

“LADERAS INESTABLES: MALA PLANIFICACIÓN URBANA Y MITIGACIÓN DE RIESGOS.”

Aldrian, Mateo.

Universidad Nacional del Comahue, Argentina (aldrianmateo3@gmail.com)

Guerrero, Santiago.

Universidad Nacional del Comahue, Argentina (Santiago.guerrero.lorenzo@gmail.com)

Pedrazza, Brisa.

Universidad Nacional del Comahue, Argentina (Bripedrazza70@gmail.com)

Aparicio, H. Agustina.

Universidad Nacional del Comahue, Argentina (agusaphuiaquimilla@gmail.com)

Resumen

La investigación analiza la relación entre la falta de planificación urbana y la inestabilidad de las laderas en las bardas de Neuquén, con el fin de identificar zonas de riesgo y evaluar la percepción social del peligro. Se aplicó un enfoque mixto, combinando análisis geoespacial en QGIS con encuestas a residentes locales. Los mapas de peligrosidad y vulnerabilidad revelaron que los barrios Villa Ceferino, Melipal e Islas Malvinas presentan una coincidencia crítica entre alta susceptibilidad geomorfológica y alta exposición social. A pesar de ello, el 82 % de los encuestados no percibe que su vivienda esté en riesgo, y el 64 % desconoce el concepto de mitigación, evidenciando una brecha significativa entre riesgo físico y percepción social. Los resultados destacan la necesidad de incorporar criterios geológicos y geomorfológicos en la planificación urbana y de implementar campañas de educación y monitoreo que fortalezcan la gestión comunitaria del riesgo. Se concluye que la integración de herramientas técnicas y participación ciudadana es esencial para avanzar hacia un desarrollo urbano más seguro, resiliente y sostenible.

Palabras clave: riesgo geomorfológico; planificación urbana; percepción social.

1. INTRODUCCIÓN

Los procesos de remoción en masa, dentro de los cuales se incluyen deslizamientos, flujos de detritos, caídas de rocas y subsidencias, constituyen fenómenos geodinámicos con gran capacidad destructiva para los asentamientos humanos. La literatura científica ha mostrado que estos procesos resultan de complejas interacciones entre factores naturales, como la litología, la pendiente y la precipitación, y factores antrópicos asociados a la urbanización desordenada, la deforestación y la explotación intensiva del territorio (Cruden & Varnes, 1996; Dai & Lee, 2002). Su impacto en áreas urbanas es particularmente crítico: no solo provocan pérdidas humanas y materiales, sino que también comprometen la seguridad y el desarrollo sostenible de comunidades enteras, especialmente en contextos de alta vulnerabilidad socioeconómica.

En la revisión clásica de Cascini, Bonnard, Corominas, Jibson y Montero-Olarte (2005), se destaca que, pese a los esfuerzos internacionales por reducir la ocurrencia de desastres — como la proclamación de la *Década Internacional para la Reducción de Desastres Naturales* (1990–2000) por parte de Naciones Unidas—, la frecuencia e intensidad de los eventos asociados a deslizamientos se incrementaron hacia fines del siglo XX. Este aumento se explica principalmente por la presión demográfica, el crecimiento urbano no planificado y la ocupación de laderas inestables, factores que, en lugar de disminuir la exposición, la amplifican de manera alarmante. En ciudades latinoamericanas como La Paz, Cusco o Manizales, el desarrollo de barrios marginales sobre terrenos inestables constituye un ejemplo paradigmático de cómo la falta de planificación urbanística potencia el riesgo de catástrofes (Cascini et al., 2005).

De hecho, la interacción entre procesos naturales y actividades humanas ha sido reiteradamente subrayada en la literatura. Annan (2002) ya advertía que los desastres contemporáneos no son sólo resultado de amenazas naturales inevitables, sino que, en gran medida, son generados o exacerbados por la acción humana. Esta perspectiva refuerza la idea de que la gestión del riesgo debe trascender los enfoques puramente ingenieriles y considerar dimensiones sociales, políticas y territoriales. En consecuencia, la zonificación de peligros y riesgos, concebida como una herramienta central de planificación urbana, aparece como un requisito urgente para disminuir la exposición y orientar el desarrollo hacia territorios más seguros (Ho et al., 2000; Fell et al., 2005).

Ahora bien, el escenario de los riesgos geotécnicos se ha transformado en las últimas décadas con la expansión acelerada de la urbanización, especialmente en países en desarrollo. Chen, Lin, Zhang y Lu (2012), en su estudio de la región del Delta del Río Perla en China, evidencian cómo la combinación de urbanización desmedida y condiciones geológicas desfavorables ha propiciado subsidencias significativas del terreno. Este fenómeno, estrechamente vinculado al emplazamiento de ciudades sobre sedimentos aluviales no consolidados y a la sobreexplotación de aguas subterráneas, genera desplazamientos superficiales que alcanzan tasas de hasta ±15 mm/año. Los autores subrayan que estas deformaciones, aunque graduales, pueden comprometer severamente la estabilidad de infraestructuras críticas y aumentar la exposición a colapsos diferidos. El caso del Delta del Río Perla, una de las regiones más densamente urbanizadas y económicamente dinámicas de China, constituye un ejemplo ilustrativo de cómo la expansión urbana sin criterios geotécnicos adecuados produce vulnerabilidades estructurales de gran magnitud.

Este tipo de hallazgos no se limita a China. Situaciones análogas se reproducen en América Latina, donde el crecimiento acelerado de ciudades intermedias y capitales regionales ha conllevado la ocupación de terrazas fluviales, abanicos aluviales y laderas inestables, muchas veces sin estudios de aptitud del suelo. En tales contextos, la precariedad de los asentamientos y la falta de regulación urbanística convierten a la población en el componente más frágil del sistema de riesgo. Así, se refuerza la necesidad de articular herramientas de diagnóstico territorial que permitan anticipar escenarios de desastre antes de que estos se materialicen.

En paralelo al reconocimiento de estas problemáticas, la comunidad científica ha desarrollado metodologías cada vez más sofisticadas para el análisis de susceptibilidad y riesgo de deslizamientos. Agboola, Hashemi Beni, Elbayoumi y Thompson (2024) destacan el papel de los modelos de *Landslide Susceptibility Mapping* (LSM), los cuales, mediante el análisis de inventarios históricos y la correlación con factores condicionantes —como la pendiente, la litología, la cobertura del suelo y la proximidad a redes de drenaje—, permiten identificar zonas críticas y elaborar mapas de susceptibilidad. Estos autores, al comparar diversos algoritmos de aprendizaje automático como *Random Forest*, *Support Vector Machines* y *Extreme Gradient Boosting*, muestran que las técnicas basadas en inteligencia artificial superan a los métodos estadísticos tradicionales en términos de precisión y capacidad de generalización. Su investigación, realizada en Carolina del Norte (EE. UU.), alcanzó valores de AUC superiores al 99 % en escenarios de prueba, lo que confirma la eficacia de los enfoques de modelado híbrido para la gestión prospectiva del riesgo.

No obstante, a pesar de tales avances, aún existen vacíos relevantes. Como reconocen Agboola et al. (2024), la generación de bases de datos de calidad sigue siendo un desafío crucial. La ausencia de inventarios completos, la dificultad de obtener datos homogéneos sobre precipitaciones o la falta de criterios estandarizados para seleccionar zonas no afectadas por deslizamientos introducen incertidumbres en la modelación. A ello se suma que, en muchas ciudades de países en desarrollo, los recursos para la adquisición de datos geoespaciales de alta resolución y la implementación de sistemas de monitoreo continuo son escasos, lo que limita la aplicación práctica de metodologías de última generación.

En síntesis, el campo de estudio sobre remoción en masa en áreas urbanas se caracteriza por tres dimensiones complementarias. En primer lugar, el reconocimiento de la magnitud y complejidad del problema a escala global, donde la combinación de amenazas naturales y presiones antrópicas ha incrementado el riesgo en ciudades vulnerables (Cascini et al., 2005). En segundo lugar, la identificación de nuevas manifestaciones de inestabilidad asociadas a procesos de urbanización acelerada, como la subsidencia inducida en el Delta del Río Perla (Chen et al., 2012). Y, en tercer lugar, el desarrollo de metodologías innovadoras basadas en geotecnologías y aprendizaje automático, que ofrecen herramientas más precisas para la predicción y gestión del riesgo (Agboola et al., 2024).

Sin embargo, la articulación efectiva de estas tres dimensiones —diagnóstico del problema, identificación de nuevos fenómenos de riesgo urbano y aplicación de técnicas avanzadas de modelado— aún no se ha concretado de manera suficiente en investigaciones que tomen como centro los asentamientos vulnerables y pobemente planificados. Esta ausencia de estudios integrales constituye un nicho de investigación que es urgente abordar. La planificación territorial en contextos de informalidad y precariedad urbana no puede basarse únicamente en extrapolaciones de casos exitosos en países con alta disponibilidad

de datos, sino que requiere metodologías adaptadas a realidades de escasez de información, limitaciones institucionales y alta exposición social.

Frente a este vacío, el presente artículo propone desarrollar un ejercicio de mapeo y zonificación de riesgos por procesos de remoción en masa en urbanizaciones vulnerables y pobemente planificadas, integrando enfoques conceptuales de la gestión del riesgo (Cascini et al., 2005), evidencias empíricas sobre los efectos de la urbanización acelerada (Chen et al., 2012) y metodologías de modelado avanzadas en susceptibilidad (Agboola et al., 2024). La investigación se concibe como un aporte en dos sentidos. Por un lado, busca generar conocimiento aplicado que permita identificar zonas de alto riesgo y orientar acciones de mitigación y prevención en áreas críticas. Por otro lado, pretende contribuir al debate académico sobre la manera de adaptar y transferir metodologías de alta complejidad técnica a contextos donde los recursos, los datos y la capacidad institucional son limitados, pero donde las necesidades sociales y la urgencia de reducir la vulnerabilidad son mayores. Asimismo, con esta iniciativa se busca reivindicar y visibilizar el aporte e incidencia de los profesionales vinculados con las ciencias geológicas, cuyos conocimientos en procesos y variables que modifican continuamente el entorno en el que habita el ser humano, pueden causar un impacto más que significativo en la comunidad.

En definitiva, la investigación actual se sitúa en la intersección entre ciencia aplicada y justicia territorial: un espacio donde el conocimiento sobre procesos geodinámicos y las herramientas de modelado avanzado se ponen al servicio de comunidades expuestas a riesgos crecientes, con el fin de construir ciudades más seguras, resilientes y sostenibles.

2. METODOLOGÍA

Enfoque de la investigación

La investigación adoptó un enfoque mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos. El componente cuantitativo se centró en el desarrollo de mapas de peligrosidad geomorfológica para las bardas de Neuquén, mientras que el componente cualitativo abordó el nivel de concientización y percepción del riesgo por parte de la población que habita o frecuenta la zona.

Recolección de datos

La recolección de datos hizo uso de fuentes primarias y secundarias. Las fuentes primarias incluyeron la elaboración y aplicación de encuestas destinadas a evaluar el grado de conocimiento, percepción y preparación de la comunidad frente a los peligros geomorfológicos, como deslizamientos, caídas de bloques y erosión de laderas. Los cuestionarios fueron diseñados y distribuidos de forma virtual, mediante formularios digitales enviados a la población.

Las fuentes secundarias incluyeron información topográfica, geológica y geomorfológica proveniente de modelos digitales de elevación (MDE), cartas geológicas y bases de datos públicas. A partir de estos insumos se elaboraron mapas temáticos de pendiente, litología, formas de relieve y uso del suelo, los cuales se utilizaron para generar los mapas de peligrosidad. El procesamiento y análisis de la información espacial se realizó en Qgis,

tomando como referencia metodológica el trabajo de Agboola et al. (2024) sobre cartografía de susceptibilidad a deslizamientos mediante técnicas geoespaciales.

Adicionalmente, se recopilaron antecedentes en medios de comunicación donde se registraron eventos o situaciones relacionadas con la geomorfología de la barda que afectaron a la población aledaña. Estas noticias permitieron identificar casos concretos de impacto social, como cortes de caminos, caídas de rocas o afectaciones a viviendas, y sirvieron para contextualizar la percepción del riesgo dentro del análisis general.

Participantes

Participaron en la investigación residentes y usuarios frecuentes de las laderas de Neuquén, incluyendo a los vecinos de barrios cercanos. En total se recopilaron [50] encuestas. La muestra fue seleccionada considerando distintos rangos de edad, nivel educativo y grado de conocimiento del área, con el objetivo de obtener una visión representativa de la población local.

Análisis de los datos

Los datos espaciales se analizaron mediante métodos de superposición ponderada e interpolación de estos, asignando un peso relativo a cada variable (pendiente, litología, morfología y uso del suelo) según su influencia en la estabilidad de laderas. De esta forma se elaboraron mapas de peligrosidad geomorfológica que clasifican las zonas en distintos niveles de susceptibilidad.

Por otra parte, los resultados de las encuestas se examinaron a través de estadísticas descriptivas, con el fin de interpretar los niveles de conciencia, percepción del riesgo y medidas preventivas adoptadas por la población.

Finalmente, los datos cualitativos provenientes de noticias y testimonios fueron analizados para establecer relaciones entre la dinámica geomorfológica del área y los impactos sociales observados, integrando los resultados en una interpretación conjunta del riesgo geomorfológico en las laderas de Neuquén.

3. RESULTADOS

3.1 Caracterización geomorfológica del área de estudio

El área analizada corresponde al sector de las bardas ubicadas al norte de la ciudad de Neuquén, incluyendo los barrios Melipal, Balcón de la Ciudad, Bardas Soleadas, Villa Ceferino, Terrazas Neuquén e Islas Malvinas.

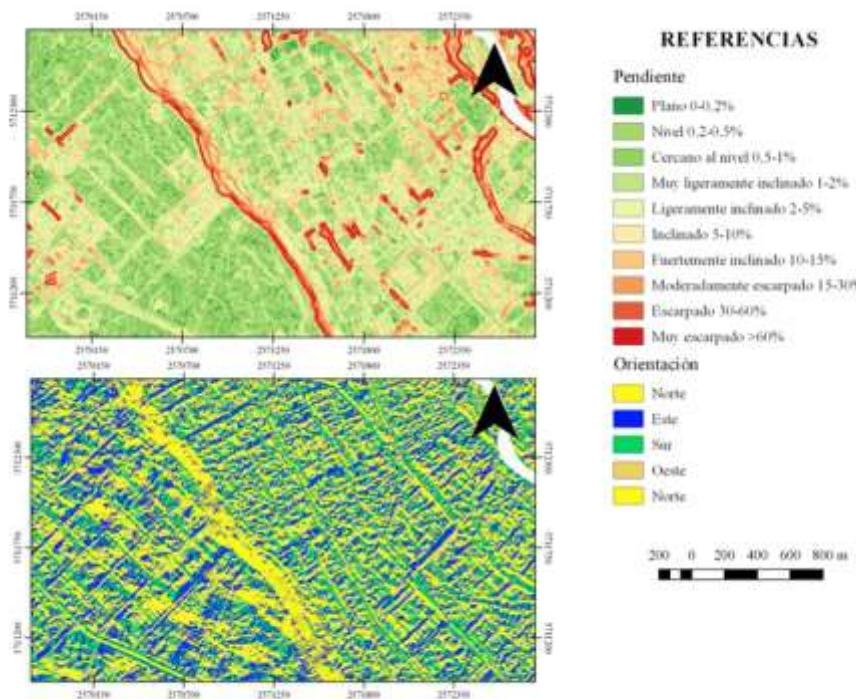
La interpretación geomorfológica permitió identificar un relieve escarpado, dominado por laderas de fuerte pendiente y zonas de acumulación al pie de las mismas. En la parte superior se observan superficies estructurales suavemente onduladas, mientras que en el frente de las bardas predominan taludes abruptos donde la erosión hídrica y gravitacional ha modelado cárcavas y desprendimientos localizados.

Los materiales corresponden principalmente a sedimentos arenosos y limosos de origen fluvio-lacustre, con niveles tobáceos intercalados, lo cual condiciona la inestabilidad de las laderas frente a procesos erosivos o saturación hídrica.

3.2 Análisis de pendientes y orientación

El mapa de pendientes evidencia valores que varían desde superficies planas (<2%) en el piedemonte y zonas urbanizadas, hasta sectores muy escarpados (>26%) en los frentes de las bardas. Estas áreas de mayor pendiente coinciden con los principales escarpes y zonas de erosión activa, constituyendo los sectores de mayor susceptibilidad a movimientos en masa.

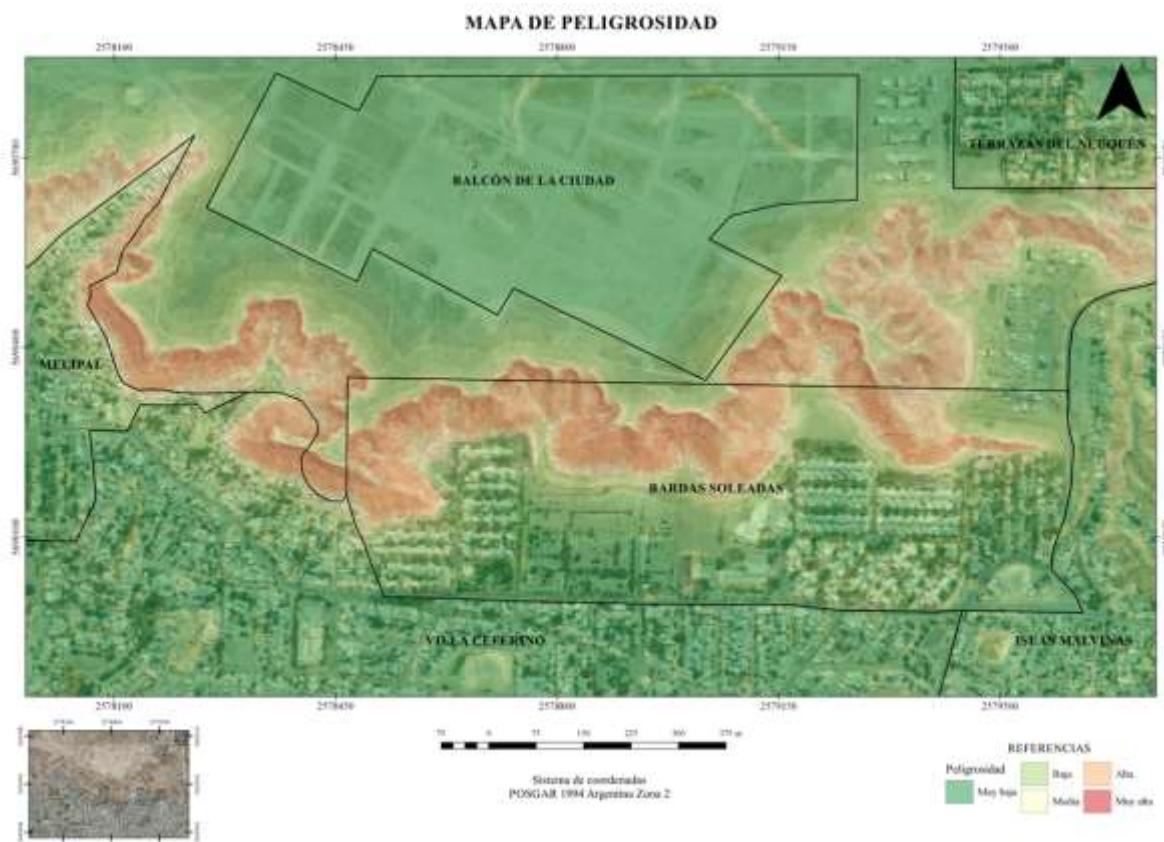
En cuanto a la orientación de las laderas, predominan exposiciones hacia el sur y sudeste, lo que implica una mayor incidencia de radiación solar y menor retención de humedad, factores que pueden acelerar los procesos de meteorización y favorecer la desintegración de los materiales superficiales.



3.3 Mapas de peligrosidad

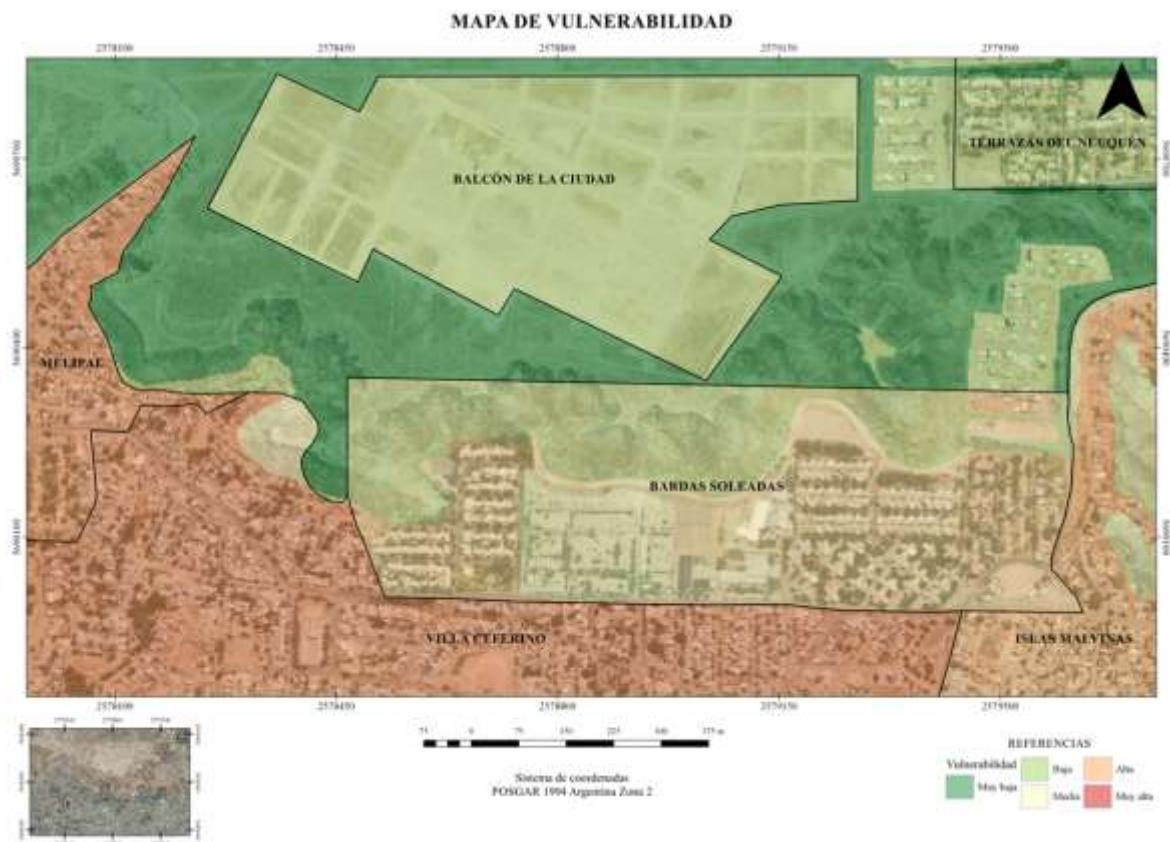
A partir del análisis geomorfológico, las pendientes y las características litológicas, se elaboraron mapas de peligrosidad para distintos escenarios de aporte hídrico (2,63 y 6,75 mm/día).

En ambos casos se observa una alta concentración de zonas de peligrosidad media a muy alta sobre los frentes de las bardas que bordean los barrios Balcón de la Ciudad y Bardas Soleadas. Los sectores de Melipal y Villa Ceferino también presentan sectores críticos debido a la proximidad de viviendas a las laderas y la existencia de escurrimientos concentrados. Las áreas clasificadas como de peligrosidad baja a muy baja corresponden a las zonas urbanizadas del piedemonte, donde la pendiente es reducida y los procesos geomorfológicos activos son mínimos.



3.4 Mapa de vulnerabilidad

El mapa de vulnerabilidad integra la información física con el grado de exposición de la población y la infraestructura. Las áreas de mayor vulnerabilidad se localizan en Villa Ceferino, Melipal e Islas Malvinas, donde existe una mayor densidad de viviendas cercanas al pie de las bardas, muchas de las cuales presentan condiciones constructivas precarias o escasa infraestructura de drenaje. Por el contrario, los sectores correspondientes a Balcón de la Ciudad y Terrazas del Neuquén muestran baja vulnerabilidad, debido a su mayor elevación, reciente urbanización y mejores condiciones de infraestructura.



3.5 Integración de resultados

La superposición de los mapas de peligrosidad y vulnerabilidad permitió identificar zonas críticas donde coinciden altos niveles de peligrosidad geomorfológica y alta vulnerabilidad social, principalmente en el sector sur de Bardas Soleadas y Villa Ceferino. Estos resultados indican la necesidad de considerar la geomorfología local y la ocupación urbana como factores clave en la evaluación del riesgo, así como la importancia de promover la concientización y planificación territorial para minimizar futuros impactos.

3.6 Resultados del componente social: encuestas sobre percepción, conocimiento y exposición

3.6.1 Descripción de la muestra

Se encuestaron 50 individuos residentes o usuarios frecuentes de las bardas de la zona norte de la ciudad de Neuquén. La distribución etaria muestra una clara preponderancia de población joven-adulta: el 50% de los encuestados corresponde al grupo 18-25 años ($n = 25$), el 40% al grupo 25-55 años ($n = 20$), el 6% a mayores de 55 años ($n = 3$) y el 4% al tramo 10-18 años ($n = 2$). Las variaciones en el número de respuestas por pregunta obedecen a saltos/omisiones puntuales en el formulario: para la mayoría de las preguntas el $n = 50$, mientras que algunas preguntas específicas arrojaron $n = 49$, 32 o 30 según se indica en cada apartado.

3.6.2 Conocimiento sobre geología y mitigación

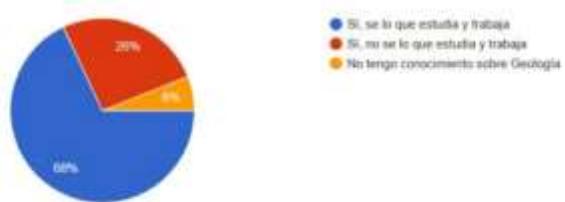
La mayoría de la muestra (68%, $n = 34$) manifestó conocer la geología indicando además que sabe qué estudia y a qué se dedican los geólogos; un 26% ($n = 13$) afirmó conocer la geología pero sin mayor certeza sobre su ejercicio profesional, y solo un 6% ($n = 3$) declaró no tener

conocimiento sobre el área. Sin embargo, la pregunta de seguimiento —si saben cómo incide la geología en la planificación urbana— arrojó una división prácticamente equitativa ($n = 49$): 49% ($n = 24$) respondió afirmativamente frente a 51% ($n = 25$) que no conoce esa incidencia. Por otro lado, ante la cuestión sobre mitigación de riesgos, solo el 36% ($n = 18$) declaró saber lo que es y el 64% ($n = 32$) no lo conocía.

Interpretación. Existe un interés o familiaridad formal con la geología en la población (alto porcentaje que afirma “conocer” la disciplina), pero un déficit en la comprensión de su aplicación práctica a la planificación urbana y, especialmente, en conceptos operativos como la mitigación de riesgos. Esto sugiere una brecha entre conocimiento teórico y conocimiento aplicado, lo cual es relevante para el diseño de políticas de comunicación y educación en gestión del riesgo.

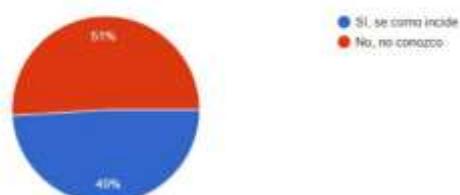
¿Conoce lo que es la Geología?

50 respuestas



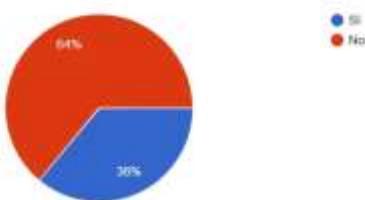
En caso de responder que Sí en las dos preguntas anteriores, ¿Sabes como incide la Geología en la planificación urbana?

49 respuestas



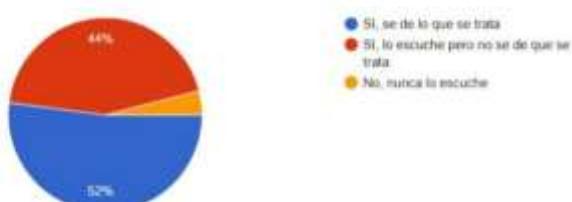
¿Sabe lo que es la mitigación de riesgos?

50 respuestas



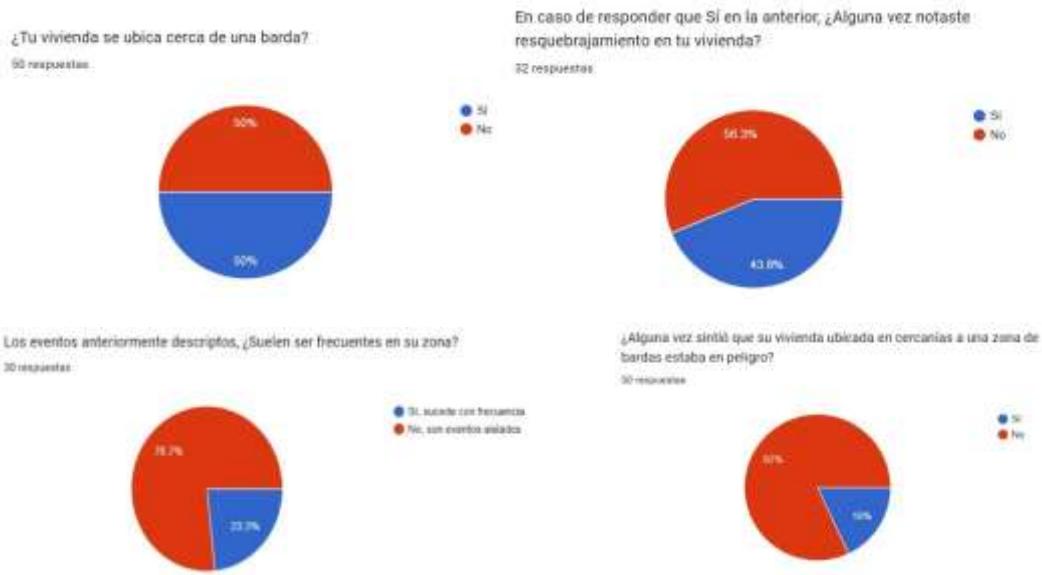
¿Conoce lo que es planificación urbana?

50 respuestas



3.6.3 Exposición, experiencias y percepción del riesgo

Respecto a la proximidad de las viviendas a las bardas, la muestra está dividida en partes iguales: el 50% de los encuestados ($n = 25$) vive cerca de una barda y el 50% restante no ($n = 25$). De quienes respondieron afirmativamente y contestaron sobre daños observados ($n = 32$), el 43.8% ($n = 14$) informó haber detectado resquebrajamientos en su vivienda, mientras que el 56.3% ($n = 18$) no. En cuanto a la frecuencia percibida de los eventos geomorfológicos descritos ($n = 30$), solo el 23.3% ($n = 7$) los considera frecuentes en su zona y el 76.7% ($n = 23$) los percibe como eventos aislados.



Sin embargo, sorprende que al preguntar si alguna vez sintieron que su vivienda ubicada en cercanías a una barda estaba en peligro, el 82% ($n = 41$) respondió no, mientras que solo el 18% ($n = 9$) respondió afirmativamente ($n = 50$). En relación con la dinámica urbana, una proporción mayoritaria (58%, $n = 29$) reportó que se están generando nuevas obras de infraestructura cerca de su vivienda, frente a un 42% ($n = 21$) que no observa obras nuevas.

Interpretación:

- Existe una exposición objetiva (50% vive cerca de bardas; 43.8% de quienes respondieron registró resquebrajamientos) que contrasta con una baja percepción subjetiva de peligro (solo 18% se ha sentido en peligro).
- La mayoría considera los episodios como eventos aislados, lo cual puede contribuir a la baja percepción de riesgo.
- La presencia de obras de infraestructura (58%) puede aumentar la presión sobre laderas y sistemas de drenaje si no se ejecutan con criterios geotécnicos y geomorfológicos adecuados, potenciando la probabilidad de procesos de inestabilidad.

3.6.4 Correlación cualitativa entre encuestas y cartografía

La interpretación conjunta de los resultados sociales y la cartografía realizada permite las siguientes observaciones integradas:

1. Coincidencia espacial entre exposición social y zonas de alta peligrosidad/vulnerabilidad. Los mapas de peligrosidad (escenarios pluviométricos de 2,63 y 6,75 mm/día) y el mapa de vulnerabilidad identifican como sectores críticos a áreas que circundan los barrios con mayor densidad de viviendas próximas a las bardas (por ejemplo, Villa Ceferino, Melipal e Islas Malvinas). En estas mismas áreas la encuesta registra un número importante de viviendas en cercanía a bardas y reportes puntuales de daños estructurales (resquebrajamientos), lo que valida la coherencia entre la información espacial y la percepción/experiencia local.
2. Discrepancia percepción-peligrosidad. A pesar de que los mapas señalan sectores con peligrosidad media-alta en frentes de barda que bordean barrios urbanos, la percepción del peligro es generalmente baja (82% no sintió que su vivienda estaba en peligro). Esta brecha indica un riesgo latente de subestimación del peligro por parte de la población que puede traducirse en ausencia de medidas preventivas o tardía respuesta institucional ante eventos.
3. Impacto potencial de obras de infraestructura. La evidencia de obras cercanas reportadas por el 58% de los encuestados coincide espacialmente con algunos frentes de barda catalogados con alta susceptibilidad en los mapas. Si las obras no consideran la geología y la gestión del drenaje superficial/subsuperficial, pueden aumentar la probabilidad de colapso local o de activación de procesos gravitacionales (erosión, deslizamientos, caídas de bloques).
4. Grietas y repetición de eventos. Aunque solo el 23.3% de una submuestra percibe que los eventos son frecuentes, el hecho de que casi la mitad de quienes viven junto a las bardas hayan observado resquebrajamientos sugiere episodios repetidos de estrés sobre la infraestructura domiciliaria que podrían estar sub-registrados o normalizados por la comunidad.

3.6.5 Análisis crítico y significancia práctica

- Brecha educativa y operativa. El 64% de desconocimiento sobre mitigación de riesgos es altamente relevante: aun cuando una parte significativa conoce la geología en términos generales, no sabe traducir ese conocimiento a medidas concretas para reducción de vulnerabilidad. Esto dificulta la adopción de conductas preventivas a nivel comunitario y la participación informada en procesos de planificación local.
- Juventud de la muestra y canales de comunicación. El perfil etario (predominio de 18-25 y 25-55 años) sugiere que las campañas de sensibilización y formación deberán priorizar canales digitales, redes sociales y actividades educativas orientadas a adultos jóvenes y familias, con materiales que vinculen la geología local con acciones concretas en el hogar y en el barrio.
- Prioridades de intervención. De acuerdo con la superposición de mapas y la distribución de respuestas, las intervenciones inmediatas deben priorizar: (1) barrios donde la localización de alta peligrosidad y alta vulnerabilidad social es mayor (p. ej. Villa Ceferino y sectores sur de Bardas Soleadas); (2) sitios donde se registran

resquebrajamientos en viviendas; y (3) frentes en los que se están ejecutando obras sin control geotécnico aparente.

3.6.6 Recomendaciones prácticas derivadas de los resultados sociales

1. Campañas de comunicación y capacitación en mitigación: diseñar talleres participativos y materiales de fácil comprensión que expliquen:
 - cómo la geología influye en la planificación urbana,
 - medidas domésticas de mitigación (manejo de drenajes, reparación preventiva de grietas, estabilización de taludes de pequeña escala),
 - protocolos municipales para notificación y contención temprana.
2. Monitoreo de obras e inspección de drenajes: coordinar inspecciones técnicas sobre las obras reportadas (58% de respuestas) para verificar impactos sobre la estabilidad de laderas y la conducción de escurrimientos concentrados.
3. Registro y vigilancia de daños estructurales: lanzar un sistema de reporte local de daños (resquebrajamientos, hundimientos, caídas de bloques) para construir una base de datos que permita correlacionar eventos con precipitaciones, obras y cambios en el uso del suelo.
4. Fortalecimiento institucional: promover la incorporación de criterios geomorfológicos y geotécnicos en la aprobación de licencias de obra y en los planes de ordenamiento territorial.

3.6.7 Limitaciones y consideraciones metodológicas

- Tamaño y representatividad de la muestra. Si bien $n = 50$ proporciona una primera aproximación útil, la muestra no asegura representatividad estadística completa de todos los barrios; por ello se recomienda ampliar muestreo en seguimientos futuros.
- Autorreporte y sesgos. Las respuestas pueden estar sujetas a sesgo de deseabilidad o a la variabilidad en interpretación de conceptos técnicos (por ejemplo, "resquebrajamientos" o "mitigación").
- Heterogeneidad de n por pregunta. Algunas preguntas presentan tamaños de respuesta distintos ($n = 49, 32, 30$) lo que obliga a analizar porcentajes y valores absolutos con cautela.

3.6.8 Síntesis integrada

La superposición entre los mapas de peligrosidad/vulnerabilidad y los resultados de encuestas permite afirmar que existe congruencia entre el riesgo físico cartografiado y la experiencia local, aunque no siempre traducida en percepción de peligro. Este desfase entre riesgo objetivo y percepción sugiere la necesidad de priorizar acciones de difusión técnica y mecanismos de gobernanza local que integren a la comunidad en medidas de reducción del riesgo. En particular, las áreas donde coinciden alta peligrosidad y alta vulnerabilidad social deben ser consideradas zonas de actuación prioritaria: inspecciones estructurales, control de obras, y campañas educativas sobre mitigación y protocolos de emergencia.

4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos evidencian una situación de riesgo geomorfológico latente en las bardas de Neuquén, derivada tanto de las condiciones naturales del terreno como de la ocupación antrópica creciente sobre sectores inestables. La combinación de pendientes pronunciadas, materiales poco consolidados y procesos erosivos activos constituye un escenario propicio para la ocurrencia de caídas de bloques, deslizamientos superficiales y erosión regresiva de laderas. Sin embargo, los datos sociales reflejan que gran parte de la población no percibe plenamente la magnitud de estos riesgos, lo que aumenta la vulnerabilidad general del sistema.

En términos de percepción, los encuestados reconocen la existencia de peligros naturales, pero el nivel de preocupación y preparación frente a ellos es limitado. Esto sugiere una brecha entre el conocimiento técnico y la percepción social del riesgo, común en zonas urbanas en expansión sobre ambientes naturales frágiles. Dicha desconexión puede deberse a la falta de información accesible, la normalización del paisaje (donde el relieve abrupto se percibe como parte del entorno cotidiano) y la ausencia de políticas municipales sostenidas de comunicación del riesgo.

Frente a esta situación, los resultados permiten plantear varias líneas de acción orientadas a la prevención y gestión integral del riesgo geomorfológico:

4.1 Ordenamiento territorial y planificación urbana

Es fundamental incorporar los mapas de peligrosidad y vulnerabilidad elaborados en este trabajo dentro de los instrumentos de planificación local. Esto permitiría restringir la expansión urbana sobre sectores de alta peligrosidad, especialmente en los frentes activos de las bardas, y orientar el crecimiento hacia áreas con menor pendiente y mayor estabilidad geotécnica. Asimismo, se recomienda establecer zonas de amortiguamiento en el pie de las laderas, evitando nuevas construcciones en sectores de acumulación de detritos o evidencias de erosión activa.

4.2 Educación y comunicación del riesgo

El bajo nivel de conocimiento sobre medidas preventivas revela la necesidad de programas de educación ambiental y talleres comunitarios enfocados en la comprensión del paisaje y los riesgos asociados. La difusión puede realizarse a través de medios locales, centros vecinales y escuelas, promoviendo la participación ciudadana y fomentando una cultura de prevención. Acciones simples, como la señalización de zonas inestables o la creación de senderos seguros para el tránsito recreativo, contribuirían a reducir la exposición.

4.3 Infraestructura y control de procesos erosivos

En los sectores más críticos (Villa Ceferino, Melipal e Islas Malvinas) sería conveniente implementar obras de control y estabilización de taludes, como drenajes superficiales, muros de contención y reforestación con especies nativas que mejoren la cohesión del suelo. Estas medidas deben acompañarse con monitoreo periódico mediante técnicas geoespaciales, utilizando comparaciones multitemporales de MDE y fotografías aéreas para detectar retrocesos del frente de las bardas.

4.4 Fortalecimiento institucional y gestión del riesgo

El abordaje del riesgo geomorfológico debe integrarse a los planes de defensa civil y gestión ambiental municipales. Se recomienda la creación de un registro local de eventos geomorfológicos (deslizamientos, caídas de bloques, erosión), que permita consolidar información histórica y facilitar la toma de decisiones. La articulación entre universidades, municipios y organismos técnicos (como Defensa Civil y Protección Ciudadana) favorecerá una respuesta coordinada y sustentable ante posibles emergencias.

5. CONCLUSIÓN

El estudio integral desarrollado en las bardas del norte de la ciudad de Neuquén permitió comprender la compleja interacción entre los procesos geomorfológicos naturales, la dinámica urbana reciente y la percepción social del riesgo en un entorno caracterizado por su alta fragilidad ambiental. La conjunción de evidencias físicas, cartográficas y sociales demuestra que el área presenta una situación de riesgo geomorfológico latente, donde la ocupación humana se superpone a un relieve inestable, condicionado por pendientes pronunciadas, materiales poco consolidados y procesos erosivos activos. Este escenario, sumado a un crecimiento urbano acelerado y a menudo carente de planificación geotécnica, genera condiciones propicias para la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa, caídas de bloques y erosión regresiva.

Desde la caracterización geomorfológica, se observó que los frentes de las bardas, especialmente en los sectores adyacentes a los barrios Villa Ceferino, Melipal, Bardas Soleadas e Islas Malvinas, concentran las mayores pendientes y evidencias de erosión activa. La litología dominante —areno-limosa con niveles tobáceos intercalados— refuerza la susceptibilidad de las laderas ante la saturación hídrica o las cargas adicionales derivadas de obras e infraestructura.

Los mapas de peligrosidad elaborados para distintos escenarios pluviométricos reflejan una alta recurrencia de zonas críticas, lo que pone de manifiesto la necesidad de establecer restricciones constructivas en los sectores de mayor inestabilidad. Del mismo modo, el análisis de vulnerabilidad muestra que la mayor exposición corresponde a áreas donde se combinan deficiencias en la infraestructura de drenaje, precariedad constructiva y proximidad directa a las laderas, factores que amplifican el riesgo ante eventos geomorfológicos.

La integración de la información espacial con los resultados sociales constituye uno de los aportes centrales de este trabajo. El cruce de encuestas con la cartografía permitió corroborar que las zonas de mayor peligrosidad coinciden con aquellas donde la población manifiesta una baja percepción del riesgo, lo que sugiere la existencia de una peligrosa disociación entre el riesgo físico objetivo y la percepción subjetiva del mismo. Si bien un alto porcentaje de los encuestados afirma conocer la geología, el conocimiento operativo sobre su aplicación práctica —particularmente en la mitigación de riesgos y planificación urbana— es limitado. Este hallazgo pone en evidencia la brecha entre el conocimiento técnico-científico y el conocimiento social, un problema recurrente en contextos urbanos que se expanden sobre paisajes naturalmente frágiles. En consecuencia, la educación y la comunicación del riesgo surgen como componentes estratégicos e indispensables para reducir la vulnerabilidad.

La juventud del grupo encuestado (predominio de personas entre 18 y 55 años) constituye una oportunidad para implementar programas de educación ambiental y geocientífica orientados a segmentos poblacionales clave en la toma de decisiones familiares y comunitarias.

La utilización de herramientas digitales, redes sociales y espacios de participación barrial puede contribuir a mejorar la comprensión de los procesos geomorfológicos y a fomentar prácticas preventivas, tales como la reparación temprana de grietas, la canalización adecuada de escurrimientos y la denuncia de obras realizadas sin control técnico.

Desde el punto de vista territorial, los resultados ponen de relieve la urgencia de incorporar criterios geomorfológicos y geotécnicos en los instrumentos de ordenamiento urbano del municipio de Neuquén.

La inclusión de los mapas de peligrosidad y vulnerabilidad en los planes directores permitiría definir zonas no edificables, corredores de amortiguamiento y áreas de monitoreo obligatorio. En particular, los frentes de las bardas deben ser considerados como zonas de restricción o de manejo especial, donde la intervención humana esté condicionada por estudios previos de estabilidad de taludes, diseño de drenajes y evaluación de impacto geotécnico. Estas medidas deben complementarse con obras de control —muros de contención, drenajes, revegetación con especies nativas— y un sistema continuo de monitoreo multitemporal que permita evaluar la evolución de los frentes de erosión mediante comparaciones de modelos digitales del terreno, fotografías aéreas y datos de precipitación.

El análisis también subraya la necesidad de fortalecer la gobernanza institucional y la gestión intersectorial del riesgo. La articulación entre el municipio, los organismos técnicos provinciales, las universidades y las organizaciones vecinales resulta esencial para implementar una gestión integral y sostenida del riesgo geomorfológico. La creación de un registro local de eventos (caídas de bloques, deslizamientos, erosión, grietas en viviendas) permitiría construir una base de datos histórica que sirva como insumo para la planificación preventiva y la toma de decisiones basada en evidencia.

En términos sociales, la investigación reveló que, a pesar de que el 43,8% de los residentes cercanos a las bardas reportó daños estructurales (como resquebrajamientos en sus viviendas), solo el 18% manifestó haber sentido peligro por su ubicación. Este contraste evidencia una percepción minimizada del riesgo, posiblemente relacionada con la habituación al entorno o la falta de información sobre la génesis de estos procesos. Tal desfase constituye uno de los desafíos más importantes para la gestión del riesgo en Neuquén, ya que la subestimación del peligro puede retrasar las acciones de respuesta o limitar la exigencia ciudadana hacia las autoridades.

En consecuencia, la reducción del riesgo en las bardas neuquinas requiere acciones combinadas de orden técnico, educativo y político, entre las que destacan:

- Implementación de políticas de planificación urbana basadas en evidencia geomorfológica, evitando la expansión sobre sectores de alta pendiente o erosión activa.
- Creación de campañas de sensibilización y educación comunitaria que traduzcan el conocimiento geocientífico en acciones concretas y cotidianas.

- Establecimiento de protocolos de inspección y mantenimiento de obras para garantizar que los nuevos desarrollos urbanos incorporen drenajes y medidas de estabilización adecuadas.

- Fomento de la participación ciudadana en la vigilancia ambiental, mediante aplicaciones de reporte de daños, encuestas continuas y talleres de diagnóstico participativo.

Finalmente, el trabajo demuestra que la integración entre el componente físico y el componente social del riesgo permite alcanzar una comprensión más completa de la problemática territorial.

El enfoque adoptado —que combina análisis geomorfológico, modelización cartográfica y evaluación perceptiva— constituye una herramienta replicable para otros sectores urbanos de la Patagonia y de Argentina donde la interacción entre relieve y urbanización genera situaciones similares.

En síntesis, el riesgo geomorfológico en las bardas del norte de Neuquén no debe ser interpretado como una amenaza inevitable, sino como un proceso gestionable mediante la aplicación de conocimiento técnico, planificación responsable y participación ciudadana informada.

Reconocer la geología como un elemento estructurante del territorio y no como un mero trasfondo físico es el primer paso hacia una ciudad más segura, resiliente y sostenible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agboola, G., Hashemi Beni, L., Elbayoumi, T., & Thompson, G. (2024). *Optimizing landslide susceptibility mapping using machine learning and geospatial techniques*. *Ecological Informatics*, 81, 102583. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102583>

Cascini, L., Bonnard, C., Corominas, J., Jibson, R., & Montero-Olarte, J. (2005). *Landslide hazard and risk zoning for urban planning and development*. In *Proceedings of the International Conference on Landslide Risk Management* (pp. 199–239).

Chen, F., Lin, H., Zhang, Y., & Lu, Z. (2012). *Ground subsidence geo-hazards induced by rapid urbanization: Implications from InSAR observation and geological analysis*. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12(3), 935–942. <https://doi.org/10.5194/nhess-12-935-2012>

Cui, Y., Cheng, D., Choi, C. E., Jin, W., Lei, Y., & Kargel, J. S. (2019). The cost of rapid and haphazard urbanization: Lessons learned from the Freetown landslide disaster. *Landslides*, 16(6), 1167–1176.