

Territorios 52 / Bogotá, 2025, pp. 1-29  
ISSN: 0123-8418  
ISSNe: 2215-7484

# Modelo de resiliencia ante inundaciones como estrategia en la gestión de riesgo de desastres. Caso Arequipa (Perú)

*Flood Resilience Model as a Strategy in Disaster Risk Management. Case of Arequipa (Perú)*

*Modelo de resiliência a inundações como estratégia para a gestão de riscos de desastres. Caso Arequipa (Peru)*

Carlos Zeballos Velarde\*  
Eliana Carolina Chui Choque\*\*  
Nathalie del Pilar Ramos Flores\*\*\*

Recibido: 29 de julio de 2022

Aprobado: 19 de diciembre de 2024

<https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/territorios/a.12321>

Para citar este artículo

Zeballos Velarde, C., Chui Choque, E. C., & Ramos Flores, N. (2025). Modelo de resiliencia ante inundaciones como estrategia en la gestión de riesgo de desastres. Caso Arequipa (Perú). *Territorios*, (52), 1-29. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/territorios/a.12321>

Sección general

\* Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Correo electrónico: [czeballos@unsa.edu.pe](mailto:czeballos@unsa.edu.pe). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9483-6962>

\*\* Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Correo electrónico: [echui@unsa.edu.pe](mailto:echui@unsa.edu.pe). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8886-5978>

\*\*\* Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Correo electrónico: [nramosf@unsa.edu.pe](mailto:nramosf@unsa.edu.pe). ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5466-1259>

### Palabras clave

*Resiliencia; gestión de riesgo por inundación; vulnerabilidad urbana; modelo multicriterio; Arequipa, Perú.*

### Keywords

*Resilience; flood risk management; urban vulnerability; multicriteria model; Arequipa; Peru.*

### Palavras-chave

*Resiliência; gestão de risco de inundação; vulnerabilidade urbana; modelo multicritério; Arequipa, Peru.*

### RESUMEN

La acelerada expansión urbana y el incremento de la densidad poblacional son factores que constantemente acentúan la vulnerabilidad urbana ante el riesgo de desastres, agravada por las desigualdades socioeconómicas, la pobreza y la infraestructura deficiente. En respuesta a esta problemática, el concepto de resiliencia ha tomado mayor relevancia en los últimos años como estrategia proactiva ante la gestión de riesgo convencional. Por lo tanto, el presente estudio propone una herramienta para su diagnóstico basada en el análisis multicriterio UFResi-M, generando un índice categorizado de resiliencia (ICR). Este índice se estructura en la superposición ponderada de variables, creando un mapa de resiliencia por manzana en SIG, usando como estudio de caso la ciudad de Arequipa (Perú). Finalmente, los bolsones o *clusters* de baja resiliencia son mostrados en un mapa de calor, que facilita la lectura y puede ser un instrumento útil para la gestión de riesgo de desastre.

### ABSTRACT

Accelerated urban expansion and increased population density are factors that increase urban vulnerability to disaster risk, further aggravated by socioeconomic inequalities, poverty, and deficient infrastructure. In response to this problem, resilience has taken on greater relevance in recent years as a proactive strategy in conventional risk management. Therefore, this study proposes a diagnostic tool based on the multicriteria analysis UFResi-M, generating a Categorized Resilience Index (CRI). This index is structured through the weighted overlay of variables, creating a resilience map by block in GIS, using the city of Arequipa as a case study. Finally, areas or clusters with low resilience are depicted on a heat map, which facilitates interpretation and can be a useful tool for disaster risk management.

### RESUMO

A expansão urbana acelerada e o aumento da densidade populacional são fatores que acentuam constantemente a vulnerabilidade urbana ao risco de desastres, agravada pelas desigualdades socioeconômicas, pela pobreza e pela infraestrutura precária. Em resposta a esse problema, o conceito de resiliência ganhou destaque nos últimos anos como uma estratégia proativa para a gestão de riscos tradicional. Portanto, este estudo propõe uma ferramenta para seu diagnóstico com base na análise multicritério UFResi-M, gerando um índice de resiliência categorizado. Esse índice é estruturado na superposição ponderada de variáveis, gerando um mapa de resiliência por bloco no SIG, usando a cidade de Arequipa, Peru, como um estudo de caso. Por fim, os bolsões ou *clusters* de baixa resiliência são mostrados em um mapa de calor, o que facilita a leitura e pode ser uma ferramenta útil para a gestão de riscos de desastres.

## Introducción

Las ciudades a nivel global se ven amenazadas por el cambio climático, que afecta los medios de subsistencia de las poblaciones. Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2022), “el cambio climático amenaza cada vez más la salud y los medios de subsistencia de las personas en todo el mundo”. Además, pronostica que las emisiones de efecto invernadero alcanzarán su punto máximo entre 2020 y 2025, y si no se toman acciones de mitigación urgentes, efectivas y equitativas, esto conducirá a un calentamiento global promedio de 3,2 °C, dando lugar al incremento de la frecuencia e intensidad de los desastres.

A este contexto de eventos climáticos extremos se suma el crecimiento poblacional, que podría llegar a 8500 millones de personas en 2030, y sumar 1180 millones en las siguientes dos décadas, alcanzando 9700 millones en 2050 (ONU, 2022). Esto provocaría el aceleramiento de los procesos de expansión urbana y una distribución poblacional con altas densidades de personas viviendo en metrópolis. Se proyecta que la población urbana aumentará a 3470 millones en 2035, sobrepasando a la población rural (ONU-Hábitat, 2020).

La relación de estos dos eventos conlleva el aumento de la vulnerabilidad de la población. Según las Ciudades y Gobiernos Locales Unidos (UCGL, 2020), “la rápida expansión de las zonas urbanas destruye ecosistemas vitales que actúan

como barrera frente al riesgo de desastres”; dicha expansión resulta con mayor frecuencia en la ocupación de áreas de riesgo, que, junto a otros factores estructurales, como la crisis económica, la desigualdad, la pobreza y la explotación indiscriminada de los recursos naturales, la mayoría de ellos como resultado de procesos de desarrollo incompletos en las décadas de los ochenta y noventa (UNDRR, 2021), enmarcan zonas con mayor vulnerabilidad ante el riesgo.

Frente a esta serie de sucesos, la comunidad internacional ha reconocido la necesidad de disminuir el riesgo de desastres, como se contempla en los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 (United Nations, 2015) y el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 (UNDRR, 2015), desde diversos enfoques como la prevención de riesgos, la aminoración de riesgos existentes y el fortalecimiento de la resiliencia. Este último punto se ha incorporado como una medida proactiva de recuperación, adaptación y evolución de los sistemas urbanos ante las medidas tradicionales de la gestión de riesgos (Rezaei-Soufi *et al.*, 2021).

El énfasis del estudio y promoción de la resiliencia se ha incrementado en los últimos años (Bueno *et al.*, 2021), siendo uno de los grupos de mayor interés el análisis de desastres, particularmente las inundaciones, por su alto grado de frecuencia. Los registros del Centro de Investigación sobre la Epidemiología de los

Desastres (CRED, 2023) muestran que las inundaciones representan el 45 % de todos los desastres para 2022. Adicionalmente, de acuerdo con los datos estadísticos de EM-DAT (2023), en América Latina y Perú durante los últimos 20 años se han registrado 87 desastres, de los cuales 49 fueron hidrológicos y provocaron la muerte de 1087 personas.

Sin embargo, la gestión de riesgo enfrenta numerosos obstáculos, incluyendo la dificultad de medir la preparación en distintos niveles y la complejidad de coordinar las respuestas de individuos con diversas reacciones y motivaciones (Mudefi, 2022). Así mismo, algunos estudios destacan la necesidad de revisar los marcos, políticas y estructuras de gestión de riesgo para superar obstáculos burocráticos y fortalecer las capacidades de las instituciones locales (Ashfaq Ahmad *et al.*, 2019; Mudefi, 2022; Torres Mallma, 2021).

Por otro lado, investigaciones recientes proponen abordar la gestión de riesgo desde una perspectiva de resiliencia (Mayer, 2019). Conforme con Espinoza y Booker (2023), es necesario desarrollar herramientas para fortalecer la resiliencia del entorno construido, especialmente en la infraestructura y edificaciones, así como en las redes vitales de agua, energía y transporte.

La presente investigación tiene como objetivo adaptar e implementar un instrumento para el diagnóstico de resiliencia ante el riesgo de desastre por inundación, y así reconocer el comportamiento de la

población y su entorno físico en función de la capacidad y sensibilidad e identificar áreas de intervención para proponer estrategias correctivas en el ámbito de la gestión de riesgos.

## Conceptos de resiliencia urbana

### Vulnerabilidad urbana

Después de la adopción del Marco de Sendai en 2015, para el año 2020 la crisis del Covid-19 reveló de manera contundente la vulnerabilidad y exposición de la población, debido a los procesos de crecimiento urbano informal, incremento de la pobreza, desigualdad y exclusión, problemas de gobernanza, procedimientos ineficaces en la planificación democrática del uso del suelo y la asignación de servicios urbanos, lo que además se vio exacerbado por el cambio climático, dando lugar al entorno urbano como el escenario principal para el riesgo de desastres (UNDRR, 2021). Esta situación evidencia el aumento de la vulnerabilidad urbana, causada por los procesos de ocupación territorial debido a la acelerada expansión urbana y la presión que esta ejerce sobre su hábitat.

Dentro de la literatura contemporánea, se encuentran estudios que desarrollan la interacción de estos factores en el contexto urbano. Por ejemplo, Ochoa y Guzmán (2020) analizan el desarrollo urbano y la desigualdad social, el rezago social y la marginación, al igual que la consolidación urbana, para determinar

la vulnerabilidad sociodemográfica, socioeconómica y socioespacial. Sus conclusiones enfatizan que la vulnerabilidad urbana es un reflejo del territorio. En este sentido, se considera al entorno construido como el criterio más negativo dada la vulnerabilidad del sistema de infraestructura (Espinoza & Booker, 2023).

### **Gestión del riesgo de desastre y la resiliencia**

La necesidad de reducir el riesgo de desastres ha llevado a la adopción de medidas específicas como los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 (United Nations, 2015) y el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 (UNDRR, 2015). Estos marcos incluyen enfoques que van desde la prevención hasta la mitigación de los riesgos existentes, no obstante, se han identificado desafíos en el enfoque y las prácticas de la gestión de riesgos tradicional, como la dependencia de planes desactualizados y genéricos, desequilibrios en los métodos de planificación, la inclusión de protocolos excesivos y la falta de coordinación en la dirección. Adicionalmente, no se aprovechan adecuadamente los datos geoespaciales y tecnologías como la teledetección y los sistemas de información geográfica (SIG), que son fundamentales para mejorar la gestión de riesgos (Mudefi, 2022).

Algunas investigaciones destacan que el problema principal es que la gestión de riesgos tradicional se centra

principalmente en los riesgos identificables, lo que excluye la consideración de incertidumbres y eventos inesperados (Rezaei Soufi *et al.*, 2021). En respuesta a estas limitaciones, ha surgido un énfasis creciente en el fortalecimiento de la resiliencia como estrategia proactiva para adaptar y hacer evolucionar los sistemas urbanos (Bueno *et al.*, 2021).

Este enfoque representa un cambio significativo en la gestión de riesgos y refleja la creciente comprensión de la importancia de prepararse para una amplia gama de posibles desafíos y perturbaciones. Así mismo, en los últimos años se ha hecho notable el creciente interés por la resiliencia, especialmente en relación con los desastres (Bueno *et al.*, 2021). Esto se debe, en parte, a la alta frecuencia de eventos como inundaciones, que requieren respuestas más efectivas largoplacistas que las medidas tradicionales de gestión de riesgos.

A pesar de este progreso, todavía existen desafíos en la planificación urbana, ya que la zonificación se hace de manera genérica en muchas ciudades. Esta práctica se centra principalmente en delimitar áreas de riesgo, muchas veces sin tener en cuenta las necesidades y características específicas de los residentes y sin reconocer su capacidad de resiliencia. Es importante comprender que la legitimidad de la gestión del riesgo depende del comportamiento de los individuos, que actúan según sus propias características

acorde a su entorno construido (Heitz & Nagata, 2017).

La zonificación tradicional también tiende a promover la homogeneidad en el uso del suelo, lo que limita la capacidad de las ciudades para adaptarse a las condiciones cambiantes y a la variabilidad en el tiempo. Esto es problemático en un mundo donde los desastres naturales y las condiciones climáticas extremas son cada vez más frecuentes y menos predecibles.

Para enfrentar estos desafíos, es esencial un enfoque integral del riesgo total que incorpore tanto la gestión de riesgos tradicional como la promoción de la resiliencia, considerando las características de las poblaciones, su diversidad y capacidad de adaptación (Rezaei Soufi *et al.*, 2021). Esto contribuye a crear ciudades más seguras y preparadas para afrontar los retos del futuro.

Por lo tanto, las estrategias de resiliencia son herramientas de apoyo para generar las capacidades proactivas de aprendizaje y anticipación que debe desarrollar el sistema urbano para reaccionar frente al desastre. Estas estrategias se basan en la operacionalización de la resiliencia, lo que permite identificar puntos de acción para implementar medidas correctivas.

### **Instrumentos para evaluar la resiliencia**

La teoría moderna de la resiliencia se atribuye comúnmente a los estudios de Holling en el campo de la ecología (Meerow

*et al.*, 2016). Este autor propone que la resiliencia determina la persistencia de las relaciones dentro de un sistema y es una medida de la capacidad de estos sistemas para absorber los cambios y aun así persistir (Holling, 1973).

La Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, por su parte, definió la resiliencia como “la capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuesta a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficiente, especialmente a través de la preservación y restauración de sus estructuras y funciones básicas mediante la gestión de riesgos” (UNDRR, 2017). Con el tiempo el término se ha movilizó por diversas disciplinas científicas manteniendo como aspecto fundamental la gestión de los sistemas complejos (Metzger & Robert, 2013; Balanzó, 2017).

En este contexto, un área de enfoque que aborda la resiliencia es la mitigación de riesgo de desastres, en la que diversos estudios intentan evaluar la resiliencia urbana, particularmente en lo que respecta al riesgo por inundación (Bueno *et al.*, 2021). Según ONU-Hábitat (2016), evaluar la resiliencia urbana implica analizar la capacidad de elementos clave de la ciudad para recuperarse tras un desastre, restaurando su infraestructura, equipamientos, economía y servicios.

Dada la naturaleza holística del término, varios académicos utilizan enfoques integrados como índices compuestos o

multicriterio para su cuantificación (Miguez & Veról, 2016; Kotzee & Reyers, 2016; Bertilsson *et al.*, 2019; Moghadas *et al.*, 2019; Tayyab *et al.*, 2021). Estas herramientas, basadas en un enfoque de criterios múltiples, ayudan a representar aspectos clave de un sistema que puedan unirse en un índice compuesto.

Miguez y Veról (2016) proponen una medida cuantitativa para evaluar la resiliencia ante inundaciones, probando diferentes alternativas de control. Para ello se usó un índice de criterios llamado Fresi (índice de resiliencia ante inundaciones), que toma como referencia herramientas ya propuestas como el modelo hidrodinámico Modcel (Mascarenhas & Miguez, 2002), para el mapeo de inundaciones, y el FRI (índice de riesgo de inundaciones) (Zonensein, 2007). Por consiguiente, se obtuvo que las medidas de restauración fluvial y drenaje sostenible, en áreas inundables, aumentan su resiliencia.

Por otro lado, Kotzee y Reyers (2016) identifican la importancia del desarrollo de índices compuestos de los sistemas sociológicos (SES) de la resiliencia ante inundaciones. De este modo, se construye un índice de 24 variables seleccionadas por su relevancia social, ecológica, económica y de infraestructura, en tres municipios de Sudáfrica y se integran mediante el análisis de componentes principales (PCA), obteniendo como resultado cuatro componentes que se distribuyen en mapas correspondientes al grado de resiliencia; en ellos se observa que, en la periferia de

las ciudades, se encuentra el menor grado de resiliencia ante inundaciones.

Bertilsson *et al.* (2019), por su parte, proporcionaron un índice de criterios múltiples para integrar la resiliencia a las inundaciones en la planificación urbana, llamado S-Fresi, “índice especializado de resiliencia ante inundaciones urbanas”, el cual combina las características de peligro y la exposición y susceptibilidad del sistema junto a la capacidad de recuperación material de las pérdidas y la capacidad funcional del sistema de drenaje.

Este instrumento fue probado en un estudio de caso con resultados consistentes en distintos escenarios, demostrando que la espacialización puede identificar de manera más eficiente las áreas que necesitan mayor atención, siendo un factor importante en la toma de decisiones para la mitigación del riesgo. El seguimiento de esta investigación ha dado lugar al desarrollo del modelo UFResi-M propuesto por Tayyab *et al.* (2021), un modelo holístico que incorpora la dimensión de sensibilidad a las inundaciones con factores como el peligro, la exposición y la susceptibilidad, y, por otra parte, la dimensión de capacidad de afrontamiento.

Estos factores se reinterpretan no solo en indicadores, sino también en aspectos del entorno del lugar, por lo que el uso de teledetección de datos y sistemas de información geográfica (SIG) resultó práctico y adecuado. El modelo presentó una evaluación sólida de la resiliencia a las inundaciones, dando lugar a un mapa

de información geoespacial que permite precisar las áreas de mayor y menor sensibilidad y capacidad a las inundaciones. Sin embargo, el U-FResi-M necesita modificaciones en la interpretación de indicadores y manipulación de datos relacionados con la capacidad de afrontamiento, que mejoren su eficiencia, precisión y confiabilidad.

### Área de estudio

Arequipa se encuentra ubicada a una altitud promedio de 2500 m sobre el nivel del mar al sur de la sierra peruana. Ha tenido una tasa de crecimiento promedio anual del 1,8 %, acorde al Censo Nacional XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas de 2017, lo que significa el aumento de 230 427 habitantes entre 2007 y 2017, colocándose como la segunda ciudad más poblada de Perú, con una ocupación urbana del 92,3 % (INEI, 2022). Su topografía es agreste y surcada por quebradas y cauces de arroyos estacionales nacidos a los pies de los volcanes Misti, Chachani y Pichu Picchu, que sirven de límites distritales.

En la actualidad, la ciudad “ha crecido más en extensión y densidad demográfica que en capacidades productivas primarias o de transformación” (Arela *et al.*, 2021, p. 2), siendo esta una de sus principales problemáticas. Este crecimiento se ha dado a menudo sin planificación y de manera desordenada, en un inicio originado por migrantes de baja condición

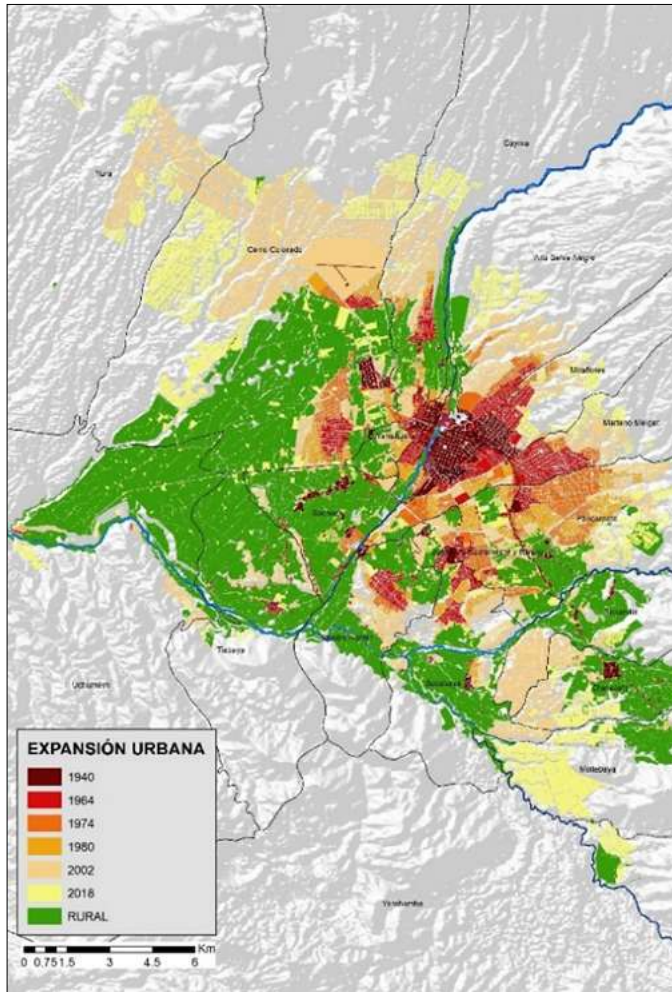
socioeconómica y después por la especulación de la tierra generada por los traficantes de tierras (Zeballos *et al.*, 2022) (ver figura 1), ocupando mayormente el norte y este del centro histórico a las faldas de los volcanes Misti y Chachani, cuadruplicando su área original y alcanzando una extensión de 276 km<sup>2</sup> aproximadamente (Arela *et al.*, 2021).

Este fenómeno dio lugar a la ocupación de áreas periféricas de la ciudad y áreas colindantes a dichas quebradas, que el Plan de Desarrollo Metropolitano (PDM) ha reconocido como zonas de alto y muy alto riesgo; la primera corresponde a ZRE-R1, donde se otorga la condición de “uso no conforme” y se permiten obras de mantenimiento, mas no de aumento de densidad, mientras que la segunda corresponde al ZRE-R2, en la que se prohíbe la edificación, y si la hubiera, se recomienda su reubicación (IMPLA, 2016) (ver figura 1b).

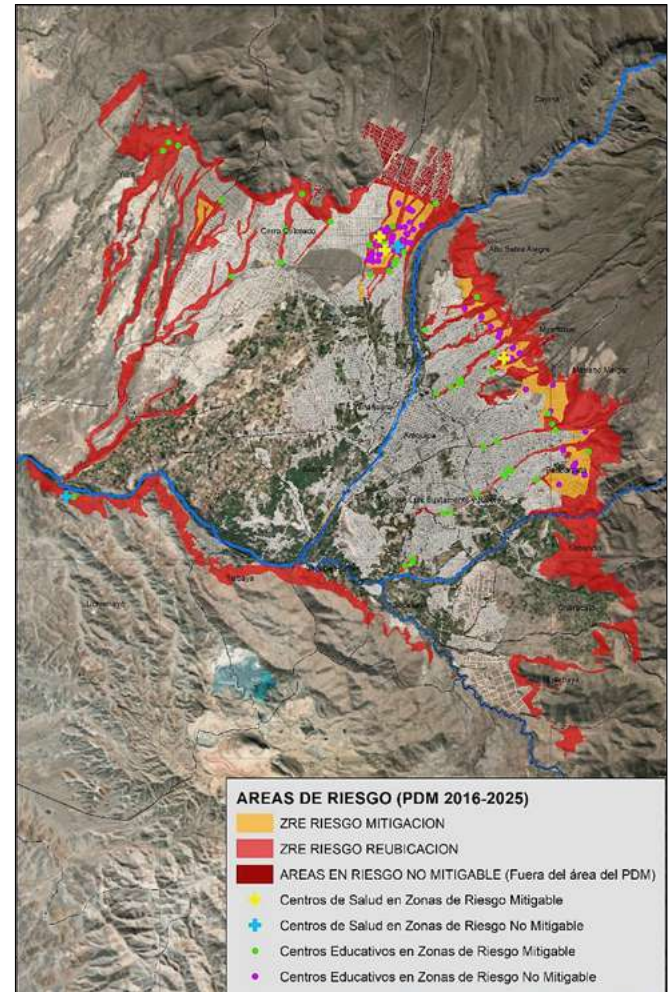
Además, el clima es “templado continental” con precipitaciones periódicas, principalmente en los meses de diciembre a marzo, teniendo un promedio de 20,48 mm en verano, en los meses de abril a noviembre las precipitaciones son casi nulas (Zeballos, 2020, p. 94). Durante la estación de lluvias, desde la montaña, donde las precipitaciones son mayores, se generan flujos torrenciales, que alcanzan su pico máximo entre 30 y 60 minutos tras el inicio de una lluvia de 1 a 2 horas (Mazer *et al.*, 2021), activando las quebradas estacionales conocidas localmente como “torreteras”, que causan grandes

**Figura 1. Contraste entre la expansión urbana y las áreas de riesgo**

a) Expansión urbana de Arequipa (1940-2018)



b) Áreas de riesgo según PDM 2016-2025



Fuente: *Atlas ambiental de Arequipa* (Zeballos, 2020).

daños a la población vulnerable asentada en las inmediaciones (Zeballos *et al.*, 2022, p. 8).

Son seis torrenteras principales las que atraviesan la ciudad desde los volcanes

hasta las zonas más bajas de la ladera, donde el desarrollo residencial está en aumento, y desembocan en el centro de la ciudad. Mazer *et al.* (2021), en su estudio hidrológico para un período de 100 años,

territorios 52

determinaron que las inundaciones son comunes, impredecibles y notorias, aparte de presentarse de manera aislada en cada distrito de la ciudad. También resalta que las áreas urbanas densamente pobladas, donde las torrenceras están fuertemente canalizadas, como en Mariano Melgar, son más propensas a inundaciones y las zonas en las que las torrenceras aún no están canalizadas, las inundaciones son menos severas.

En este contexto, un informe sobre la expansión urbana de Arequipa en los últimos 40 años, elaborado por el Centro de Estudios en Economía y Empresa de la Universidad Católica San Pablo, destaca que los distritos de Alto Selva Alegre, Miraflores y Mariano Melgar poseen mayor densidad que los otros distritos. Adicionalmente, expone su preocupación por el deterioro de la calidad de vida con relación a los servicios insuficientes y la logística para asegurar la comodidad (Arela *et al.*, 2021, p. 3). En tanto, de acuerdo con el Índice de Vulnerabilidad al Cambio Climático (IVCC), distritos como Selva Alegre y Mariano Melgar presentan un grado alto de vulnerabilidad (Zeballos, 2020, p. 247).

La relación entre la creciente densificación urbana y la vulnerabilidad a inundaciones de estos distritos asentados en las laderas de los volcanes, ha motivado su selección como área de estudio para esta investigación. Esta situación representa una preocupación recurrente para la población y los gobiernos distritales durante

la temporada de lluvias. No obstante, las acciones de gestión frente al riesgo no han tenido grandes resultados, ya que el problema persiste año tras año: “Un 61 % de la población otorga legitimidad en la reducción de riesgos a defensa civil, un 18 % les otorga a las autoridades locales y un 10 % a los medios de comunicación” (Heitz & Nagata, 2017).

Los gobiernos locales, por su parte, contemplan dentro de su administración política una subgerencia de gestión del desastre o similar, que actúa dentro del marco de la Ley 29664, la cual dispuso la creación del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (Sinagerd). Este sistema aborda la gestión prospectiva, correctiva y reactiva a través de sus entidades técnicas: el Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (Ceplan), encargado de la planeación estratégica a nivel nacional; el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (Cenepred), responsable de la estimación, prevención y reducción del riesgo, además de la reconstrucción pos-desastre; y el Instituto Nacional de Defensa Civil (Indeci), encargado de las tareas de respuesta ante emergencias (Thouret *et al.*, 2024).

Por lo tanto, los procedimientos se implementan en tres niveles de gobernanza: nacional, regional y distrital, cada uno con competencias y responsabilidades específicas en la prevención y reducción del riesgo de desastres. Sin embargo, la toma de decisiones efectivas a largo plazo

para enfrentar el riesgo de desastres se ve obstaculizada por los cambios políticos en los municipios cada cinco años, lo que exige la capacitación continua de funcionarios y gestores de riesgos en aspectos jurídicos y procedimientos, especialmente durante las emergencias (Thouret *et al.*, 2024). Así mismo, existen muchas lagunas en cuanto a su implementación, pues esta es generalizada y carece de calidad en su ejecución (Espinoza & Booker, 2023).

## Metodología

### Obtención de datos

Para el manejo de datos de los indicadores, se utilizó la cartografía oficial y datos demográficos a nivel de manzana del Censo Nacional XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas de 2017, efectuados por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), y para la ubicación de la infraestructura elemental del área de estudio se empleó el mapa de uso de suelos planteado por el Instituto Municipal de Planeamiento de Arequipa (IMPLA) 2015-2025 y los catálogos de cada distrito.

### Método

Mediante técnicas de cuantificación destinadas a identificar zonas de alta y baja resiliencia que comprendan el territorio, su estructura y dimensiones, se establece un modelo de evaluación de resiliencia

ante el riesgo de inundaciones, tomando como referencia principal el modelo UFResi-M desarrollado por Taysab *et al.* (2021) para el apoyo en la toma de decisiones de intervenciones. Este modelo adopta conceptos originales propuestos por Veról (2013) y el índice multicriterio S-FResi (Bertilsson *et al.*, 2019) que aporta la integración de indicadores en una ecuación.

El UFResi-M modifica el S-FResi combinando cuatro índices en dos dimensiones. La primera dimensión representa la sensibilidad, que consta de tres factores: peligro (IH), exposición (IE) y susceptibilidad (IS), que evalúan el impacto de la inundación, mientras que la segunda representa la capacidad de afrontamiento (ICc), que tiene como objetivo mostrar la capacidad económica, institucional y el nivel educativo, a fin de recuperarse y hacer frente a las pérdidas relacionadas con las inundaciones; el contraste entre estas dos dimensiones indicaría la resiliencia del área de estudio.

La propuesta de esta investigación modifica y amplía el modelo UFResi-M, fundamentándose en la revisión de la literatura que define de manera amplia la exposición y la capacidad de afrontamiento para evaluar nuevos indicadores que serán seleccionados bajo los principios de escala, medición, validez, disponibilidad de data y fiabilidad.

La capacidad de afrontamiento se encuentra en una relación inherente al concepto de resiliencia desde sus primeros

aportes en el ámbito académico, ya que la preparación ante el desastre se vuelve inevitable y los esfuerzos operativos y científicos de adaptación y capacidad de respuesta se enfrentan a la gestión de riesgo. Este vínculo implícito lleva al interés de una mayor profundización en su descripción de indicadores. Respaldados por la literatura o la validación causal, se toma como fuente principal el índice de capacidad de afrontamiento y adaptación de Parsons *et al.* (2016) para la obtención del indicador de nivel educativo, grupo de edad y tenencia de vivienda.

En cuanto a la exposición (IE), la literatura la define como la cantidad de personas que viven en un área inundable y pueden verse potencialmente afectadas por una inundación, por lo tanto, están expuestas al peligro (Bertilsson *et al.*, 2019, p. 21).

Si bien el desarrollo de los indicadores de la dimensión de peligro, propuestos por el modelo base, responde de manera efectiva, en este estudio, se aprovechó la disponibilidad de información local, haciendo uso del mapa de peligro por inundación de la ciudad.

Para el análisis se tomaron dos dimensiones principales: la capacidad (ICc) y la sensibilidad (IH. IE. IS), que fueron integradas en la ecuación propuesta por Bertilsson *et al.* (2019):

$$UFRI = [1 - (I H.I E.I S)].m 1 + [1 - I Cc].m 2$$

En la que IH es peligro, relacionado principalmente con los niveles de inundación; IE responde a la exposición que expresa la cantidad de personas y la calidad de los elementos expuestos; IS es la susceptibilidad de la infraestructura fundamental de la ciudad que pueda verse afectada por la inundación y la dimensión de capacidad de afrontamiento se representa por ICc. Esta serie de factores se restan de la unidad '1' para poder representar valores de alta y baja resiliencia, en que los valores cercanos a 0 corresponden a alta resiliencia y los valores que se alejan del 0, baja resiliencia, en otras palabras, se produce una alta resiliencia cuando se minimizan las consecuencias negativas.

Respecto a la ponderación de cada dimensión, se otorgaron los pesos asignados en el UFResi-M, en que m1 representa el peso asignado a la dimensión de sensibilidad y m2, el peso asignado a la dimensión de la capacidad de afrontamiento, ambos adquieren valores iguales, es decir, m1 = m2 = 0,5.

Como método de clasificación de los indicadores se trabajó con intervalos entre 2 y 10, que se han utilizado en estudios similares (Ogato *et al.*, 2020; Kazakis *et al.*, 2015), en los que los valores están asociados a la relación positiva o negativa que poseen con la dimensión a la que pertenecen, además servirán para la estandarización de datos en el entorno SIG.

Finalmente, para la interpretación del mapa de resiliencia final y una mejor

lectura, se reclasificaron los valores del ráster en cinco clases, definidas en rangos según ruptura de Jenks, en la cual los valores cercanos al 1 representan resiliencia muy alta y se les asignó el valor de 1, y a los valores intermedios se les asignó los valores de 0,75, 0,50 y 0,25 según se van alejando del 1, y corresponden a resiliencia media alta, media y media baja, respectivamente, y, por último, los valores más cercanos a 0 representan resiliencia muy baja y adquieren el valor de 0.

### Clasificación

Las clases de densidad de población se definieron a partir del Decreto Supremo 22-2016-Vivienda de Perú, que establece la densidad baja hasta 250 hab./ha, densidad media hasta 560 hab./ha y densidad alta mayor a 560 hab./ha; estos valores se reclasificaron en cinco clases (ver tabla 1), los pesos se asignaron en relación positiva a la dimensión de sensibilidad, es decir, a mayor densidad mayor sensibilidad de personas en un área.

Para la clasificación de la calidad de material de construcción, se tomó lo establecido en el *Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales* (Cenepred, 2014, p. 133), que fija cinco clasificaciones: estera y cartón, madera, quincha, adobe o tapia y ladrillo o bloque de cemento; estas clases fueron reclasificadas y se añadieron otros

materiales de construcción que existen en el área de estudio según el INEI (ver tabla 1). Los pesos se añadieron en relación negativa a la dimensión de la sensibilidad, es decir, a menor calidad de material de construcción mayor sensibilidad.

En cuanto al indicador de grupo etario, se clasificó en cinco grupos tomando como referencia a Parsons *et al.* (2021), en que las personas menores a 15 años y mayores a 75 años tienen una relación negativa con la dimensión de capacidad, es decir que este grupo de personas tienen menor capacidad de afrontamiento en comparación con los otros grupos.

Por otra parte, para los indicadores de porcentaje de residentes que son dueños de su casa y nivel educativo, se formaron cinco grupos con los datos clasificados por el INEI, luego se asignaron valores, tomando en consideración la tendencia positiva o negativa expuesta en el índice de capacidad de afrontamiento y adaptación de Parsons *et al.* (2021).

En el caso del indicador de edificios comerciales, residenciales e infraestructura gubernamental y centros de salud, se tiene en cuenta un valor uniforme, ya que se refiere a la infraestructura fundamental de la ciudad a nivel metropolitano, y, en el caso de esta investigación, el área de estudio se ve limitada a tres distritos. Por lo tanto, se asigna un valor de 6 a todas las manzanas en el área de estudio, sin ninguna variación positiva ni negativa.

Tabla 1. Clasificación de Indicadores

Dimensión	Variables	Indicador	Clase	Intervalo
Sensibilidad	Peligro	(Mapa de peligro por inundación)	-	-
	Exposición	Densidad de población (hab./ha)	401-943	10
			301-400	8
			201-300	6
			101-200	4
			1-100	2
		Material de construcción predominante	Estera cartón / <i>triplay</i> /calamina/otro material	10
			Madera	8
			Adobe (quincha)/tapia, piedra con barro	6
			Piedra o sillar con cal o cemento	4
			Concreto/ladrillo	2
	Susceptibilidad	Edificios comerciales, residenciales e infraestructura gubernamental	100%-80%	10
			80%-60%	8
			60%-40%	6
			40%-20%	4
20%-0%			2	
Capacidad	Capacidad de afrontamiento	100%-80%	10	
		60%-80%	8	
		Centros de salud	40%-60%	6
		20%-40%	4	
		0%-20%	2	
	Grupo etario	15-29	10	
		30-44	8	
		45-59	6	
		60-74	4	
		Menor a 15 y mayor a 75	2	

Dimensión	VARIABLES	Indicador	Clase	Intervalo
		Tenencia de vivienda	Propia con título de propiedad	10
			Propia sin título de propiedad	8
			Alquilada	6
			Cedida	4
			Otra forma	2
		Nivel educativo	Maestría/doctorado	10
			Superior universitaria/no universitaria completa	8
			Superior universitaria incompleta/no universitaria incompleta	6
			Básica especial/secundaria	4
			Primaria/inicial/sin nivel	2

Fuente: elaboración de los autores.

## Cálculo

Para el cálculo de la densidad se ha dividido la población censada por el área de cada polígono de manzana y se ha ponderado cada manzana con un valor del 2 al 10 según la clasificación.

Los indicadores calidad de material de construcción, grupo etario, tenencia de vivienda y nivel educativo presentaron diversos valores poblacionales por categoría, por lo que se propone un índice categorizado de resiliencia (ICR), que permite una ponderación por rango, mediante la siguiente ecuación:

$$ICR = \frac{(Valor\ por\ categoría \times Valor\ de\ Resiliencia)}{N^{\circ}\ de\ elementos\ por\ Manzana} \times 100$$

Por cada una de las categorías, se desarrollaron mapas en SIG utilizando la base catastral oficial en formato vector. Posteriormente, estos han sido convertidos en mapas ráster, y luego se ejecutó álgebra de mapas clasificándolos en cinco categorías y sumando los valores de cada uno de los mapas para obtener un valor ponderado de resiliencia (VPR). Los polígonos que no tenían información censal han recibido un valor de 0.

Respecto a la susceptibilidad de la infraestructura elemental, se cuantificó la totalidad de elementos en los tres distritos y se identificaron los equipamientos situados en áreas de riesgo o cercanos a 100 metros lineales, luego se determinó la relación porcentual entre la totalidad de equipamientos y la infraestructura en área de riesgo.

## Resultados

El análisis de la serie de mapas por indicador reveló una concentración significativa de densidad poblacional alrededor de las principales vías que se extienden radialmente desde el centro hacia el volcán. Se observa una mayor densidad en las áreas cercanas al centro urbano, representada por el 18 %, 3 % y 1 % del total, mientras que más del 50 % del área de estudio presenta una baja densidad poblacional, concentrada principalmente en la periferia urbana (ver figura 2).

Este patrón sugiere una clara concentración radiocéntrica, en la que las zonas más antiguas y cercanas al centro exhiben una mayor densidad poblacional, que además está relacionada con el crecimiento urbano (ver figura 1). Las áreas más antiguas, que fueron las primeras en desarrollarse, tienen una mayor densidad debido a la consolidación de infraestructuras y servicios esenciales, en contraste con las áreas periféricas que aún están en proceso de consolidación.

En relación con el material de construcción, los resultados muestran que el concreto y el ladrillo son los materiales predominantes en el área de estudio, representando el 43 % del total (ver figura 2), en contraste con materiales como la estera y el *triplay*, que corresponden únicamente al 1 %. Esta distribución refleja una mayor consolidación en las proximidades de las vías principales y en las zonas más antiguas del área de estudio, evidenciada

por la prevalencia de materiales resistentes como el concreto y el ladrillo.

Por el contrario, se detecta la presencia de materiales precarios, como la estera y el *triplay*, en áreas adyacentes y zonas de riesgo como torrenteras y la periferia. Estas áreas suelen caracterizarse por condiciones socioeconómicas adversas, con acceso limitado a recursos y procesos informales de acceso a la tierra, por ubicarse en áreas de riesgo.

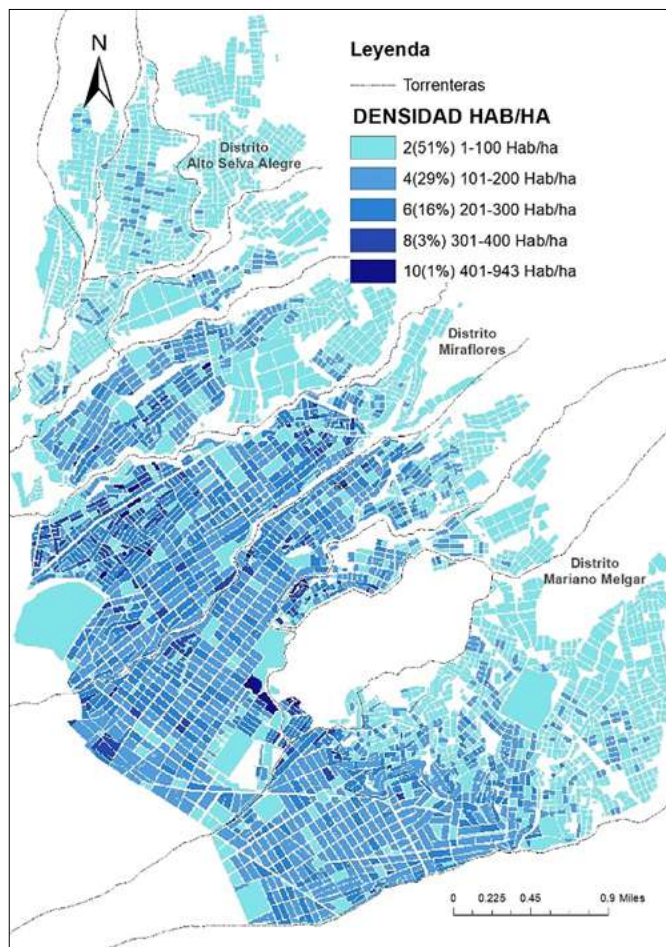
En contraste, en la zona baja de Miraflores y Mariano Melgar, se destacan las construcciones de piedra, sillar con cal o cemento, que datan de la expansión urbana de 1940 (ver figura 1a). Estas áreas también muestran una notable concentración de materiales de construcción como adobe y madera. Particularidad que sugiere la presencia de estructuras antiguas que, con el paso del tiempo, han experimentado un deterioro significativo.

Al relacionar el mapa de densidad con el mapa de material de construcción se percibe su vinculación con el proceso de expansión; no obstante, en la periferia de los tres distritos, que corresponde a la expansión de 2002 (ver figura 1a), se observa puntualmente mediana y alta densidad con material de construcción de concreto (ver figura 2b). Situación que podría implicar un alto desarrollo a pesar de tratarse de zonas que están en proceso de consolidación de infraestructura pública.

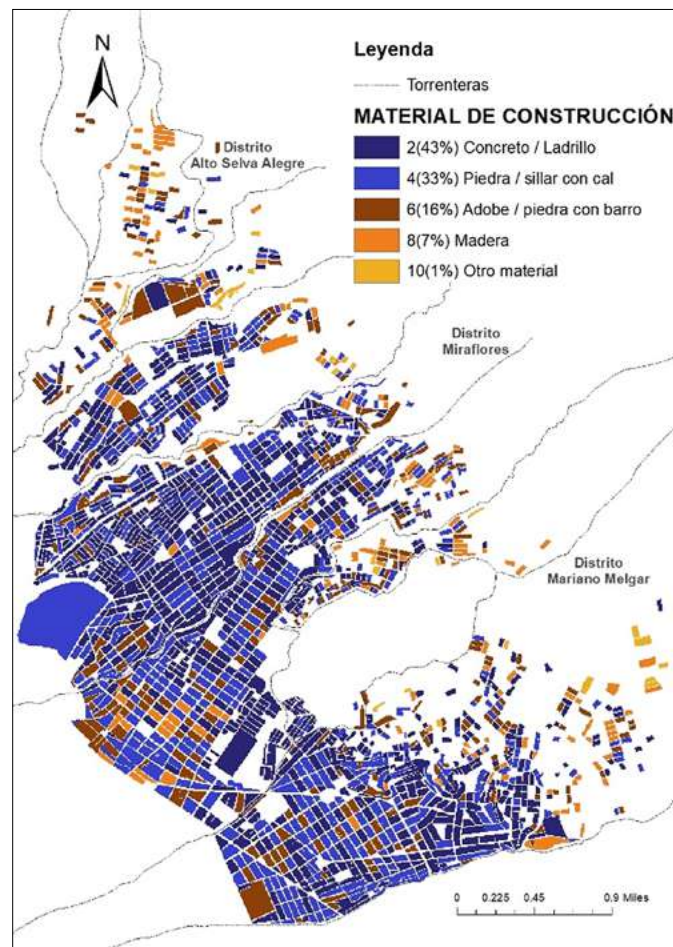
La distribución de la edad etaria no exhibe un patrón específico, ya que las

Figura 2. Contraste entre la densidad y el material de construcción

a) Mapa densidad poblacional



b) Mapa material de construcción



Fuente: elaboración de los autores.

edades vulnerables y no vulnerables suelen encontrarse adyacentes. Sin embargo, al examinar esta distribución a nivel de distritos, se observa una significativa concentración de personas entre 15 y 44 años en el distrito de Alto Selva

Alegre, representando una población relativamente joven con alta capacidad de afrontamiento y menor vulnerabilidad en comparación con los demás distritos.

Además, los grupos más representativos son del 35% y 31%, correspondientes

territorios 52

a la población entre 30 a 44 y 60 a 74 años, respectivamente, mientras que la población más vulnerable constituye el 15 % del total (ver figura 3a).

Con respecto a la tenencia de la vivienda, se reporta que en el casco urbano consolidado predominan los residentes con propiedad alquilada y cedida, lo que podría indicar una mayor presencia de inquilinos y población flotante. En contraste, en las áreas de expansión urbana a partir de 2022 (ver figura 1a), se evidencia un mayor porcentaje de residentes que son dueños de su vivienda y cuentan con título de propiedad.

De esta tendencia se podría inferir que los residentes han tenido la necesidad de obtener títulos de propiedad para sus viviendas, al ser ocupaciones recientes. Este fenómeno podría estar relacionado con un proceso de formalización de la tenencia de la tierra. No obstante, en la totalidad del área de estudio, el porcentaje de residentes dueños de su casa está representado por viviendas alquiladas en un 33 %, mientras solo el 15 % de viviendas son habitadas por personas con título de propiedad (ver figura 3b).

En cuanto al nivel educativo, en las zonas más consolidadas, se muestra un nivel educativo más elevado, debido a que han logrado establecer una formación sólida a lo largo del tiempo, lo que sugiere que los habitantes han tenido un acceso más amplio a oportunidades educativas. Por otro lado, en las zonas nuevas o periféricas, la mayoría de la población

presenta un nivel educativo más bajo, lo que podría indicar implicaciones en aspectos socioeconómicos o en la calidad de vida de los residentes.

La educación superior incompleta es la clase más representativa con un 27 %, seguida por la educación superior completa con un 23 %. Gran parte de esta población se ubica en la zona consolidada del área de estudio, próxima al centro histórico (ver figura 3c).

El contraste entre los tres mapas demuestra claras diferencias entre la zona más antigua de Miraflores y la periferia de Alto Selva Alegre. En Miraflores, la capacidad es menor en términos de grupo etario y tenencia de vivienda, pero su alto nivel educativo les permite responder bien al riesgo. En cambio, en Alto Selva Alegre, la mayoría de la población es joven y en algunas zonas son dueños de su casa con título de propiedad, lo que les da una mayor capacidad. Sin embargo, su bajo nivel educativo dificulta una respuesta adecuada al riesgo.

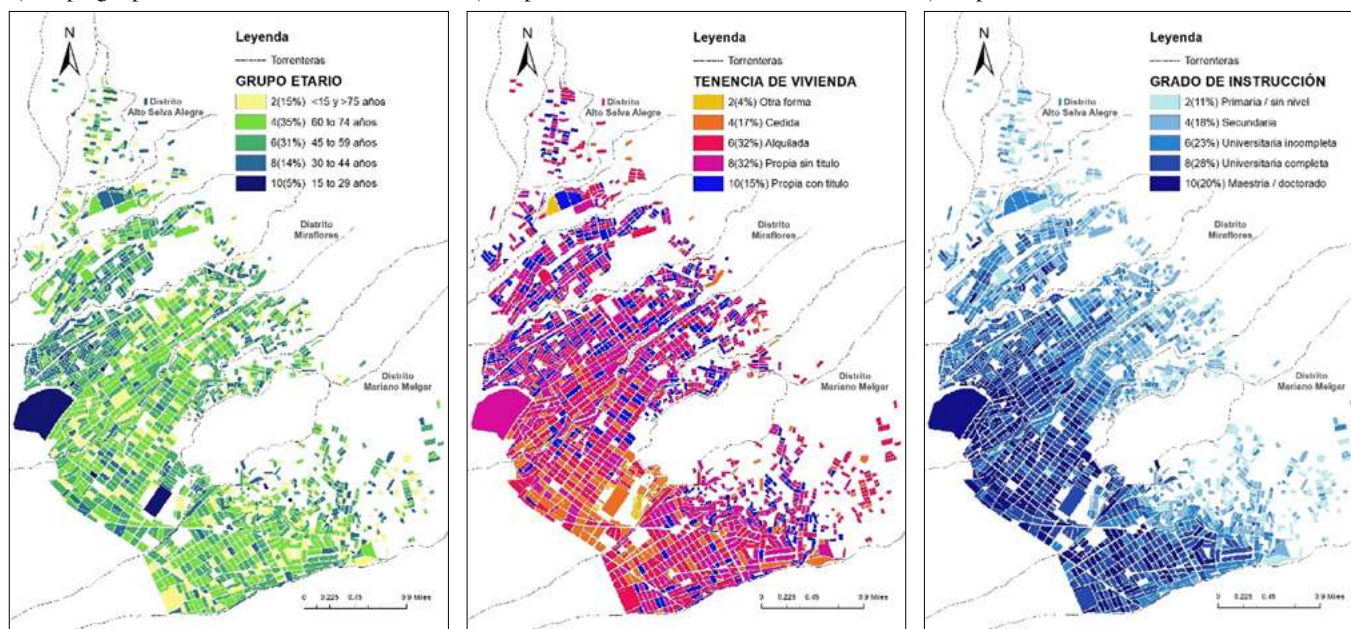
Finalmente, se observa que el 39 % del área de estudio tiene resiliencia media, mientras que solo el 11 % posee resiliencia alta y el 3 %, una resiliencia muy baja (ver figura 4). Adicionalmente, a grandes rasgos las áreas de mayor resiliencia se concentran en las zonas más antiguas y a lo largo de las vías principales, mientras que las zonas menos resilientes se encuentran en áreas periféricas o cercanas a zonas de riesgo, no obstante, es importante notar excepciones significativas, en las que áreas

Figura 3. Contraste entre el grupo etario, tenencia de vivienda y nivel educativo

a) Mapa grupo etario

b) Mapa tenencia de vivienda

c) Mapa nivel educativo



Fuente: elaboración de los autores.

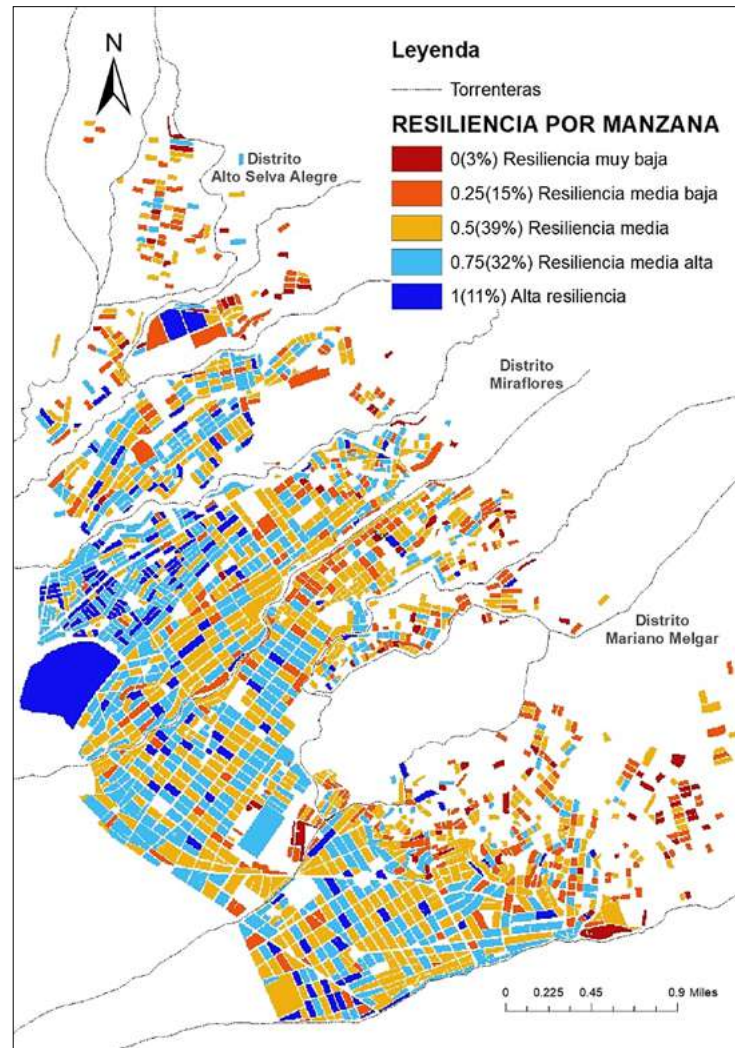
específicas dentro de zonas urbanas consolidadas muestran una baja resiliencia y áreas específicas de alta resiliencia se encuentran ubicadas en la periferia urbana (ver figura 4).

Esto sugiere que la gestión de la resiliencia no debe ser abordada de manera generalizada sobre grandes áreas del territorio, pues las distintas características de la población y su entorno construido hacen que respondan de manera diferente al riesgo, y uno de los mejores indicadores para evaluar esta capacidad es el nivel educativo.

## Discusión

Como se ha hecho mención, el enfoque convencional de la gestión de riesgos a menudo tiende a relacionar las áreas vulnerables con la proximidad a zonas de peligro; tal como lo afirma el estudio del Banco Interamericano de Desarrollo (2021), la vulnerabilidad y desigualdad social se acrecientan debido a la proximidad a laderas sin protección y riberas inundables por su exposición al daño por riesgo. En contraste, esta investigación valida que el estudio de la resiliencia revela

Figura 4. Mapa de resiliencia por manzana



Fuente: elaboración de los autores.

múltiples factores que desempeñan un papel fundamental en el estudio del riesgo dada su naturaleza holística (Bertilsson *et al.*, 2019).

Se identificó que áreas de baja resiliencia se encuentran en zonas antiguas consolidadas y áreas de alta resiliencia en zonas cercanas a áreas de peligro. Es así

que hallamos viviendas construidas con el material de concreto, habitadas por residentes jóvenes y activos de edades comprendidas entre 15 a 35 años que tienden a ser más resilientes, y, por otro lado, se identifica una tendencia opuesta de viviendas de concreto habitadas por residentes de 0 a 15 y de 45 a 75 años que los vuelve menos capaces e influye en el nivel de resiliencia. Podemos concluir que la diferencia demográfica está actuando como factor influyente en el nivel de resiliencia; este fenómeno plantea interrogantes que podrían ser abordados mediante un análisis más detallado de los indicadores utilizados.

Es probable que factores específicos, como la demografía, las dinámicas socioeconómicas y ambientales, influyen en la resiliencia de forma indistinta en estas ubicaciones particulares. En este sentido, este estudio nos brinda una visión más completa y matizada de la resiliencia en diferentes zonas. Estos hallazgos sugieren que la resiliencia requiere la consideración de factores contextuales que permiten comprender de manera más dinámica y completa su configuración y funcionamiento en diversas zonas urbanas.

Así mismo, dentro de una misma zona de la periferia urbana catalogada como riesgo alto según el mapa de riesgo (ver figura 1b), se encuentran algunas construcciones de concreto de densidad media junto a muchas construcciones precarias de muy baja densidad (ver figura 6). A pesar de que el grupo etario de estas

áreas podría tener una mayor capacidad de afrontamiento, su bajo nivel educativo limita una respuesta adecuada a las situaciones de riesgo.

Es importante señalar que las zonas con construcciones precarias son, en su mayoría, ocupaciones ilegales en las cuales las políticas de gestión de riesgo no tienen alcance y que se encuentran en áreas de muy alto riesgo. Por lo tanto, se sugiere una rezonificación específica de las áreas de riesgo que plantea el PDM. Esta medida debe ser implementada para salvaguardar la vida de las personas y la integridad de las construcciones.

**Figura 5. Contraste de construcciones en áreas de riesgo medio alto**



Fuente: Chui y Ramos (2024).

Además, el uso del SIG permite espacializar la resiliencia e identificar particularidades que escapan a la gestión de riesgos convencional; un entorno SIG es esencial para una identificación detallada de áreas que requieren una atención específica, lo que permitiría el desarrollo de una gestión de riesgos más eficiente y sensible con las características reales del entorno, en la que podamos tomar acciones específicas para cada caso.

En resumen, nuestra investigación destaca la necesidad de considerar múltiples factores al evaluar y mejorar la resiliencia urbana ante inundaciones. Los casos de áreas altamente resilientes en zonas consolidadas y áreas de poca resiliencia en zonas cercanas a áreas de peligro muestran que no se trata de una característica inherente de un espacio determinado, sino de un conjunto de circunstancias específicas. Estos hallazgos sugieren que las estrategias de gestión de riesgos deben ser adaptables y sensibles a las características contextuales de cada área, y que la resiliencia urbana es una tarea compleja y multidimensional que requiere una planificación cuidadosa y una acción coordinada.

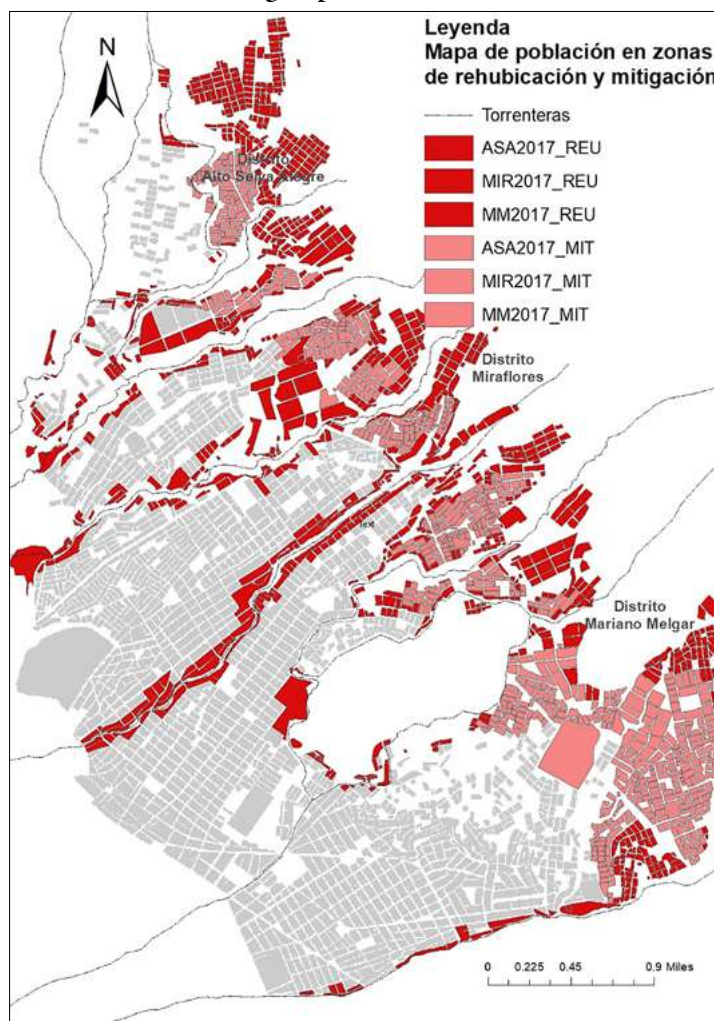
Las estrategias de la ciudad no contemplan acciones en línea con la resiliencia, dado que se desarrolla en el ámbito de la gestión de riesgos, en el que se observa que las herramientas para el análisis de áreas vulnerables son poco capaces y están basadas en un enfoque convencional o lineal (ver figura 6). En contraste, el

análisis multicriterio (ver figura 4) permite establecer una dimensión integral de la resiliencia basada en factores que reflejan las características de la población y no únicamente la ubicación geográfica en la que se asientan.

Por lo tanto, el modelo propuesto recoge dos componentes fundamentales: la sensibilidad y la capacidad de afrontamiento. Los indicadores utilizados afectan estas variables aumentando o disminuyendo sus valores específicos, lo cual resulta en un mapa mucho más fino que refleja condiciones de baja resiliencia más allá de las zonas estudiadas como de alto y muy alto riesgo por la planificación. Al mismo tiempo, se pueden descubrir manzanas con alta resiliencia, cuyas características podrían usarse como referencia para promover un efecto multiplicador en áreas circundantes.

Por otro lado, se observa que en la relación entre ambos mapas, resiliencia y población en alto y muy alto riesgo, existe la carencia de datos censales en la periferia del área de estudio, lo cual es una limitación para la presente investigación, ya que asumen un valor de 0. Estas manzanas, por lo general, no están ocupadas permanentemente, pero se asientan sobre áreas de muy alto riesgo, por lo cual la estadística oficial no las ha considerado. Por ende, sería deseable contrastar estos datos con trabajo de campo para tener una medición real de estos casos, lo que, sin embargo, escapa a los alcances de esta investigación.

Figura 6. Mapa de población en zonas de reubicación y mitigación en los tres distritos según planificación tradicional del IMPLA



Fuente: elaboración de los autores.

## Conclusiones y recomendaciones

La herramienta aplicada en esta investigación muestra el diagnóstico de la

resiliencia ante el riesgo de desastre por inundación en el área de estudio. Su diseño se basa en data disponible, la cual se organiza en indicadores que representan

el comportamiento de la población y su entorno físico; además, su aplicación podría ampliarse a otras áreas, incorporando datos locales para su seguimiento.

Igualmente, este método puede ser usado como referencia para apoyar a los gobiernos locales a adoptar una estructura de estrategias operacionales a fin de hacer que las comunidades incrementen su resiliencia frente al riesgo por inundación, mediante la implementación de programas de mejora en áreas específicas.

Gran parte de los gestores políticos locales, planeadores y urbanistas con jurisdicción sobre la gestión urbana continúan aplicando estrategias convencionales de gestión de riesgos de desastres, las cuales no consideran las características específicas de la población. Esto resulta particularmente problemático en áreas vulnerables, como aquellas identificadas en el mapa de resiliencia (ver figura 4), en el que la población con bajo nivel educativo se encuentra predominantemente en la periferia urbana, cercana a zonas de alto riesgo y con baja resiliencia.

La gestión de riesgos en estas áreas enfrenta obstáculos significativos, tales como la superposición de responsabilidades, la financiación insuficiente en políticas de gestión del riesgo, los constantes cambios de gestión cada cinco años y las limitaciones en la planificación urbana tradicional. Estas dificultades se relacionan con un enfoque que se centra exclusivamente en riesgos identificables, dejando de lado las incertidumbres y eventos inesperados.

Por otro lado, la resiliencia ha evolucionado como un concepto fundamental en la gestión de riesgos, especialmente en la mitigación de desastres relacionados con inundaciones. Diversos estudios y modelos, como Fresi, S-Fresi y U-FResi-M, han desarrollado índices multicriterio que permiten cuantificar y mapear la resiliencia urbana. Estos enfoques integrados consideran factores clave como el peligro, la exposición, la susceptibilidad y la capacidad de afrontamiento, demostrando que herramientas como la teledetección y los sistemas de información geográfica son esenciales para identificar áreas prioritarias y mejorar la planificación urbana.

Por ello, es fundamental integrar estrategias de resiliencia basadas en un análisis multicriterio que considere indicadores como el nivel educativo, la tenencia de vivienda, el grupo etario, la proximidad al riesgo y la densidad. Esto permitiría diseñar propuestas específicas para mejorar el acceso a la educación, implementar programas de concientización sobre resiliencia y fortalecer la capacidad de adaptación y respuesta de estas áreas vulnerables, que no solo pueden estar ubicadas en la periferia, sino también en áreas urbanizadas. La identificación de zonas de alta y baja resiliencia a través de mapas es clave para orientar acciones concretas y transformar la gestión urbana en un proceso más inclusivo y eficaz frente a desafíos actuales y futuros.

Finalmente, como recomendación para evitar la exposición a riesgos futuros se

pueden establecer políticas sólidas y estrategias basadas en el mapa de resiliencia, pensando en las dimensiones urbanas de la ciudad como salud, educación, tenencia de vivienda y material de construcción. Es importante también entender los problemas de fondo de cada dimensión de la ciudad que han provocado la ocupación crítica del territorio, para así establecer medidas de acción que acrecienten la resiliencia.

## Referencias

- Arela, R., Riesco, G., & Chávez, G. (2021). *Una mirada a la expansión de la ciudad de Arequipa en los últimos 40 años*. Universidad Católica San Pablo.
- Ashfaq Ahmad, S., Rajib, S., Jingzhong, Y., Muhammad, A., Syed Muhammad, A., A. K. M. Kanak, P., & Shaista, N. (2019). Current capacities, preparedness and needs of local institutions in dealing with disaster risk reduction in Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 165-172.
- Balanzó, R. (2017). *De la sostenibilidad hacia la resiliencia en las prácticas urbanísticas: la ciudad de Barcelona y el barrio de Vallcarca* [tesis de Doctorado en Sostenibilidad]. Instituto Universitario de Investigación en Ciencia y Tecnología de la Sostenibilidad, Universidad Politécnica de Catalunya (UPC). <https://www.tesisenred.net/handle/10803/404847#page=1>
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2021). *Informando lo informal: estrategias para generar información en asentamientos precarios*. BID. <https://publications.iadb.org/es/informando-lo-informal-estrategias-para-generar-informacion-en-asentamientos-precarios>
- Bertilsson, L., Wiklund, K., De Moura Tebaldi, I., Moura Rezende, O., Veró, A., & Miguez, M. (2019). Urban flood resilience: a multi-criteria index to integrate flood resilience into urban planning. *Journal of Hydrology*, 573, 970-982. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.06.052>
- Bueno, S., Bañuls, V. A., & Gallego, M. D. (2021). Is urban resilience a phenomenon on the rise?: a systematic literature. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 66. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102588>
- Centro de Investigación sobre la Epidemiología de los Desastres (CRED). (2023). *Disasters in numbers*. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. <https://www.un-spider.org/>
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (Cenepred). (2014). *Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales*. Cenepred.
- Decreto Supremo 22-2016-Vivienda de Perú. <https://plataformaurbana.cepal.org/es/instrumentos/legal/decreto-supremo-022-2016-vivienda-de-peru#:~:text=Es%20>

el 20 instrumento 20  
t%C3%A9cnico%2Dnormativo%20  
que%20orienta%20y%20re-  
gula%20la,continuidad%-  
20f%C3%ADstica%2C%20social%20  
y%20econ%C3%B3mica

Espinoza Vigil, A. J., & Booker, J. D. (2023). Building national disaster resilience: assessment of ENSO-driven disasters in Peru. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 14(4), 423-433. <https://doi.org/10.1108/ijdrbe-10-2022-0102>

Heitz, C., & Nagata Shimabuku, M. (2017). The role of individuals' risk representations in risk management: case-study on lahars in Arequipa (Peru). *Geoenvironmental Disasters*, 28, 1-12. <https://doi.org/10.1186/s40677-017-0093-x>

Holling, C. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4(1), 1-23. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>

Instituto Municipal de Planeamiento de Arequipa (IMPLA). (2016). *El Plan de Desarrollo Metropolitano de Arequipa (2016-2025)*. IMPLA.

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2022). Encuesta Nacional de Hogares. <https://www.datosabiertos.gob.pe/dataset/encuesta-nacional-de-hogares-enaho-2022-instituto-nacional-de-estad%C3%ADstica-e-inform%C3%A1tica-%E2%80%93>

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). *Climate change*

2022: mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, UK and New York, NY, USA, Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157926.001>

Kazakis, N., Kougias, I., & Patsialis, T. (2015). Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and analytical hierarchy process: application in Rhodope-Evros region, Greece. *Science of the Total Environment*, 538, 555-563. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.055>

Kotzee, I., & Reyers, B. (2016). Piloting a social-ecological index for measuring flood resilience: a composite index approach. *Ecological Indicators*, 60, 45-53. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.06.018>

Mascarenhas, F. B., & Miguez, M. G. (2002). Urban flood control through a mathematical cell model. *Water International*, 27(2), 208-218. <https://doi.org/10.1080/02508060208686994>

Mayer, B. (2019). A review of the literature on community resilience and disaster recovery. *Current Environmental Health Reports*, 6, 167-173. <https://doi.org/10.1007/s40572-019-00239-3>

Mazer, K. E., Tomasek, A. A., Daneshvar, F., Bowling, L. C., Frankenberger, J. R., McMillan, S. K., ... & Zeballos

- Velarde, C. (2021). Integrated hydro-logic and hydraulic analysis of torrential flood hazard in Arequipa, Peru. *Journal of Contemporary Water Research & Education*, 93-110. <https://doi.org/doi.org/10.1111/j.1936-704X.2020.3347.x>
- Meerow, S., Newell, J. P., & Stults, M. (2016). Defining urban resilience: a review. *Landscape and Urban Planning*, 147, 38-49. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.11.011>
- Metzger, P., & Robert, J. (2013). Elementos de reflexión sobre la resiliencia: usos criticables y aportes potenciales. *Territorios*, (28), 21-40.
- Miguez, M., & Veról, A. (2016). A catchment scale Integrated Flood Resilience Index to support decision making in urban flood control design. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 44(5), 925-946. <https://doi.org/10.1177/0265813516655799>
- Moghadas, M., Asadzadeh, A., Vafeidis, A., Fekete, A., & Kötter, T. (2019). A multi-criteria approach for assessing urban flood resilience in Tehran, Iran. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, (35). <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101069>
- Mudefi, E. (2022). Disaster management 'deeds' in the context of April 2022 KwaZulu-Natal floods: a scoping review. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 98. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.104122>
- Ochoa, J. A., & Guzmán, A. (2020). La vulnerabilidad urbana y su caracterización socio-espacial. *Legado de Arquitectura y Diseño*, 15(7). <https://doi.org/10.36677/legado.v15i27.13288>
- Ogato, G. S., Bantider, A., Abebe, K., & Geneletti, D. (2020). Geographic information system (GIS)-based multicriteria analysis of flooding hazard and risk in Ambo town and its watershed, West Shoa zone, Oromia regional State, Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 27(100659). <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100659>
- ONU-Hábitat. (2016). *Guía de resiliencia urbana*. <https://onu-habitat.org/index.php/guia-de-resiliencia-urbana>
- ONU-Hábitat. (2020). *Estado global de las metrópolis 2020: folleto de datos poblacionales*. [https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/08/gsm\\_-\\_folleto\\_de\\_datos\\_poblacionales\\_2020.pdf](https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/08/gsm_-_folleto_de_datos_poblacionales_2020.pdf)
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2022). *Perspectivas de la población mundial 2022: resumen de resultados*. ONU. <https://www.un.org/development/desa/pd/content/World-Population-Prospects-2022>
- Parsons, M., Glavac, S., Hastings, P., Marshall, G., McGregor, J., McNeill, J., ... & Stayner, R. (2016). Top-down assessment of disaster resilience: a conceptual framework. *International Journal of Disaster Risk Reduction*,

19, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.07.005>

Parsons, M., Reeve, I., McGregor, J., Hastings, P., Marshall, G., McNeill, J., ... & Glavac, S. (2021). Disaster resilience in Australia: a geographic assessment using an index of coping and adaptive capacity. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 62(102422). <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102422>

Rezaei-Soufi, H., Esfahanipour, A., & Akbarpour Shirazi, M. (2021). Reducción de riesgos mediante la mejora de la gestión de riesgos mediante la resiliencia. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 64(102497). <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102497>

Tayyab, M., Zhang, J., Hussain, M., Ullah, S., Liu, X., Khan, S. N., ... & Al-Shaibah, B. (2021). GIS-based urban flood resilience assessment using urban flood resilience model: a case study of Peshawar City, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Remote Sensing*, 13(10), 1864. <https://doi.org/10.3390/rs13101864>

Thouret, J.-C., Taillandier, M., Arapa, E., & Wavelet, E. (2024). Vulnerable settlements to debris flows in Arequipa, Peru: population characteristics, hazard knowledge, risk perception, and disaster risk management. *Natural Hazards*, 120, 901-955. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-06167-8>

Torres Mallma, S. F. (2021). Mainstreaming land use planning into disaster

risk management: trends in. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 62. <https://doi.org/10.17632/xj6wxsdspd.2>

United Cities and Local Governments (UCGL). (2020). *Peer learning 27: urban resilience and sustainability*.

United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (2015). *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030*. UNDRR. <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030>

United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (2017). *Basic definitions on disaster risk reduction*. UNDRR. [www.undrr.org/terminology](http://www.undrr.org/terminology)

United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (2021). *Informe de evaluación regional sobre el riesgo de desastres en América Latina y el Caribe*. Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres. <https://www.undrr.org/es/rar-reporte-regional-de-evaluacion-del-riesgo-de-desastre-en-america-latina-y-el-caribe>

United Nations. (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. UN. <https://sdgs.un.org/2030agenda>

Veról, A. P. (2013). *Requalificação fluvial integrada ao manejo de águas urbanas para cidades mais resilientes* [tesis doctoral]. Coppe, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Zeballos Velarde, C. (2020). *Atlas ambiental de Arequipa*.

Zeballos, C., Yory García, C. M., Chui Choque, E., & Zuluaga Laguna, L. (2022). Acupuntura urbana en bordes de ciudad: ejercicios en Arequipa y Bogotá. *Estudios Demográficos y*

*Urbanos*, 37(1), 265-305. <https://doi.org/10.24201/edu.v37i1.1990>

Zonensein, J. (2007). *Índice de risco de cheia como ferramenta de gestão de enchentes* [MSc Engenharia Civil]. Coppe, Universidade Federal do Rio de Janeiro.