con mayor capacidad de generar pérdidas humanas, daños en la infraestructura y alteraciones en el funcionamiento de las ciudades. En contextos urbanos con crecimiento acelerado y limitada planificación territorial, la vulnerabilidad física y social incrementa significativamente el riesgo asociado a estos eventos, haciendo indispensable el desarrollo de estrategias que optimicen la respuesta durante la fase de emergencia [1], [2]. En este escenario, la integración de Sistemas de Información Geográfica (SIG) con metodologías de análisis multicriterio ha demostrado ser una herramienta eficaz para evaluar espacialmente el peligro, apoyar la toma de decisiones y fortalecer la gestión integral del riesgo de desastres [3], [4], [5].

Uno de los componentes más críticos de la respuesta ante terremotos corresponde a la localización estratégica de albergues temporales y al diseño de rutas eficientes de evacuación. La adecuada selección de estos espacios no depende únicamente de la disponibilidad de terrenos, sino también de factores como la accesibilidad, la cobertura poblacional, las condiciones topográficas, la estabilidad del suelo y la proximidad a las zonas de mayor exposición. Diversos estudios han propuesto modelos de optimización basados en análisis de redes, localización-asignación y procesos multicriterio, demostrando mejoras significativas en la reducción de los tiempos de evacuación y en la cobertura de la población afectada [6], [7], [8], [9], [10]. De manera complementaria, investigaciones recientes han incorporado modelos biobjetivo, enfoques estocásticos y técnicas híbridas de optimización para incrementar la eficiencia de la planificación territorial ante escenarios sísmicos complejos [11], [12], [13].

En los últimos años, la disponibilidad de información geoespacial de alta resolución y el desarrollo de plataformas SIG han impulsado nuevas aplicaciones orientadas a la evaluación del peligro y la resiliencia urbana. La combinación de información proveniente de sensores remotos, cartografía temática y modelos de decisión multicriterio permite integrar variables físicas y ambientales que difícilmente podrían analizarse de manera independiente, proporcionando resultados más robustos para la planificación territorial [14], [15], [16]. Asimismo, investigaciones recientes evidencian que la incorporación de análisis de sensibilidad, modelado espacial del riesgo y enfoques GIS-AHP mejora la identificación de zonas prioritarias para la instalación de infraestructura temporal y fortalece la planificación preventiva frente a amenazas naturales [17], [18], [19].

En el Perú, y particularmente en Lima Metropolitana, la elevada actividad sísmica, el crecimiento urbano no planificado y la ocupación progresiva de zonas con alta susceptibilidad geológica incrementan la exposición de la población frente a un eventual terremoto. El Sector 21 del distrito de Puente Piedra constituye un ejemplo representativo de esta problemática, debido a la presencia de asentamientos humanos con infraestructura vulnerable y limitadas condiciones de accesibilidad para una evacuación masiva. En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo evaluar la contribución de la accesibilidad espacial y de la optimización de la ubicación de albergues temporales para fortalecer la respuesta ante terremotos en el Sector 21 de Puente Piedra, mediante la integración de Sistemas de Información Geográfica y el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP). Los resultados buscan proporcionar un modelo metodológico replicable que contribuya a mejorar la planificación territorial, optimizar la cobertura de la población y fortalecer la resiliencia urbana en zonas expuestas a amenaza sísmica.

II. MARCO TEÓRICO

A. Gestión del riesgo sísmico y resiliencia urbana

La gestión del riesgo de desastres constituye un proceso integral orientado a reducir la vulnerabilidad de la población mediante acciones de prevención, preparación, respuesta y recuperación frente a eventos naturales extremos. En áreas urbanas expuestas a actividad sísmica, la planificación territorial adquiere un papel determinante, ya que la distribución de la infraestructura, la accesibilidad vial y las características físicas del terreno condicionan la capacidad de respuesta durante una emergencia [1], [2].

La resiliencia urbana ha evolucionado desde un enfoque centrado únicamente en la recuperación posterior al desastre hacia modelos que priorizan la anticipación, la planificación preventiva y la reducción del riesgo mediante herramientas de análisis espacial. En este contexto, la integración de información geoespacial permite identificar sectores con mayor vulnerabilidad y diseñar estrategias orientadas a minimizar los impactos sociales y económicos derivados de un terremoto [14], [15].

B. Sistemas de Información Geográfica y análisis multicriterio

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituyen una de las herramientas más utilizadas para el análisis espacial de amenazas naturales, debido a su capacidad para integrar información proveniente de múltiples fuentes y representar la variabilidad espacial de diferentes fenómenos. La incorporación de modelos de decisión multicriterio permite combinar variables físicas, ambientales y territoriales bajo criterios cuantificables, facilitando la evaluación simultánea de múltiples factores que intervienen en la gestión del riesgo [2], [3].

Entre las técnicas multicriterio, el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) continúa siendo uno de los métodos más ampliamente empleados para la asignación de pesos relativos a variables espaciales, debido a su flexibilidad, transparencia y facilidad de integración con plataformas SIG. Su aplicación ha demostrado resultados satisfactorios en estudios relacionados con susceptibilidad geológica, evaluación de amenazas y priorización espacial de infraestructura crítica [3], [16], [17], [18], [19].

C. Optimización espacial de albergues temporales

La localización de albergues temporales representa un problema clásico de optimización espacial en la gestión del riesgo de desastres. Su adecuada planificación requiere equilibrar criterios relacionados con la cobertura poblacional, la accesibilidad, las condiciones físicas del terreno, la disponibilidad de espacios abiertos y la conectividad con la red vial existente [6], [7], [8].

En los últimos años se han desarrollado modelos de localización-asignación que incorporan análisis de redes, programación multiobjetivo y optimización estocástica para mejorar la distribución espacial de los albergues y reducir los tiempos de evacuación. Estos enfoques permiten evaluar simultáneamente diferentes escenarios operativos, incrementando la eficiencia de la respuesta y favoreciendo una distribución territorial más equitativa de los recursos destinados a la atención de la población afectada [9], [10], [11], [12], [13].

D. Integración de SIG y AHP para la evaluación del peligro sísmico

La combinación de Sistemas de Información Geográfica con el Proceso de Análisis Jerárquico ha demostrado ser una estrategia robusta para la evaluación espacial del peligro sísmico. Este enfoque permite integrar variables relacionadas con la amenaza, como intensidad sísmica, aceleración máxima del suelo o distancia al epicentro, junto con factores condicionantes del territorio, entre ellos la pendiente, el tipo de suelo, la geomorfología y la microzonificación sísmica, generando modelos espaciales capaces de representar la distribución relativa del peligro [3], [16], [17].

Las investigaciones más recientes han incorporado además análisis de sensibilidad y modelos híbridos GIS-MCDM para reducir la incertidumbre asociada a la ponderación de variables y aumentar la confiabilidad de los resultados obtenidos. Estas metodologías han demostrado ser especialmente útiles en la selección de ubicaciones para infraestructura temporal de emergencia, al proporcionar criterios objetivos para apoyar la toma de decisiones y fortalecer la planificación territorial frente a escenarios sísmicos [17], [18], [19].

III. METODOLOGÍA

A. Área de estudio

El estudio se desarrolló en el Sector 21 del distrito de Puente Piedra, en Lima, Perú. El área comprende 172,84 ha y presenta condiciones topográficas variables, con pendientes moderadas a agrestes. Según los Censos Nacionales, la población del sector asciende a 10 431 habitantes, distribuidos en 319 manzanas, las cuales fueron consideradas como unidad espacial de análisis y representan la totalidad del universo de estudio. La zona se caracteriza por una elevada exposición al peligro sísmico, asociada a la precariedad constructiva, la presencia de viviendas informales, la pendiente del terreno, las condiciones geológicas y la limitada infraestructura urbana. Estas condiciones justifican la necesidad de evaluar espacialmente el peligro sísmico, la accesibilidad y la localización potencial de albergues temporales ante un escenario de terremoto.

B. Diseño metodológico

La investigación adoptó un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado y nivel evaluativo, con diseño no experimental. Fue cuantitativa porque integró variables espaciales, demográficas y ambientales mediante procedimientos numéricos de ponderación, clasificación y modelamiento espacial. Fue aplicada porque buscó generar una propuesta operativa para mejorar la planificación de albergues temporales y rutas de evacuación; y fue evaluativa porque permitió valorar el nivel de peligro sísmico, la exposición poblacional y las condiciones de accesibilidad del área de estudio. El diseño fue no experimental, ya que las variables fueron observadas y analizadas en su contexto real, sin manipulación directa del territorio ni de la población.

C. Fuentes de información y capas geoespaciales

Se recopiló datos cartográficos, demográficos, sísmicos, geológicos, topográficos y ambientales provenientes de geoportales oficiales, estudios técnicos, información censal, observación directa y levantamientos de campo. Las fuentes incluyeron información del INGEMET, CENEPRED, INDECI, IGP, Municipalidad de Puente Piedra e INEIPREMID, complementada con imágenes aéreas capturadas mediante *UAV DJI Phantom 4 Multispectral* y coordenadas levantadas con *GPS Garmin Etrex 20*. El análisis integró once capas geoespaciales relacionadas con el peligro sísmico y la accesibilidad territorial: velocidad máxima del suelo, intensidad sísmica, aceleración máxima del suelo, distancia al epicentro, magnitud sísmica, microzonificación sísmica, tipo de suelo, pendiente, geomorfología, geología y distribución espacial de la población.

D. Procesamiento geoespacial y análisis multicriterio

El procesamiento de la información se realizó en *ArcGIS 10.8*. Inicialmente, las capas fueron georreferenciadas, normalizadas y reclasificadas en escalas comparables. Posteriormente, se aplicó el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP/PJA) para asignar pesos relativos a los factores de peligro sísmico y accesibilidad. La ponderación consideró parámetros de evaluación, factores condicionantes y factor desencadenante, siguiendo la metodología del CENEPRED para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales. El valor de peligro sísmico se obtuvo mediante la superposición ponderada de las capas normalizadas. A partir de este resultado, el territorio fue clasificado en cuatro niveles: bajo, medio, alto y muy alto. Esta clasificación permitió identificar las zonas de mayor exposición y establecer criterios espaciales para la selección de áreas potenciales destinadas a albergues temporales.

E. Evaluación de accesibilidad y localización de albergues

La accesibilidad espacial fue evaluada mediante análisis de redes en *ArcGIS 10.8*, considerando la distancia de desplazamiento, el tiempo estimado de evacuación, la pendiente, el tipo y estado de las vías, la proximidad a áreas pobladas, la disponibilidad de servicios básicos y la cercanía a centros de salud. También se consideraron posibles restricciones derivadas de la topografía, la infraestructura vial precaria y los escenarios de daño posterior a un evento sísmico. La selección de albergues temporales se realizó mediante análisis multicriterio, priorizando áreas con mayor capacidad de cobertura poblacional, mejor conectividad, menor exposición relativa, disponibilidad física del terreno y posibilidad de operación durante la emergencia. Se evaluaron parques, canchas deportivas, áreas libres y espacios privados potencialmente utilizables, con el fin de proponer una red de albergues articulada con rutas óptimas de evacuación.

F. Fases metodológicas

El procedimiento se desarrolló en tres fases. En la primera fase, se recopiló y sistematizó información bibliográfica, cartográfica, censal y geoespacial sobre peligro sísmico, vulnerabilidad urbana, accesibilidad y albergues temporales. Esta fase permitió construir la base cartográfica inicial del Sector 21. En la segunda fase, se realizó el trabajo de campo mediante observación directa, levantamiento GPS y captura de imágenes aéreas con UAV. Esta información permitió verificar las condiciones del terreno, las características de las viviendas, la infraestructura vial, la pendiente, los puntos críticos de accesibilidad y la distribución espacial de la población expuesta.

En la tercera fase, se integraron las capas en *ArcGIS 10.8*, se aplicó el AHP/PJA, se generaron mapas temáticos de peligro sísmico y accesibilidad, y se identificaron las ubicaciones más adecuadas para albergues temporales. Finalmente, se propusieron rutas óptimas de evacuación, orientadas a minimizar

tiempos de desplazamiento, reducir puntos de congestión y maximizar la cobertura de la población vulnerable.

G. Productos metodológicos

Como resultado del procedimiento metodológico se obtuvieron: una base geoespacial integrada del Sector 21, mapas temáticos de parámetros sísmicos y factores condicionantes, mapa de peligro sísmico, mapa de exposición poblacional, análisis de accesibilidad, propuesta de ubicación de albergues temporales y rutas óptimas de evacuación. Estos productos permiten sustentar técnicamente la planificación territorial para la respuesta ante terremotos en zonas urbanas vulnerables.

IV. RESULTADOS

A. Parámetros utilizados para la evaluación del peligro sísmico

Para la caracterización del peligro sísmico del Sector 21 se integraron nueve variables geoespaciales relacionadas con la amenaza y la susceptibilidad del territorio, procesadas mediante un modelo multicriterio implementado en un entorno SIG. Las variables incluyeron la intensidad sísmica, la velocidad máxima del suelo (PGV), la aceleración máxima del suelo (PGA), la distancia al epicentro, la microzonificación sísmica, el tipo de suelo, la pendiente del terreno y las características geomorfológicas y geológicas.

La ponderación de cada variable se realizó mediante el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), obteniéndose los pesos relativos que permitieron construir el modelo espacial de peligro sísmico. La integración de estas variables evidenció una marcada heterogeneidad territorial, especialmente en los factores condicionantes relacionados con la pendiente, el tipo de suelo y la geomorfología, los cuales ejercen una influencia directa sobre la vulnerabilidad física del área de estudio.

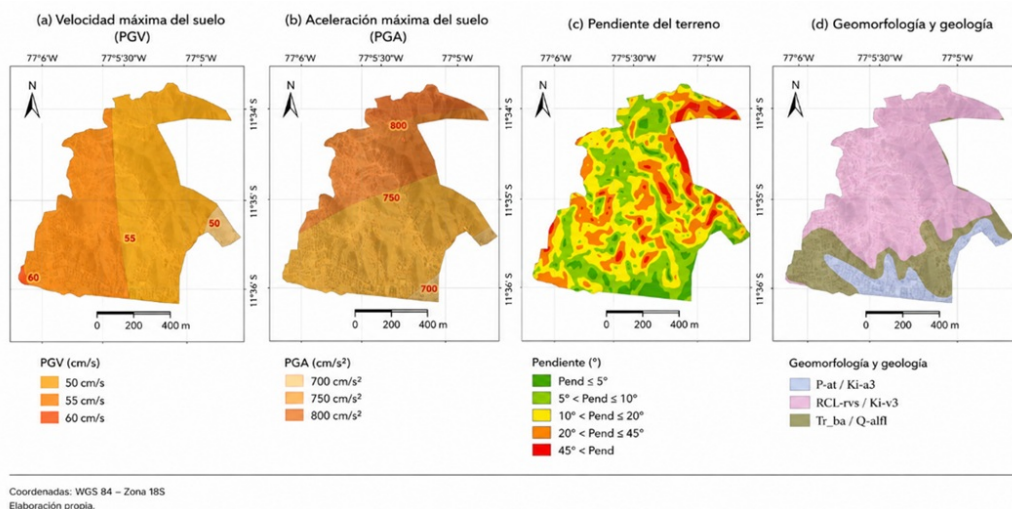


Fig. 1. Principales variables espaciales utilizadas para la construcción del modelo de evaluación.

Para construir el modelo multicriterio de peligro sísmico, se seleccionaron variables asociadas tanto a la amenaza sísmica como a las condiciones físicas de susceptibilidad del territorio (Tabla 1). Estas variables fueron ponderadas mediante el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), con el fin de establecer su peso relativo dentro del modelo espacial y permitir su integración en el entorno SIG.

Tabla 1. Variables consideradas en el modelo multicriterio de peligro sísmico.

Variable	Categoría	Peso (%)
Intensidad sísmica	Evaluación	46,6
Velocidad máxima del suelo (PGV)	Evaluación	27,7
Aceleración máxima del suelo (PGA)	Evaluación	16,1
Distancia al epicentro	Evaluación	9,6
Microzonificación sísmica	Susceptibilidad	46,5
Tipo de suelo	Susceptibilidad	26,5
Pendiente	Susceptibilidad	15,6
Geomorfología y geología	Susceptibilidad	11,4

Como se observa en la Tabla 1, las variables con mayor peso dentro del componente de evaluación fueron la intensidad sísmica y la velocidad máxima del suelo, mientras que, en el componente de susceptibilidad, predominaron la microzonificación sísmica y el tipo de suelo. Esta ponderación permitió priorizar los factores con mayor incidencia en la configuración espacial del peligro sísmico y sirvió como base para la generación del mapa de peligro del Sector 21.

B. Nivel de peligro sísmico

La integración de las variables espaciales permitió generar el mapa de peligro sísmico del Sector 21, clasificando el territorio en cuatro categorías: bajo, medio, alto y muy alto. Los resultados muestran un claro predominio de los niveles alto y muy alto, evidenciando que la mayor parte del territorio presenta condiciones desfavorables frente a un escenario sísmico severo. Las zonas clasificadas con peligro muy alto se concentran principalmente en sectores con mayores pendientes, condiciones geológicas menos favorables y elevada exposición sísmica.

El patrón espacial obtenido (Figura 2) demuestra que la población se encuentra distribuida sobre áreas con diferentes niveles de susceptibilidad, lo que justifica la incorporación de criterios de accesibilidad y cobertura territorial para la planificación de albergues temporales y rutas de evacuación.

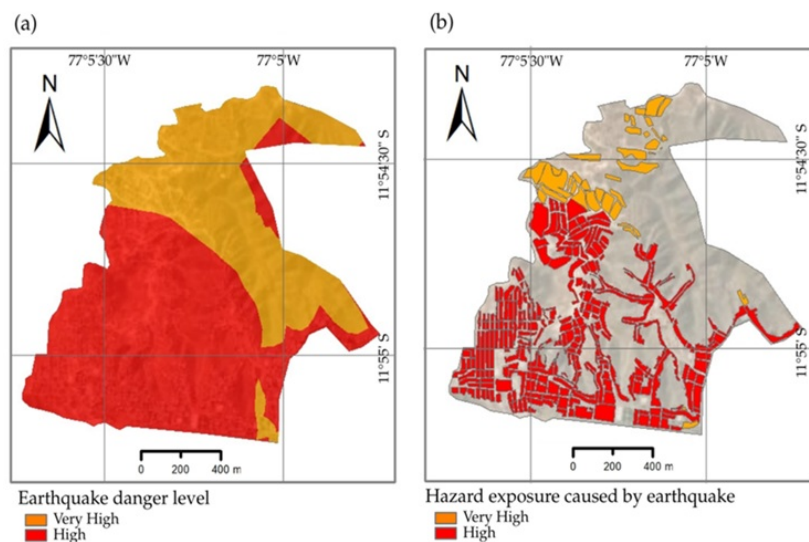


Fig. 2. Mapa del nivel del peligro originado por sismo y exposición al peligro originado por sismo.

Una vez calculado el índice de peligro sísmico mediante la integración ponderada de las variables geoespaciales, los valores obtenidos fueron clasificados en cuatro niveles de peligro (Tabla 2). Esta clasificación permitió estandarizar la interpretación de los resultados espaciales y facilitar la identificación de las zonas prioritarias para la planificación de medidas de mitigación y respuesta.

Tabla 2. Clasificación del peligro sísmico empleada en el estudio.

Nivel de peligro	Intervalo
Muy alto	0,272-0,459
Alto	0,161-0,272
Medio	0,089-0,161
Bajo	0,049-0,089

La clasificación presentada en la Tabla 2 constituye el criterio utilizado para la elaboración del mapa de peligro sísmico del Sector 21. A partir de estos intervalos fue posible diferenciar espacialmente las áreas con distintos niveles de amenaza, proporcionando una base objetiva para el análisis de exposición poblacional, la localización de albergues temporales y el diseño de rutas óptimas de evacuación.

C. Optimización de la ubicación de albergues temporales

El análisis multicriterio permitió identificar trece ubicaciones potenciales para la instalación de albergues temporales, distribuidas estratégicamente para maximizar la cobertura espacial de la población expuesta. La selección consideró simultáneamente el nivel de peligro sísmico, la accesibilidad vial, la disponibilidad de espacios abiertos, la proximidad a la población y la existencia de servicios básicos. Las áreas propuestas corresponden principalmente a parques, canchas deportivas y terrenos con condiciones adecuadas para su utilización durante situaciones de emergencia. El análisis espacial evidenció que la distribución propuesta mejora la cobertura territorial y reduce las distancias de desplazamiento respecto a una selección basada únicamente en disponibilidad física del terreno.

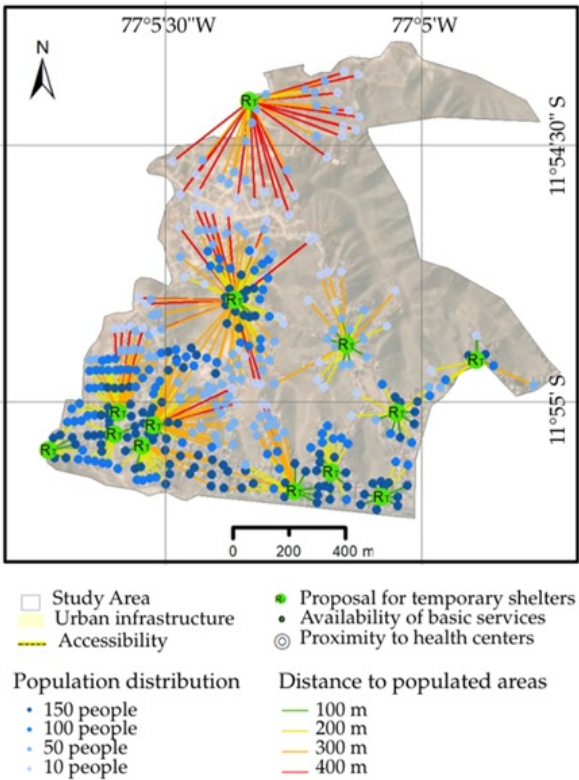


Fig. 3. Propuesta de ubicación de albergues temporales ante desastres.

D. Rutas óptimas de evacuación

El análisis de redes realizado en ArcGIS permitió establecer las rutas óptimas de evacuación entre las zonas pobladas y los albergues temporales propuestos (Tabla 3). Las rutas fueron definidas considerando la conectividad vial, la pendiente del terreno, el estado de la infraestructura y la distancia de recorrido. El modelo priorizó trayectos con menores tiempos estimados de desplazamiento y menor exposición a zonas de peligro, favoreciendo una evacuación más segura y eficiente. Los resultados muestran que la red propuesta conecta la totalidad de los albergues con las principales áreas habitadas del Sector 21,

constituyendo una base técnica para la elaboración de planes locales de evacuación y respuesta ante terremotos.

Tabla 3. Albergues temporales propuestos e identificación espacial en el Sector 21.

Código	Albergue temporal	Coordenada UTM X (m)	Coordenada UTM Y (m)
AT-01	15 de junio	272957,136	8681466,007
AT-02	Plaza de Laderas	272650,395	8681484,528
AT-03	Las Brisas	272779,115	8681555,371
AT-04	Canchón	273010,428	8681769,485
AT-05	La Hacienda	273289,140	8681960,462
AT-06	Loza Deportiva	272830,352	8682013,643
AT-07	Canchón C22	272107,421	8681642,895
AT-08	Discípulos de Jesús	272011,183	8681683,738
AT-09	Parque Z	272023,649	8681762,844
AT-10	Canchón C18	272148,722	8681718,134
AT-11	Canchón Z1	271777,299	8681625,459
AT-12	Nuevo Amanecer	272430,936	8682170,436
AT-13	Canchón Z2	272479,434	8682885,054

Nota. Elaboración propia a partir de la información geoespacial obtenida mediante *ArcGIS* 10.8.

E. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos confirman la utilidad de la integración entre Sistemas de Información Geográfica y el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) para apoyar la planificación territorial en escenarios de amenaza sísmica. La combinación de variables relacionadas con la geología, la topografía, el tipo de suelo, la accesibilidad vial y la distribución espacial de la población permitió identificar ubicaciones técnicamente favorables para la instalación de albergues temporales, evidenciando la capacidad de los modelos multicriterio para integrar información heterogénea dentro de un proceso de decisión espacial. Estos hallazgos son consistentes con investigaciones recientes que destacan la eficacia de los enfoques GIS-MCDA para reducir la subjetividad en la selección de infraestructura crítica y mejorar la planificación preventiva frente a desastres naturales [4], [5], [6].

La propuesta de trece albergues temporales estratégicamente distribuidos demuestra que la optimización espacial constituye una herramienta efectiva para fortalecer la cobertura territorial durante una emergencia sísmica. Este resultado coincide con los modelos de localización-asignación desarrollados por Zhao et al. [10], Shi et al. [12] y He y Xie [11], quienes evidenciaron que la incorporación simultánea de criterios de accesibilidad y cobertura poblacional incrementa significativamente la eficiencia de la respuesta ante desastres. De manera similar, Ghasemi et al. [8], [9] demostraron que la optimización espacial permite reducir las distancias de desplazamiento y mejorar la distribución de los recursos de emergencia bajo escenarios de incertidumbre.

Desde una perspectiva metodológica, la utilización del AHP permitió asignar pesos relativos a las variables de análisis mediante un procedimiento estructurado y ampliamente validado en estudios de evaluación espacial del riesgo. Investigaciones recientes han confirmado que la integración entre SIG y AHP continúa siendo una de las metodologías más utilizadas para la identificación de zonas prioritarias de intervención debido a su flexibilidad, facilidad de implementación e interpretación de resultados [16], [17], [18], [19]. Asimismo, la incorporación de análisis multicriterio facilita la adaptación del modelo a diferentes contextos urbanos mediante la modificación de los factores de evaluación según las características propias del territorio.

Aunque el estudio se desarrolló en el Sector 21 del distrito de Puente Piedra, la metodología propuesta posee un carácter replicable que permite su aplicación en otras zonas urbanas expuestas a amenaza sísmica. La integración de información geoespacial con modelos multicriterio proporciona un procedimiento objetivo para apoyar la toma de decisiones en la gestión del riesgo de desastres, favoreciendo la planificación preventiva y la optimización de recursos antes de la ocurrencia de eventos extremos. En este sentido, el enfoque presentado constituye una alternativa técnicamente viable para fortalecer la resiliencia urbana y mejorar los procesos de planificación territorial en ciudades con

condiciones similares de vulnerabilidad [1], [3], [14], [15].

Finalmente, una de las principales limitaciones del estudio radica en que el modelo se fundamenta en información espacial estática, sin considerar variaciones temporales relacionadas con la movilidad urbana, la capacidad operativa de los albergues o los cambios en la demanda durante una emergencia. Futuras investigaciones podrían incorporar modelos dinámicos de simulación, análisis de redes en tiempo real y escenarios sísmicos múltiples para evaluar diferentes condiciones operativas y fortalecer aún más los procesos de planificación y respuesta ante desastres.

CONCLUSIONES

La integración de Sistemas de Información Geográfica y el Proceso de Análisis Jerárquico permitió desarrollar un modelo espacial robusto para evaluar el peligro sísmico y optimizar la ubicación de albergues temporales en el Sector 21 del distrito de Puente Piedra. La metodología facilitó la incorporación simultánea de variables geológicas, topográficas y de accesibilidad, proporcionando una representación espacial objetiva de las condiciones de riesgo y de la cobertura territorial requerida para la respuesta ante emergencias.

Los resultados evidenciaron que el área de estudio presenta un predominio de condiciones de peligro alto y muy alto, confirmando la necesidad de fortalecer la planificación preventiva mediante criterios técnicos que trasciendan la simple disponibilidad de espacios físicos. La propuesta de trece albergues temporales y de sus correspondientes rutas de evacuación demuestra que la aplicación de herramientas de análisis multicriterio permite mejorar la cobertura poblacional y favorecer desplazamientos más seguros y eficientes durante un escenario sísmico.

Desde el punto de vista metodológico, el estudio confirma la utilidad de los modelos GIS-AHP como instrumentos de apoyo para la toma de decisiones en gestión del riesgo de desastres. La estrategia desarrollada constituye un procedimiento replicable que puede adaptarse a otros contextos urbanos con características similares, contribuyendo a la planificación territorial y al fortalecimiento de la resiliencia urbana mediante criterios cuantitativos y espacialmente explícitos.

Finalmente, se recomienda que investigaciones futuras incorporen información dinámica sobre capacidad operativa de los albergues, variaciones temporales en la movilidad urbana y escenarios sísmicos múltiples, con el propósito de desarrollar modelos de optimización aún más precisos que fortalezcan la planificación de la respuesta ante desastres.

REFERENCIAS

- [1] S. Ghaffarian, N. Kerle, and T. Filatova, "Remote sensing-based proxies for urban disaster risk management and resilience: A review," *Remote Sensing*, vol. 10, no. 11, p. 1760, 2018.
- [2] A. Lorenzo-Alonso, Á. Utanda, M. E. Aulló-Maestro, and M. Palacios, "Earth observation actionable information supporting disaster risk reduction efforts in a sustainable development framework," *Remote Sensing*, vol. 11, no. 1, p. 49, 2019.
- [3] A. Corbea-Pérez, A. Merino, A. Navarro, and E. García-Ortega, "Integrating physical drivers for wildfire hazard modelling in support of disaster risk reduction: A case study in castile and león, spain," *International Journal of Disaster Risk Reduction*, p. 106047, 2026.
- [4] S. Sisman and A. C. Aydinoglu, "Using gis-based multi-criteria decision analysis techniques in the smart cities," *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLIV-4/W3, pp. 383-389, 2020.
- [5] M. Yalcin and F. K. Gul, "A gis-based multi-criteria decision analysis approach for exploring geothermal resources: Akarcay basin (afyonkarahisar)," *Geothermics*, vol. 67, pp. 18-28, 2017.
- [6] A. G. P. Neto *et al.*, "Analytic hierarchy process (ahp) to determine the susceptibility to mass movements in bairro da macaxeira (recife-pe, brazil)," *Revista Geográfica Acadêmica*, vol. 17, no. 1, pp. 5-22, 2023.

- [7] M. Ye, J. Wang, J. Huang *et al.*, "Methodology and its application for community-scale evacuation planning against earthquake disaster," *Natural Hazards*, vol. 61, pp. 881–892, 2012.
- [8] P. Ghasemi, K. Khalili-Damghani, A. Hafezalkotob, and S. Raissi, "Uncertain multi-objective multi-commodity multi-period multi-vehicle location-allocation model for earthquake evacuation planning," *Applied Mathematics and Computation*, vol. 350, pp. 105–132, 2019.
- [9] —, "Stochastic optimization model for distribution and evacuation planning: A case study of tehran earthquake," *Socio-Economic Planning Sciences*, vol. 71, p. 100745, 2020.
- [10] L. Zhao, H. Li, Y. Sun, R. Huang, Q. Hu, J. Wang, and F. Gao, "Planning emergency shelters for urban disaster resilience: An integrated location-allocation modeling approach," *Sustainability*, vol. 9, no. 11, p. 2098, 2017.
- [11] L. He and Z. Xie, "Optimization of urban shelter locations using bi-level multi-objective location-allocation model," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 19, no. 7, p. 4401, 2022.
- [12] Y. Shi, G. Zhai, L. Xu, Q. Zhu, and J. Deng, "Planning emergency shelters for urban disasters: A multi-level location-allocation modeling approach," *Sustainability*, vol. 11, no. 16, p. 4285, 2019.
- [13] S. Geng, H. Hou, and Z. Zhou, "A hybrid approach of vikor and bi-objective decision model for emergency shelter location-allocation to respond to earthquakes," *Mathematics*, vol. 9, no. 16, p. 1897, 2021.
- [14] M. D. Eelagh and R. A. Abbaspour, "A location-allocation optimization model for post-earthquake emergency shelters using network-based multi-criteria decision-making," *Decision Analytics Journal*, vol. 10, p. 100430, 2024.
- [15] A. Al-Hemoud, J. Alqahtani, A. Mhawish *et al.*, "Sand and dust storms, sand encroachment, and drought in kuwait: A basis for formulating a disaster risk reduction plan," *Natural Hazards*, vol. 122, p. 81, 2026.
- [16] Y. Kızılkın and S. Birinci, "Integration of gis and mcdm for temporary shelter site selection in earthquake-risk zone: A case study with sensitivity analysis," *Natural Hazards*, vol. 122, no. 11, 2026.
- [17] O. Nasanlı and D. T. Kejanlı, "Spatial analysis of earthquake risk in şanlıurfa city center," *GeoHazards*, vol. 7, no. 2, 2026.
- [18] Ö. Dilmen, A. Demir, A. E. Dinçer, Ş. Öztürk, and V. Kalpakçı, "A machine-learning-based multi-hazard gis-ahp framework for wind turbine siting under earthquake-landslide coupling," *Environmental Research Communications*, vol. 8, no. 5, p. 055047, 2026.
- [19] M. F. Altun and N. S. Sağ, "Identifying and prioritizing disaster-oriented urban transformation areas using gis-ahp: The case of akşehir," *ICONARP International Journal of Architecture and Planning*, vol. 14, no. 1, pp. 105–130, 2026.