



TELEDETECCIÓN APLICADA AL ANÁLISIS DEL RIESGO ALUVIONAL EN SAN CARLOS MINAS, CÓRDOBA (1992-2022)

Jazmín Suárez ¹
María de los Ángeles Arias ²
Romina Solorza ³

(Manuscrito recibido el 12 de marzo de 2024, en versión final 18 de marzo de 2025)

Para citar este documento

Suárez, J., Arias, M. A. & Solorza, R. (2025). Teledetección aplicada al análisis del riesgo aluvional en San Carlos Minas, Córdoba (1992-2022). *Boletín Geográfico*, 47, 1-25. <https://id.caicyt.gov.ar/ark:/s2313903x/2dd8c5odr>

Resumen

El 6 de enero de 1992, la localidad de San Carlos Minas (SCM), en Córdoba, Argentina, sufrió un aluvión de gran severidad con trágicas consecuencias para su población. Ante la recurrencia de lluvias intensas características de las sierras cordobesas y el incremento del uso de información satelital para estudios territoriales en los últimos 30 años, este trabajo tiene como objetivo analizar las características del medio natural y social en el período 1992-2022, desde un enfoque histórico-geomorfológico, utilizando herramientas avanzadas de teledetección, para el análisis del riesgo. La investigación integra imágenes satelitales ópticas y de radar, modelos digitales de elevación, datos censales e información proporcionada por actores clave. Como resultado, se determinó el área de la cuenca que contribuye directamente al flujo hacia SCM, se calcularon parámetros morfométricos relevantes y se generaron

¹ Departamento de Geografía, Facultad de Filosofía y Humanidades, Universidad Nacional de Córdoba. Casa Verde, 1er. Piso. Ciudad Universitaria, (5000), Córdoba, Argentina. E-mail: jazuarez@mi.unc.edu.ar

² Departamento de Geografía, Facultad de Filosofía y Humanidades, Universidad Nacional de Córdoba. Casa Verde, 1er. Piso. Ciudad Universitaria, (5000). Córdoba, Argentina. E-mail: maria.arias.979@mi.unc.edu.ar

³ Gerencia de Observación de la Tierra. Comisión Nacional de Actividades Espaciales. Ruta C45, km 8, Falda de Cañete (5187), Córdoba, Argentina. E-mail: rsolorza@conae.gob.ar

mapas temáticos del medio natural, incluyendo índices como rugosidad e índice topográfico de humedad. Además, se elaboró cartografía de riesgo, identificando las zonas de mayor vulnerabilidad para la población. Este trabajo sistematiza información inédita y valiosa, que queda a disposición de los actores sociales, aportando herramientas fundamentales para la gestión del riesgo aluvional y la planificación territorial en SCM.

Palabras clave: Análisis satelital, geomorfometría, amenaza, vulnerabilidad, riesgo.

REMOTE SENSING APPLIED TO FLOODING RISK ANALYSIS IN SAN CARLOS MINAS, CÓRDOBA (1992-2022)

Abstract

On January 6th, 1992, San Carlos Minas (SCM), in Córdoba, Argentina, suffered a severe flood with tragic consequences for its population. Given the recurrence of heavy rains characteristic of the Cordoba sierras and the increased use of satellite information for territorial studies in the last 30 years, this study aims to analyze the characteristics of the natural and social environment in the period 1992-2022 from a historical-geomorphological approach, using advanced remote sensing tools. The research integrates optical and radar satellite images, digital elevation models, census data, and information provided by key actors. As a result, the catchment area that contributes to the flow towards SCM was determined, relevant morphometric parameters were calculated and thematic maps of the natural environment were generated, including indices such as roughness and topographic humidity index. In addition, risk mapping was carried out to identify the areas of greatest vulnerability for the population. This work systematizes unpublished and valuable information available to social actors, providing fundamental tools for alluvial risk management and territorial planning in SCM.

Keywords: Remote sensing, geomorphometry, hazard, vulnerability, risk.

Introducción

Recurrentemente en Argentina, tienen lugar inundaciones severas que afectan a poblaciones ribereñas e implican pérdidas de vidas humanas e importantes daños materiales. En cuencas de ambientes áridos y semiáridos, particularmente donde el relieve presenta una pendiente superior a los 15° y donde la escasa vegetación favorece el aumento de velocidad en el flujo de agua, se desarrollan los denominados *aluviones*, un tipo de inundación de carácter repentino, que arrastra gran cantidad de agua y material (sedimentos, regolito) a una alta velocidad de desplazamiento, en

general > 60 km/h (Barbeito, O., Ambrosino, S., Bertoni, J., & Paoli, C. U., 2004; Esper Angillieri, M. Y., 2007; Esper Angillieri, M. Y., Perucca, L., & Vargas, 2017). El factor gatillante de estos episodios suelen ser precipitaciones intensas en intervalos cortos de tiempo, particularmente en menos de 6 horas (NWS/NOAA, 2023).

En la provincia de Córdoba, se destaca el caso del aluvión de San Carlos Minas (SCM) en el año 1992. La ocurrencia de una creciente repentina tuvo consecuencias trágicas para la población, dejando muertos, desaparecidos e importantes daños materiales (Barbeito, O., Ambrosino, S., López, F., & Zamanillo, E., 1992; Barbeito *et al*, 2004). Solo quedó en pie la escuela primaria, la Iglesia Parroquial, el Recinto Municipal y antiguas edificaciones que fueron construidas en la zona más elevada de la urbanización (Seara, 1993). Pese a la magnitud del evento, existen relatos por parte de los lugareños sobre la ocurrencia en los años 1889, 1914 y 1982 de crecidas del arroyo Noguinet, principal curso de agua de la localidad, que pusieron en peligro al pueblo (Solsona Argensola, 2005).

En la actualidad, gran parte del ejido urbano de la localidad está ubicada sobre la planicie de inundación del arroyo Noguinet, curso principal de agua en la localidad, lo que implica la exposición tanto de la población como de la infraestructura a una amenaza latente: las crecidas repentinas típicas del ambiente serrano cordobés. De hecho, las Sierras Pampeanas suelen ser escenario de este tipo de fenómenos, que ya han sido debidamente estudiados y documentados (Burgos & Maza, 2013; Bonalumi, A., Martino, R., Baldo, E., 1999; Barbeito, O., Ambrosino, S., & Rydzewski, A., 2015).

Con base en la geología ambiental (Ayala Carcedo, 1983), se propone para este trabajo la consideración de los aspectos geológicos y geomorfológicos en el entendimiento del comportamiento de una cuenca frente a una amenaza como un aluvión, considerando que este enfoque brinda información fundamental para lograr una gestión prospectiva del riesgo (Barbeito *et al*, 1992; Seara, 1993; Natenzon, 2014; Rydzewski, A. L., Moya, D., & Lanfranco, M., 2016). Además, como punto de partida, y desde un enfoque histórico, se consideran las características del aluvión de 1992. Para el análisis se utilizaron herramientas de teledetección y el aporte de la gestión de riesgos para recopilar, sistematizar y analizar información de la cuenca del arroyo Noguinet con la finalidad de brindar las bases del medio físico que posibiliten a futuro el ordenamiento territorial de San Carlos Minas.

Este trabajo se enmarca como un estudio de caso dentro de la *geografía aplicada*, entendida como la ciencia de la organización del territorio (Principi, 2022). Su propósito es generar conocimientos útiles para abordar problemáticas espaciales, destacando su estrecha vinculación con la práctica del ordenamiento territorial. Esta perspectiva resulta especialmente adecuada para el análisis de riesgos, como el presentado en este estudio. Los lineamientos propuestos aspiran a contribuir a la gestión territorial desde un enfoque preventivo y prospectivo, buscando equilibrar el desarrollo económico, social y ambiental con formas eficientes y sostenibles de ocupación del territorio.

Área de estudio

El área de estudio comprende parte del Departamento Minas, siendo la ciudad cabecera la localidad de San Carlos Minas (SCM), Córdoba, Argentina (coordenadas centrales $31^{\circ} 11' S$; $65^{\circ} 16' O$), y se ubica en la vertiente occidental de las Cumbres de Gaspar (740 msnm) perteneciente a las sierras de Guasapampa, integrante del cordón central de las Sierras Grandes (Figura 1). El núcleo urbano concentra 3.200 habitantes⁴ (DGEyC, 2022; 1.713 habitantes en el año 2010) y su principal vía de acceso es la ruta provincial N°15.

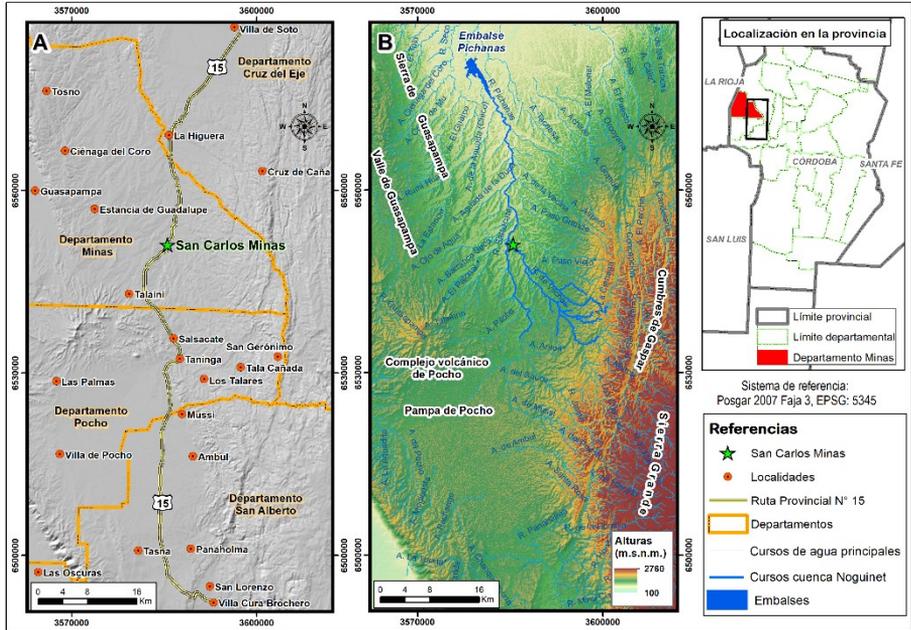


Figura 1. Área de estudio. (A) Mapa de localización de San Carlos Minas y su red de accesos viales dentro del Departamento Minas, Córdoba. (B) Mapa de relieve y sistemas hidrográficos principales, incluyendo la Cuenca del arroyo Noguinet y otros cursos de agua relevantes. Se destacan unidades orográficas y variaciones altimétricas. La ubicación en la provincia se muestra en el recuadro superior derecho. Elaboración propia. Fuentes de datos: Modelo Digital de Elevaciones TerraSAR-X (12.5 m de resolución espacial) y geoservicios IDECOR.

⁴ Al momento de envío de este artículo solo se cuenta con información general del Censo 2022, por ese motivo los mapas de riesgo de los capítulos siguientes son elaborados en base al Censo 2010 a escala de radio censal.

El área de estudio pertenece a la ecorregión del bosque chaqueño, Provincia Fitogeográfica del Espinal, característica de las regiones semiáridas ubicada entre los 400 y 1700 msnm, y en la cual se pueden encontrar especies como Algarrobos, molles, cocos, garabatos, espinillos, orco quebracho, uñas de gato, quebrachos blancos y chilcas. La vegetación se compone, en los niveles medios y bajos, por un denso monte serrano y a medida que la altitud aumenta (arriba de los 1.600 msnm) dicha cobertura es reemplazada por arbustal y pastizales de altura.

En lo que respecta al clima, el área de estudio se encuentra ubicada en la región semiárida del país. Las precipitaciones poseen una distribución anual heterogénea ya que las mismas ocurren principalmente en verano donde la temperatura es mayor. En el resto de las estaciones desaparecen las lluvias y la nubosidad, lo que genera que el viento se apropie de la zona y los cursos superficiales se transforman en pequeños hilos de agua o desaparezcan. Desde el año 2022, SCM se encuentra inmersa en una situación de sequía que se corresponde con el fenómeno de la niña en la región (Mapa Promedio de Precipitaciones 12 meses, SMN, marzo 2022/ febrero 2023). También es importante considerar los impactos que pueda ocasionar el fenómeno climático de El Niño, que está vinculado al aumento de precipitaciones en la región. El inicio del ciclo ya ha sido determinado para fines del año 2023 (SMN, 2023). En ese sentido, el diagnóstico de las condiciones del medio social y natural en la localidad será fundamental para determinar cómo está preparada la población para hacer frente a este fenómeno.

Materiales y métodos

Desde un enfoque histórico-geomorfológico se analizan las características del aluvión de 1992, como punto de partida principal para toda la investigación. Se utilizan como fuentes de información el análisis bibliográfico, el contacto con actores clave de la localidad, sumado al trabajo de campo (relevamiento y entrevistas) y el trabajo de gabinete que incluye el procesamiento de imágenes satelitales. Se utilizaron imágenes del satélite Landsat 5 TM (Catálogo del Servicio Geológico de Estados Unidos⁵). Se utilizaron dos imágenes: la primera, del 20 de octubre de 1991 (antes del aluvión); la segunda, del 24 de enero de 1992 (después del aluvión). Ambas abarcan la zona de estudio a escala local y regional, y se emplearon para tener una primera aproximación a los cambios en la cuenca antes y después del evento. Se realizaron combinaciones de bandas y también cálculos de índices específicos. Se utilizaron además capas vectoriales obtenidas como geoservicios del Geoportal de Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) de la Provincia de Córdoba⁶, para la

⁵ <https://earthexplorer.usgs.gov>

⁶ <https://www.mapascordoba.gob.ar/#/geoservicios>

caracterización de distintos elementos de la localidad tales como: usos de suelo, radio urbano y la identificación de la localización de las instituciones locales.

Caracterización del medio natural.

Geología y formas del relieve.

Se construyó el mapa de unidades geológicas y se calculó el Índice de Posición Topográfica (Topographic Position Index, TPI; Weiss, 2001), para hacer una primera aproximación a las geoformas del área. El TPI describe aspectos morfológicos del terreno a través del cálculo y sectorización de las pendientes. Los valores positivos representan zonas más elevadas que sus alrededores (colinas), valores negativos representan ubicaciones que son más bajas que los alrededores (valles) y valores cercanos a cero pueden ser áreas planas (con pendiente cerca de cero) o áreas de pendiente constante, donde puede usarse un criterio del ángulo de la pendiente para estimar si se trata de uno o de otro caso.

Delimitación de la cuenca.

Se delimitó la cuenca del arroyo Noguinet, a escala local, como unidad de análisis principal, en base al Modelo Digital de Elevación (MDE) TerraSAR-X de 12 m de resolución espacial. Se calculó la dirección de los flujos de agua con la herramienta *r.watershead* (complemento de GRASS GIS) y utilizando el método de punto de salida, en este caso definido en cercanías del Embalse Pichanas como área de descarga de la cuenca. Se utilizaron además capas de curvas de nivel y, a su vez, software de procesamiento QGIS y SAGA GIS (System for Automated Geoscientific Analyses), y el plugin de QGIS Profile Tools. La delimitación de la cuenca del arroyo Noguinet, generada en formato raster, fue también transformada a formato vectorial.

Morfometría de la cuenca.

El análisis morfométrico permite realizar una descripción físico-espacial de las cuencas hidrográficas. Determinar las características morfométricas de la cuenca permite comprender la dinámica de la misma. Se calcularon parámetros morfométricos específicos, de forma, relieve y de propiedades hídricas de la cuenca. Luego, se procedió a generar información complementaria relevante para profundizar en el conocimiento de la dinámica de los procesos naturales: curvas de nivel con distinta equidistancia, cursos de agua principales y secundarios, curvaturas, índices, entre otros.

Análisis de la vegetación.

Se realizaron combinaciones color utilizando distintas regiones del espectro electromagnético que permiten discriminar elementos a partir de sus firmas espectrales. Utilizando las imágenes Landsat 5, de antes y después del aluvión, se

crearon la combinación de bandas “1 (azul), 2 (verde), 3 (rojo)”, denominada “color real” que permite visualizar la superficie terrestre de manera similar a como lo hace el ojo humano. La vegetación sana se ve en tonalidades verdes, sin embargo, la que no se encuentra en estado saludable aparece en tonalidades marrones y ocres y los caminos, centros urbanos y roca expuesta en tonos grises. La combinación de bandas “4 (infrarrojo cercano), 3 (rojo), 2 (verde)”, denominada “falso color”, tiene buena sensibilidad a la vegetación verde la cual, aparecerá representada en una tonalidad roja, debido a que la vegetación sana posee una alta reflectividad en el infrarrojo. También se construyó y analizó el Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), que considera la reflectancia espectral del NIR y el rojo, dada por la siguiente relación: $(\text{NIR-rojo}) / (\text{NIR+rojo})$ y se correlaciona con el vigor de la vegetación. Los valores altos (cercanos a 1) se visualizan en verde y corresponden a vegetación sana, los intermedios en amarillo y naranja, y los bajos en blanco, correspondiendo a vegetación seca o suelo desnudo. Para complementar la información sobre vegetación, se construyó y analizó el mapa de frecuencia de incendios en la cuenca entre los períodos 1987-2018.

Análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo.

El *mapa de amenazas*, expresa las características físicas del fenómeno potencial que tiene la capacidad de dañar a la población (Natenzon, 2014). Considerando el estudio pormenorizado de la cuenca del arroyo Noguinete que se hizo a través del análisis morfométrico, se tuvieron en cuenta las siguientes categorías para su elaboración: *amenaza alta* (comprende el lecho ordinario del arroyo), *amenaza media-alta* (planicie de inundación del arroyo, zona inundable con alta carga sedimentaria que es afectada por ondas de crecida durante tormentas), *amenaza media a baja* (brazos esporádicamente activos en los cuales se generan desbordes laterales) y *amenaza baja* (implica zonas altas y márgenes inundables en crecidas extraordinarias).

El *mapa de vulnerabilidad* se elaboró utilizando el Índice de Vulnerabilidad por Radio Censal (IVRC) basado en el Censo Nacional de Población y Viviendas (INDEC, 2010). Este índice agrupa indicadores sociales y económicos (nivel educativo, calidad de la vivienda, hacinamiento y proporción de población mayor de 55 años) dentro de radios censales, asignándoles una ponderación y multiplicándolos por la densidad poblacional. El IVRC se obtiene al multiplicar la ponderación de indicadores por la densidad poblacional. La información espacial que aporta a la vulnerabilidad proviene de la capacidad de asociar los indicadores sociales y económicos a una unidad geográfica específica (radio censal). Todos los indicadores sociales y económicos son agrupados y calculados dentro de los límites de cada radio censal, lo que asegura que las comparaciones entre unidades sean consistentes. Además, el uso del radio censal como unidad espacial permite integrar datos censales

oficiales, lo que facilita el análisis y la visualización en sistemas de información geográfica (SIG).

Finalmente, el *mapa de riesgo* es el resultado de multiplicar la amenaza por la vulnerabilidad (riesgo = amenaza * vulnerabilidad). Se entiende al riesgo como la posibilidad de pérdidas futuras ya sean materiales, sociales y/o ambientales, la cual se genera por la existencia e interacción de los factores que lo componen: amenaza y vulnerabilidad (Cardona Arboleda, 2018; Principi, 2022).

Indicadores (%)	Ponderación
Hogares con hacinamiento moderado (2 a 3 personas/ cuarto)	0,1
Hogares con hacinamiento crítico (más de 3 personas/cuarto)	0,15
Hogares con NBI	0,1
Viviendas con calidad en materiales de construcción moderada	0,1
Viviendas con calidad en materiales de construcción crítica	0,15
Personas mayores de 55 años	0,3
Personas sin cobertura de salud por partido/departamento	0,1

Tabla 1: Indicadores y ponderaciones utilizadas en la construcción del mapa de vulnerabilidad. Elaboración propia. Se incluyen variables socioeconómicas y habitacionales basadas en el Censo Nacional de Población y Viviendas (2010) y en datos espaciales provistos por Aeroterra (2021).

Resultados

Análisis del aluvión de 1992.

En 6 de enero de 1992, lluvias intensas generalizadas que abarcaron gran parte de la región central y norte de Córdoba provocaron la formación de una tormenta convectiva que se posó sobre las cumbres de Gaspar (Barbeito *et al.*, 2004). En la cuenca alta se registraron alrededor de 300 mm en 7 horas, concentrándose la mayor intensidad en 3 horas, lo que provocó el ingreso en dos momentos de una corriente de agua y barro a la localidad debido al desborde del arroyo Noguinet. El impacto que el aluvión tuvo sobre el paisaje puede claramente identificarse en la comparación de las Figuras 2 a) y 2 b), donde es notable una modificación en la morfología del terreno post inundación, particularmente en los cauces y cañadones, donde la vegetación fue arrasada. Según el relato de los pobladores, aproximadamente a las 05:00 HL (HL: hora local), comenzó a llover de manera intensa y a las 09:00 HL se produjo el primer ingreso del aluvión al pueblo. El paleocauce, límite físico del ejido por el sector Este,

también excedió su capacidad de transporte lo que produjo el desborde lateral del río en varias direcciones.

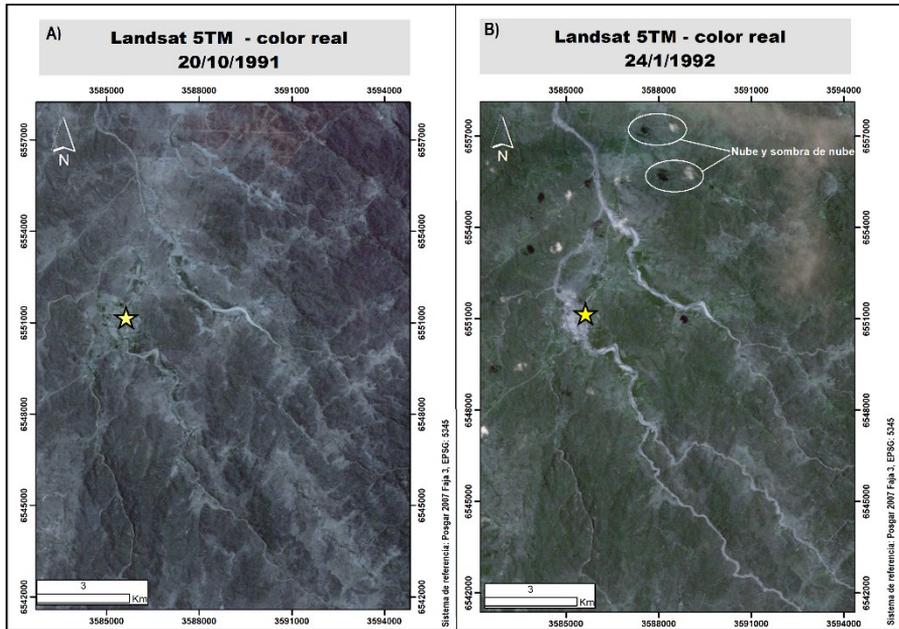


Figura 2. Imágenes satelitales Landsat 5 TM en color real (A) antes y (B) después del aluvión respectivamente, (20/10/1991 y 24/01/1992). Punto amarillo: SCM. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 2 b) se observa el evento el ensanchamiento de los cañones serranos debido a la erosión generada por la corriente de agua, así como la deposición de material en zonas de menor pendiente, como en los alrededores de SCM.

Si bien en este evento no se produjeron pérdidas de vidas humanas, el puente carretero de acceso a la localidad por la ruta provincial N°15, redujo su capacidad de evacuación debido a la presencia de árboles que fueron arrastrados por la crecida. Esto produjo un efecto de remanso del agua, se rompieron las defensas laterales y con el aporte de más agua, se desencadenó una onda frontal repentina. Un frente de agua de 1.350 m de ancho y una altura de 12 m. (Seara, 1993) ingresó de forma más violenta, golpeó contra el Cerro Los Páez (localizado al noreste del área de estudio) y cubrió gran parte del pueblo, superando de manera extraordinaria al desborde provocado por la activación del paleocauce.

En este segundo momento se produjeron pérdidas de vidas humanas (40 muertos, 30 desaparecidos) e importantes daños materiales y de infraestructura (Figura 3). Aproximadamente a las 17:00 HL (hora local) el caudal empezó a disminuir y los habitantes que lograron sobrevivir fueron testigos de lo que quedó de su pueblo tapado por el barro.

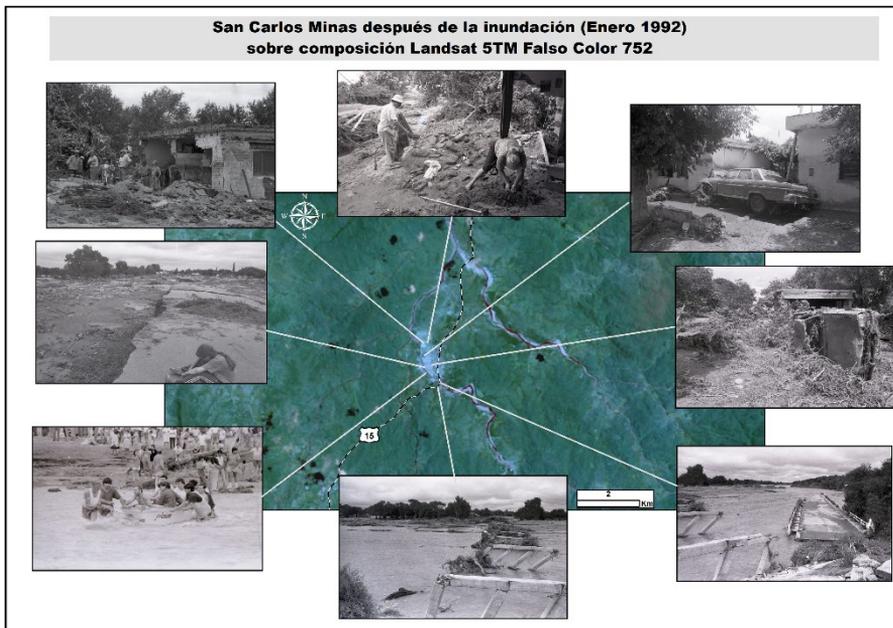


Figura 3: Fotografías tomadas el día después de la inundación de enero de 1992, sobre una composición en falso color Landsat 5 TM (bandas 752). La imagen satelital muestra en tonos celeste/blanco las áreas arrasadas por el aluvión. Las fotografías de los alrededores de San Carlos Minas documentan los daños en viviendas, infraestructura y paisajes afectados. (Créditos: pobladores locales, cura párroco Raúl Martínez y archivo La Voz del Interior). Fuente: elaboración propia.

Caracterización del medio natural a escala local.

Geología, geomorfología y relieve.

En el área es posible encontrar dos ambientes geológico-geomorfológicos definidos (Figura 4 a). Por un lado, el sector este (nacientes del arroyo Noguinet), posee un paisaje abrupto fruto de la tectónica, con pendientes medias que oscilan entre un 20% y un 35%; y, por otro lado, al oeste, en forma descendente y escalonada producto de la tectónica, predomina un paisaje de colinas convexas (Barbeito *et al*, 1992). Desde el punto de vista litológico, la cuenca del arroyo Noguinet se compone por un basamento de carácter cristalino metamórfico perteneciente a la edad precámbrica (Complejo metamórfico anatectónico San Carlos). Este ocupa más del 70% de su extensión el cual, se compone de rocas gnéissicas masivas migmáticas donde su presencia es mayor que los gneis de tipo esquistoso; de manera aislada e infrecuente, afloran anfibolitas y bancos calcáreos. El otro 30% corresponde a rellenos fluviales y coluvio-aluviales que ocupan los cañadones y valles fluviales (Bonalumi *et al*, 1999; Carignano, C., Kröhling, D., Degiovanni, S., & Cioccale, M., 2014).

La topografía es uno de los principales factores que controla la distribución espacial del flujo del agua y de los procesos erosivos. Las características del relieve se expresan en la clasificación del TPI (Figura 4), de la que se desprende que la mayor superficie del área circundante a SCM presenta zonas planas y laderas extendidas, que se corresponden con paleoplanicies y zonas de pedemonte de orientación norte-sur, resultado de procesos tectónicos asociados a la orogenia andina y posteriores procesos erosivos (Carignano *et al*, 2014). De todas formas, la localidad está circunscripta a un medio con variaciones importantes de pendientes, con sectores puntuales de cordones montañosos locales y colinas de altura (en rojo, en la Figura 4 b). Este es el caso del montículo rocoso localizado al noreste de la localidad (Cerro Los Páez), sobre el que el agua, en la catástrofe, golpeó y volcó su caudal hacia la localidad. También se destaca la presencia de valles abiertos, donde se encuentran las actuales terrazas fluviales de acumulación de grava y arena, y valles más estrechos con cañadones, donde el agua que escurre se encauza y toma más velocidad, favorecido por la poca o nula infiltración en el suelo y el gradiente de la pendiente.

El TPI permitió una adecuada clasificación de formas de terreno en una zona con importantes variaciones topográficas locales y presenta un importante aporte al conocimiento de la dinámica del escurrimiento ante una situación de crecida.

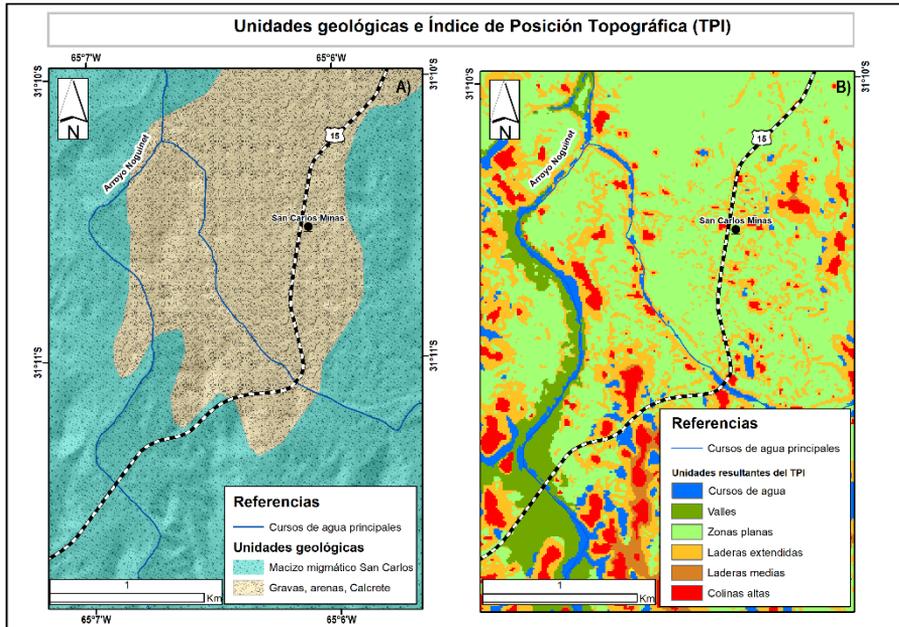


Figura 4: A) Mapa de unidades geológicas del área de estudio, y B) clasificación de geoformas derivadas del Índice de Posición Topográfica (TPI) (derecha). Fuente: Elaboración propia.

Delimitación de la cuenca y parámetros morfométricos.

Conocer las características físicas y funcionales de una cuenca ayuda a predecir su respuesta hidrológica. Se delimitó la Cuenca del Arroyo Noguinet, los cursos principales y se construyó la red de drenaje de cursos intermitentes (Figura 5). Los principales cursos de agua del área son el río Salsacate y el arroyo Noguinet. El primero tiene nacimiento en Los Gigantes; mientras que el segundo, se conforma por dos subcuencas principales: la del río Vilches y la del río Sauce de los Quevedos, cuyas nacientes se encuentran en el área de las Cumbres de Gaspar a una altitud media sobre el nivel del mar de 1.750 m. y desaguan en el dique Pichanas, ubicado a unos 30 km en línea recta hacia el Norte de la localidad de SCM, en las sierras de Guasapampa en el límite con el departamento Cruz del Eje, a una altura de 600 msnm.

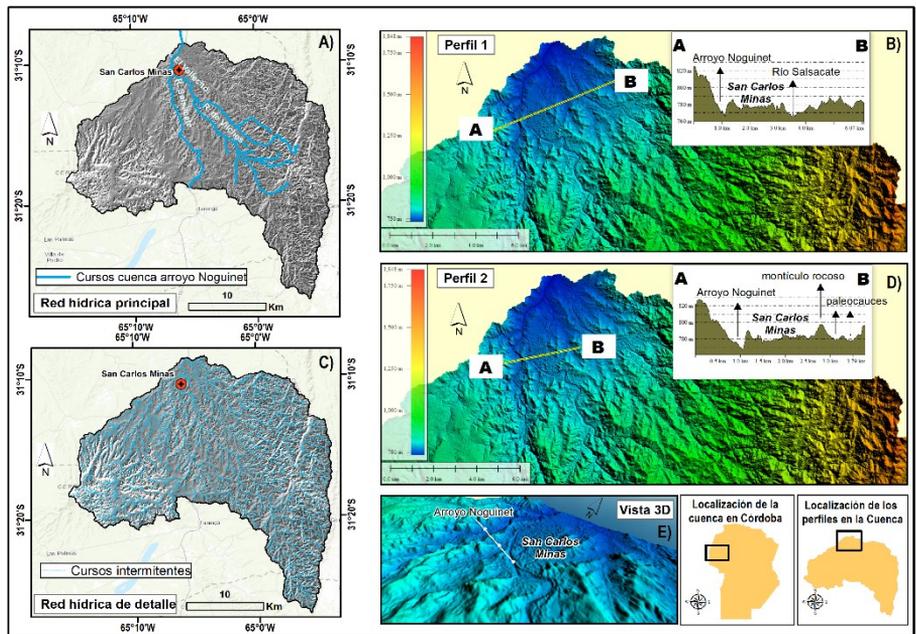


Figura 5: Mapa de la cuenca del arroyo Noguinet y su red hídrica (izquierda), destacando los cursos principales (A) e intermitentes (B). A la derecha, se presentan perfiles topográficos de distintos dos sectores de la cuenca (C y D) y una vista 3D del relieve (E). Fuente: elaboración propia.

Se calcularon parámetros específicos de forma y relieve y se construyeron índices para analizar la morfología local y propiedades hídricas de la cuenca. Los resultados se muestran en la Tabla 2. Para cuantificar el efecto del relieve sobre la dinámica hídrica se determinaron las cotas máximas y mínimas y también las alturas en la naciente y la desembocadura. Se calculó la pendiente media de la cuenca, que da un indicio del poder erosivo. También, se calcularon distintos índices a partir de parámetros primarios (como la pendiente, la orientación y las curvaturas) y secundarios (como la rugosidad del terreno y el índice topográfico de humedad), para obtener un detalle más preciso de las geometrías de las formas superficiales. Se calculó además el tiempo de concentración de la cuenca, que da un indicio de la velocidad a la que desplazaría el flujo ante precipitaciones extraordinarias en las zonas altas, de aporte a la cuenca.

Los resultados morfométricos alcanzados en el análisis permitieron conocer en detalle las características físicas del área de estudio. La cuenca del arroyo Noguinet tiene un área total de 612 km². Entre su naciente y desembocadura el curso principal recorre una distancia de casi 30 km, y tiene una pendiente promedio de 50° en un relieve muy empinado. De acuerdo al factor de forma (indica cómo se regula la concentración del escurrimiento superficial y manifiesta la tendencia de la cuenca

hacia las crecidas), la cuenca es alargada a amplia, por lo que es susceptible a desarrollar crecidas encausadas en varios sectores.

Parámetro	Valor	Unidad	Descripción
Área	612	km ²	Superficie total calculada.
Perímetro	194,5	km	Medición de la línea envolvente de la cuenca hidrográfica por la divisoria de aguas.
Ancho promedio	16,20	km	Relación entre la superficie de la cuenca con su longitud axial
Altura máxima	1950	msnm	Punto de mayor altura obtenido del MDE.
Altura mínima	550	msnm	Punto de menor altura obtenido del MDE.
Longitud axial	37,8	km	Distancia existente entre la desembocadura y el punto más lejano de la cuenca
Pendiente promedio	50,7	Grados	Relación entre el cambio en elevación y la distancia horizontal. Se expresa en porcentaje (%) o en grados (°)
Orientación de laderas	Sur	Grados a Izq. del Este	Orientación geográfica de las laderas respecto al movimiento del sol.
Longitud del cauce principal	29,6	km	Distancia total de recorrido del río desde la naciente hasta la desembocadura.
Longitud total del sistema de drenaje	109	km	Sumatoria de toda la red de drenaje que aporta al punto de salida de la cuenca.
Altitud naciente	1210	msnm	Altitud de la naciente del cauce principal
Altitud desembocadura	770	msnm	Altitud de la desembocadura del cauce principal
Factor de forma	0,43	adimensional	Relación entre el área y el cuadrado de la longitud de la cuenca.
Tiempo de concentración	8,3	horas	Tiempo que tarda el flujo superficial en contribuir al caudal de salida, desde el punto más alejado hasta la desembocadura.
Índice Topográfico de Rugosidad (TRI)	0,4 – 1,6	categorizado	Considera las variaciones de altura y pendiente entre celdas vecinas.
Índice de Topográfico de Humedad (TWI)	7,2 – 10,4	categorizado	Expresa las zonas propensas a acumular agua de acuerdo a variaciones de la pendiente.

Tabla 2: Propiedades y métricas obtenidas de la cuenca del arroyo Noguinet, de la red hídrica e índices morfométricos. Fuente: elaboración propia.

Para algunos de los resultados obtenidos y que se muestran en la Tabla 2, se construyeron los mapas correspondientes. La Figura 6 muestra parámetros del relieve como las alturas generales, la pendiente y la orientación de las laderas. Las mayores alturas y las fuertes pendientes se corresponden con las zonas de relieve más accidentado, coincidente con los macizos rocosos de la Sierra Grande.

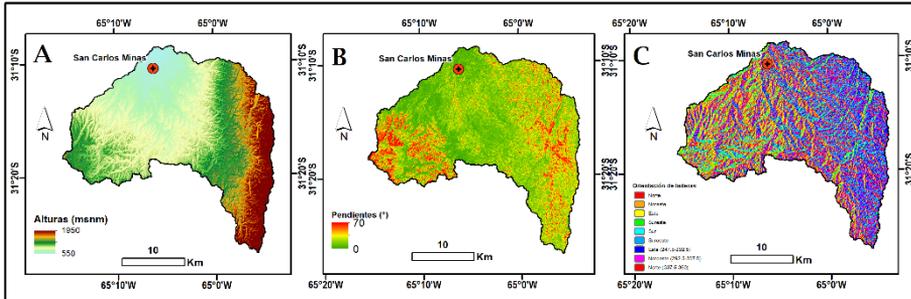


Figura 6: Mapas de (A) altitudes, (B) pendientes y (C) orientación de laderas de la cuenca del arroyo Noguinet. Fuente: elaboración propia.

Se construyeron además los mapas de corrientes de agua principales (Figura 7A) y el Índice Topográfico de Rugosidad (TRI; Riley, S., Degloria, S., & Elliot, S. D., 1999) que expresó valores bajos en el área de la localidad y alto en las áreas circundantes, particularmente en zonas altas, con roca expuesta (Figura 7B). El Índice de Topográfico de Humedad (TWI; Beven & Kirkby, 1979) está relacionado con la pendiente y la humedad edáfica. Refleja la tendencia del suelo a la generación de escorrentías, debido a que los perfiles con mayor humedad son proclives a saturarse, por lo que la precipitación que cae sobre ellos puede convertirse fácilmente en escorrentía (Figura 7C).

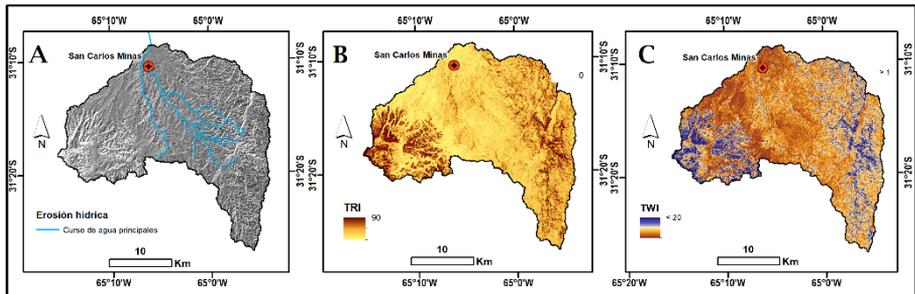


Figura 7: Mapas de la cuenca del arroyo Noguinet mostrando (A) cursos de agua principales, (B) índice topográfico de rugosidad (TRI), que indica la variabilidad en la superficie del terreno, y (C) índice topográfico de humedad (TWI), que representa la propensión del suelo a la acumulación de agua. Fuente: elaboración propia.

Los valores más altos de TWI se expresan en áreas de baja pendiente donde el agua tiende a estancarse y acumularse. Por el contrario, las celdas con TWI entre de 5.6 a 2.4 coinciden con zonas de pendiente elevada con baja acumulación de humedad edáfica donde el área puede circular a mayor velocidad. Particularmente, en zonas aledañas a SCM, se encontraron TWI altos (Figura 8, tonalidades azules) que coinciden con áreas abiertas, de arroyadas, planicies de inundación y paleocauces.

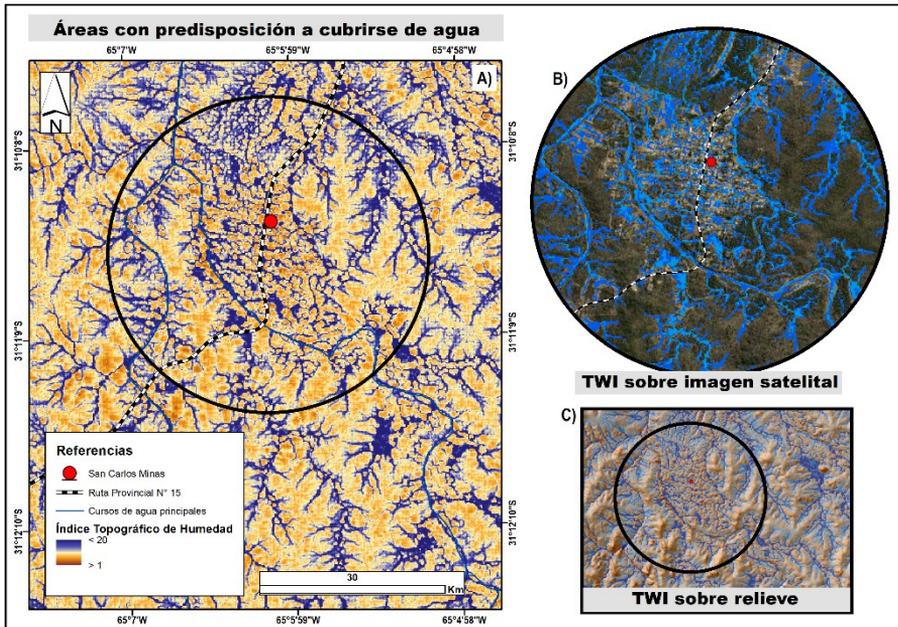


Figura 8: Índice Topográfico de Humedad (TWI) en el área de San Carlos Minas. La Figura 8 A) muestra las áreas con mayor predisposición a la acumulación de agua, destacadas en azul. Las Figuras 8 B) y C) detallan un acercamiento a la localidad, superponiendo el TWI sobre una imagen satelital (arriba) y sobre el relieve (abajo), permitiendo una mejor visualización de la relación entre topografía y el escurrimiento de agua. Fuente: elaboración propia.

Análisis de la vegetación.

El infrarrojo cercano aportó información relevante de la vegetación debido al salto que tiene la firma espectral en esta región del espectro electromagnético. Las Figuras 9 a) y b) presentan las imágenes antes y después de la creciente con la vegetación resaltada en tonos rojos, lo que permite identificar cambios en la superficie tras el evento. En la imagen posterior al aluvión se observan las huellas de la erosión en los cauces. El área de la naciente de la cuenca del arroyo presenta un color rojo

muy claro que coincide con los pastizales de altitud característicos de las áreas montañosas. En los alrededores de la localidad, como así también en la zona de la costa del arroyo Noguinet y el río Salsacate, se observa la presencia de color rojo característico de la vegetación sana y bien desarrollada producto de su ubicación lindante a los cursos de agua (Figura 9, a). Los valores altos de NDVI (cercanos a 1) se visualizaron en verde y corresponden a sectores con vegetación sana. Esta vegetación de buen vigor, fue arrasada por el aluvión, que eliminó la flora ubicada en el lecho ordinario y planicies de inundación de los ríos y arroyos (Figura 9 b). En la imagen posterior, valores de NDVI alto (en torno a 0.78) se visualizaron en las cumbres de Los Gigantes. En las áreas afectadas por el aluvión, los valores encontrados extremadamente bajos se corresponden con el gran porcentaje de roca expuesta después del fenómeno.

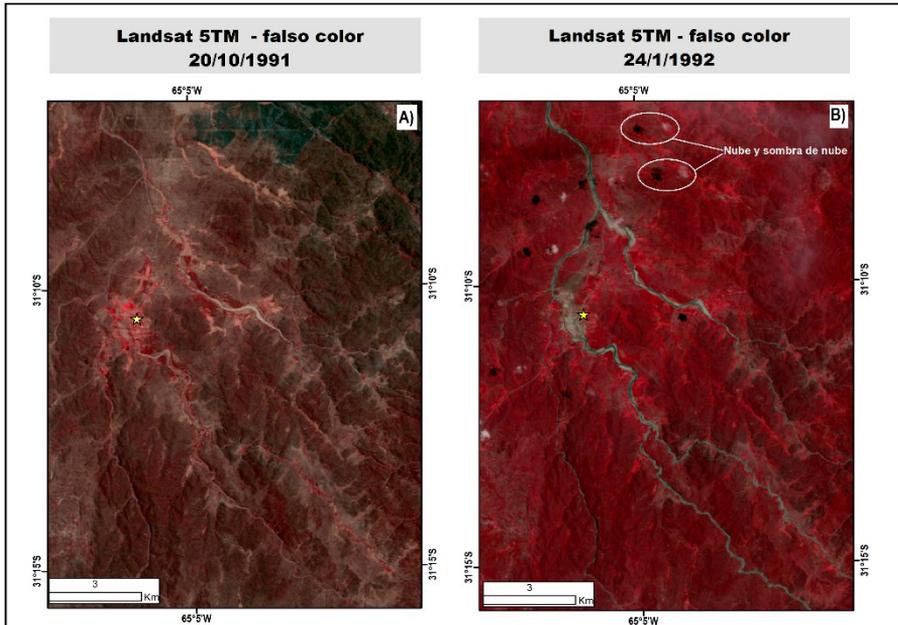


Figura 9: Imágenes Landsat 5 TM en falso color (bandas 432) del área de estudio. A) antes del aluvión (izquierda, 20/10/1991) y B) después del aluvión (derecha, 24/01/1992). Fuente: elaboración propia.

Aspectos como la deforestación y el sobrepastoreo pueden tener impacto en la vegetación. También, juegan un papel fundamental los incendios. Se construyó el mapa de frecuencia de incendios (Figura 10) en la cuenca entre los períodos 1987-2018, período abarca tanto años anteriores como posteriores a la ocurrencia del aluvión.

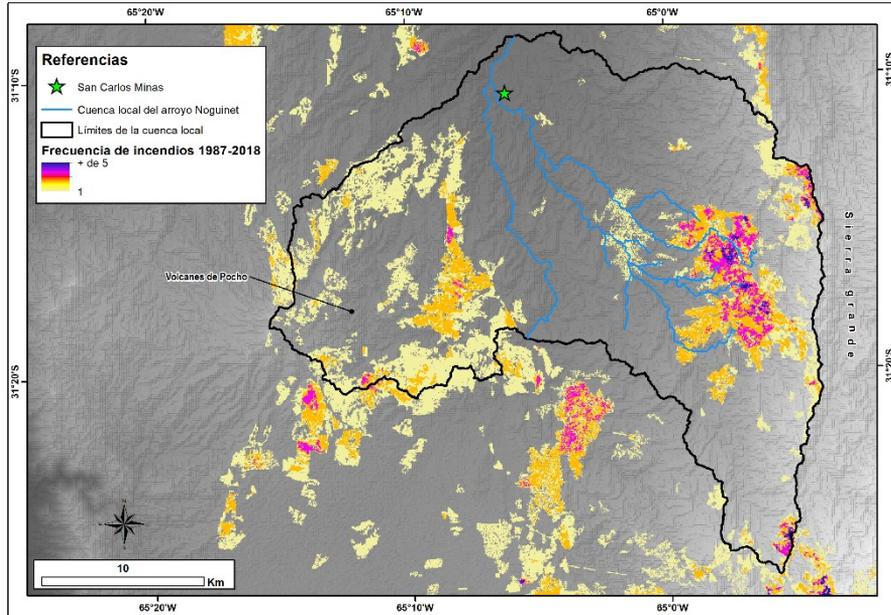


Figura 10: Mapa de frecuencia de incendios en la cuenca del arroyo Noguinet durante el período 1987-2018. Se representa la cantidad de eventos registrados en el área, con una escala de colores donde el amarillo indica zonas con menor recurrencia y el magenta, áreas con más de cinco eventos registrados en el período analizado. Elaboración propia en base a Marinelli et al. (2019)

En el área de la naciente del arroyo Noguinet existe una alta incidencia de incendios con cinco o más focos ígneos al año. A su vez, en el área de la naciente de los otros cursos de agua que componen la cuenca también se observa una importante frecuencia que oscila entre tres y cinco incendios por año. En lo que respecta a la cuenca media, hubo al menos, en este período de tiempo, un incendio al año. El aumento en la frecuencia de incendios reduce la cobertura vegetal y la capacidad de infiltración del suelo, incrementando la escorrentía y exacerbando el riesgo de inundaciones en eventos de lluvias intensas.

Amenaza, vulnerabilidad y riesgo.

Teniendo en cuenta el estudio previo de la cuenca y las características del aluvión, se construyó el mapa de amenazas (Figura 11) de la localidad de SCM. Las zonas de amenaza alta son las que corresponden a la planicie de inundación del arroyo Noguinet, a las zonas bajas donde la pendiente disminuye y los paleocauces que se activan con las crecidas. Lamentablemente, el ejido de SCM queda circunscripto a la

amenaza de crecidas por el sector oeste (cauce del arroyo) y este (paleocauce), y está inmerso en una zona de muy baja pendiente que no presenta más de 3 m de desnivel entre un sector y otro.

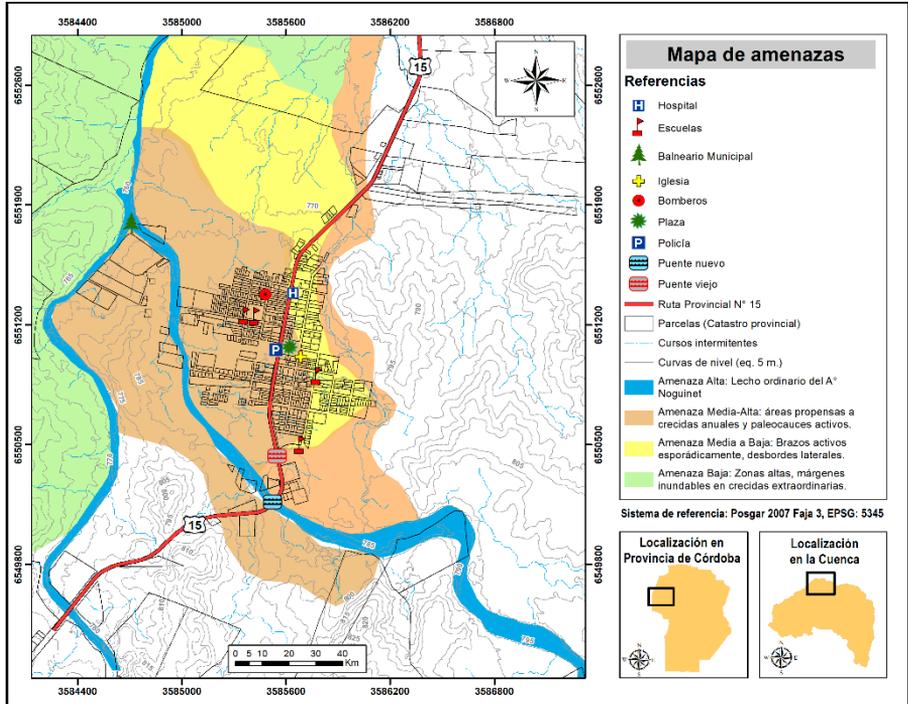


Figura 11: Mapa de amenazas en la localidad de San Carlos Minas. Se representan las zonas con distintos niveles de amenaza asociadas al arroyo Noguinet, categorizadas en alta, media-alta, media-baja y baja en función de la predisposición a inundaciones y desbordes laterales. Se identifican además como referencia, elementos clave de infraestructura, como hospitales, escuelas, rutas y puentes. Fuente: elaboración propia.

La Figura 12 muestra la expresión espacial de la vulnerabilidad social. El IVRC permitió agrupar las diferentes unidades espaciales según características de homogeneidad y repetitividad en los indicadores seleccionados. Los sectores que presentan condiciones de vulnerabilidad socioeconómica más desfavorables ($IRVC > 1$) están localizados al este, donde predominan las viviendas antiguas del casco histórico, en cercanías del paleocauce (866 personas, 8 hab. por km^2 , distribuidos en 280 hogares). Por el contrario, las zonas de menor vulnerabilidad se corresponden con sectores al norte y oeste, donde se han construido nuevas viviendas (445 personas, 5 hab. por km^2 , distribuidos en 135 hogares). Esto es una importante herramienta de

gestión ya que posibilita poner énfasis en las áreas más desfavorecidas, para así poner foco en mejorar la capacidad de la población para anticipar, sobrevivir, resistir y recuperarse ante el impacto de una amenaza natural.

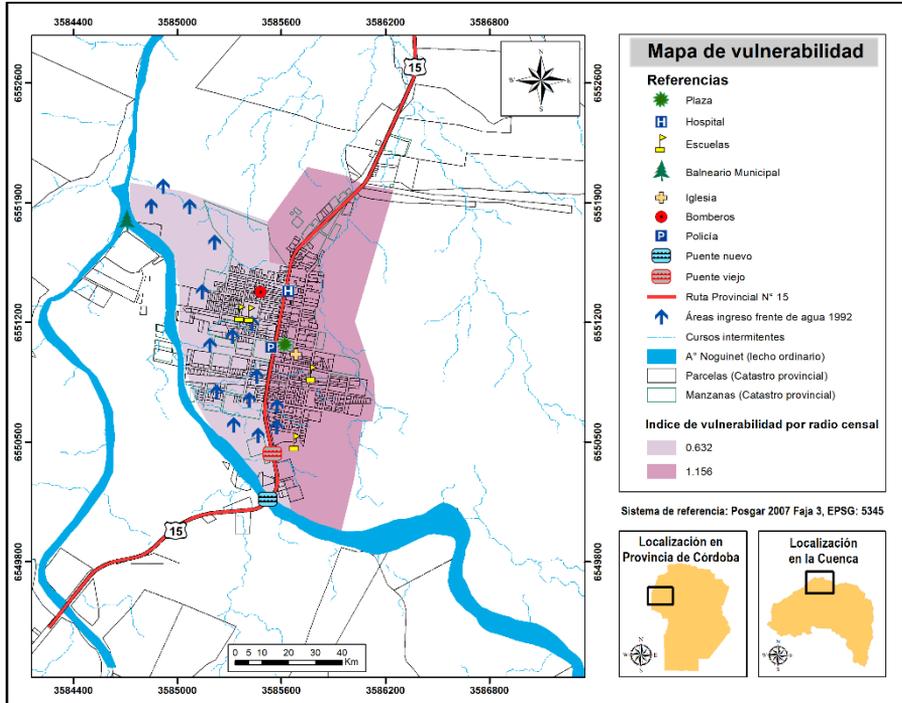


Figura 12: Mapa de vulnerabilidad en la localidad de San Carlos Minas, basado en el Índice de Riesgo de Vulnerabilidad Censal (IRVC) calculado a partir de datos del Censo 2010. Se representa la variabilidad espacial de la vulnerabilidad por radios censales y se incluyen elementos clave de infraestructura y zonas de ingreso del agua durante la inundación de 1992. Fuente: elaboración propia.

El enfoque histórico-geomorfológico fue el sustento para confeccionar el mapa de riesgo (Figura 13). La metodología tiene base en la geología ambiental y comprende a la amenaza por crecidas repentinas como un fenómeno dinámico, basándose en tres principios fundamentales: 1) la configuración actual de las geoformas fluviales y la distribución de los materiales aluvionales, 2) las geoformas de la llanura de inundación que controlan el flujo del agua (erosión, avulsión, desbordes, acortamiento de meandros, activación de paleocauces, entre otros) y 3) el registro histórico de la memoria colectiva local (Rydzewski, A. L. & Barbeito, O., 2021). Asimismo, el mapa de riesgo incorpora el análisis de la vulnerabilidad de la

población y la infraestructura, considerando factores socioeconómicos y la exposición de asentamientos urbanos en zonas de amenaza. Esta perspectiva integrada permite no solo identificar áreas propensas a inundaciones, sino también evaluar el impacto potencial sobre la población y sus medios de vida, contribuyendo a una planificación territorial más efectiva y preventiva.

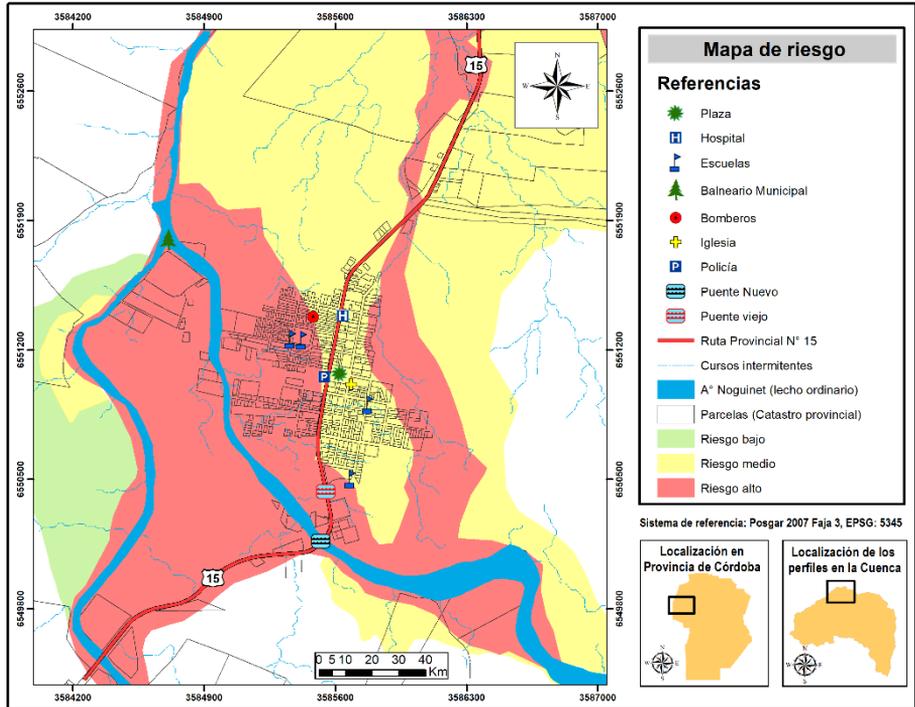


Figura 13: Mapa de riesgo de inundación en la localidad de San Carlos Minas. Se identifican tres niveles de riesgo (bajo, medio y alto) en función de la combinación de la amenaza de inundación y la vulnerabilidad de la población e infraestructura. Las áreas de mayor riesgo (en rojo) coinciden con zonas propensas a inundaciones y presencia de infraestructuras críticas. Fuente: elaboración propia.

El mapa resultante muestra los daños esperables en base a las características de la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos ante la manifestación de un evento similar a lo ocurrido en el año 1992. Se identifican tres niveles de riesgo: riesgo alto (rojo), áreas más propensas a inundaciones severas; riesgo medio (amarillo), zonas con susceptibilidad moderada a eventos de inundación y riesgo bajo (verde claro), regiones menos afectadas por una amenaza de inundación. Gran parte de la zona urbana densamente poblada se encuentra en riesgo alto y medio, lo que indica una alta exposición de la comunidad a inundaciones. Las zonas de mayor riesgo

están ubicadas en las inmediaciones del arroyo Noguinet, incluso las terrazas fluviales y el paleocauce. Particularmente en las terrazas, hay asentadas viviendas. El riesgo disminuye en zonas más altas y de mayor pendiente.

Es de destacar que el mapa muestra también la distribución de elementos urbanos clave, como la infraestructura crítica ubicada en zonas de riesgo, cuya función resulta esencial en situación de emergencia. El hospital se encuentra dentro del área de riesgo medio. Su localización es crucial para asistir de manera inmediata a los afectados. El cuartel de bomberos está ubicado dentro de una zona urbana, próxima a áreas de riesgo medio y alto. Dado su rol en la respuesta a emergencias, su vulnerabilidad ante inundaciones podría comprometer la capacidad de asistencia. La policía también está situada en zona urbana con riesgo medio, lo que puede afectar la seguridad y coordinación en caso de un evento. Varias escuelas están dentro de áreas de riesgo alto, lo que plantea un desafío para la seguridad de los estudiantes en eventos de crecidas. La iglesia, que suele servir como punto de reunión en emergencias, también se encuentra en zona urbana con riesgo medio. Por último, la ruta provincial N° 15 atraviesa áreas de riesgo medio y alto. Los puentes, están directamente sobre el río, por lo que su uso puede verse afectado en eventos de crecida extrema, y la conectividad de la localidad en situaciones de emergencia podría verse comprometida.

Conclusiones y lineamientos

Por las características geológicas e hidrológicas del área de estudio, se hizo evidente que las inundaciones repentinas, habituales en las áreas serranas de la Provincia de Córdoba, pueden tener un impacto significativo en la población de SCM. La inundación de 1992 fue reflejo de la ocurrencia de un desastre a nivel ambiental, social, psicológico y económico. Lo ocurrido denota la importancia de estudiar estos casos y tomar acción para incluir a la prevención y preparación como pilares fundamentales para la gestión del riesgo de inundación, más aún considerando que 30 años después del aluvión la población casi se ha duplicado.

Los mapas de riesgo de inundaciones son una herramienta importante para la toma de decisiones espaciales ya que permiten el análisis de las distribuciones y asociaciones de las áreas de amenaza y los niveles de vulnerabilidad. De esta forma, se puede conocer el nivel potencial de afectación ante el evento de inundación e identificar las áreas prioritarias de planificación con altos niveles de riesgo; lo que permite direccionar las medidas de gestión en la etapa de prevención y/o mitigación.

Como lineamientos para prevenir y mitigar los impactos potenciales del riesgo de inundación existentes en la localidad se recomiendan los siguientes:

1. Incorporar en la planificación el concepto de *gestión del riesgo* de inundación para minimizar el impacto en la población y los servicios esenciales. Si bien se implementaron algunas medidas de mitigación luego del evento de 1992 (por ejemplo, la construcción de un nuevo puente), es recomendable generar obras complementarias como la creación de sistemas de desagüe, mantenimiento y

limpieza de los márgenes del arroyo, como así también proyectar el crecimiento del pueblo hacia zonas de menor riesgo de inundación. Las áreas residenciales más cercanas al río y sus afluentes son las más vulnerables, requiriendo medidas de mitigación como diques, sistemas de drenaje o reubicación de viviendas de zonas críticas.

2. La infraestructura crítica, cuyo rol es fundamental durante una emergencia (hospitales, bomberos, policía) debería reforzar planes de evacuación y accesibilidad en eventos de inundación. Escuelas y edificios comunitarios en riesgo alto podrían requerir medidas preventivas, como mejoras en drenaje, reubicación y/o planes de contingencia.
3. Fortalecer el accionar de las instituciones mediante la capacitación para una mejor prevención y asistencia frente al riesgo de inundación. Esto es útil para incrementar la percepción del riesgo de inundación y las estrategias de autoprotección en la población, los agentes económicos y sociales.
4. Implementación de un sistema de alerta temprana en la cuenca alta, que también incluya la capacitación de la población en general en razón de un mejor manejo de la información en situaciones de amenaza de inundación.
5. Incorporar la temática del aluvión de 1992 en el espacio curricular de las escuelas (tanto a nivel primario como secundario) como un punto importante en la educación de los niños y adolescentes locales a través de charlas y talleres informativos que les permita aprehender y formarse en lo que implica la convivencia con el arroyo.
6. Fomentar a través de charlas abiertas la formación de organizaciones vecinales no gubernamentales para la coordinación y debate vecinal en conjunto con el gobierno municipal acerca de la problemática, con la finalidad integrar a la comunidad en la búsqueda de soluciones.

Agradecimientos

Este trabajo sintetiza la Tesis de grado de las alumnas Arias y Suárez, presentada en el Departamento de Geografía de la Facultad de Filosofía y Humanidades, Universidad Nacional de Córdoba. En este proceso de aprendizaje y construcción de conocimiento, queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a Lic. Romina Solorza, Directora de Tesis, por brindarnos valiosas herramientas y nuevos saberes con paciencia y vocación. Agradecemos profundamente al Prof. Osvaldo Barbeito (1947–2024), por la generosidad de su conocimiento y su entusiasmo con esta tesis. Agradecemos también al Departamento de Geografía y a cada uno de los profesores que nos formaron durante estos años. Finalmente, extendemos nuestra gratitud a todas las personas que participaron voluntariamente en la reconstrucción del aluvión. Su disposición para compartir experiencias personales y conocimientos sobre este evento trágico nos permitió comprender no solo su impacto en el territorio, sino también en sus vidas. Su generosidad y testimonio enriquecieron profundamente nuestro trabajo.

Referencias

- Aeroterra. (2021). El índice de vulnerabilidad por radio censal, en base a datos REDATAM y el Censo Nacional de Población y Viviendas, 2010.
- Ayala Carcedo, F. (1983). Análisis de los conceptos fundamentales de riesgos y aplicación a una definición de tipos de mapas de riesgos geológicos. *Geología y Minería*, 101(3), 456–467.
- Barbeito, O., Ambrosino, S., López, F., & Zamanillo, E. (1992). Estudio geomorfológico de la catástrofe de San Carlos Minas, provincia de Córdoba, República Argentina. *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. INCYTH-CIHRSA*, 1, 78–87.
- Barbeito, O., Ambrosino, S., Bertoni, J., & Paoli, C. U. (2004). Inundaciones severas por crecidas extremas. En J. C. Bertoni (Ed.), *Inundaciones urbanas en Argentina* (pp. 217–228). Córdoba, Argentina.
- Barbeito, O., Ambrosino, S., & Rydzewski, A. (2015). Vulnerabilidad expuesta: Desastre por inundación en la cuenca del Río Saldán, localidad Unquillo. *Seminario Internacional de Ciencias Sociales y Riesgo de Desastres en América Latina: Un encuentro inconcluso*, 15-17 de septiembre, Buenos Aires, Argentina.
- Beven, K. J., & Kirkby, M. J. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Science Bulletin*, 24(1), 43–69.
- Bonalumi, A., Martino, R., & Baldo, E. (1999). *Hoja Geológica 3166-IV, Villa Dolores. Provincias de Córdoba, La Rioja y San Luis*. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 250, 123 p.
- Burgos, V., & Maza, J. (2013). Modelación numérica del riesgo por inundaciones en El Rodeo, Catamarca. En *Libro de resúmenes y trabajos completos del 1º Congreso Internacional sobre riesgos de desastres y desarrollo territorial sostenible (CiRiDe)* (pp. 212–222). Universidad Nacional de Catamarca.
- Cardona Arboleda, O. (2018). *Gestión del riesgo de desastres: desde lo local a lo global. Un marco conceptual que encuentra sustento en una ciudad laboratorio*. Sociedad de Mejoras Públicas de Manizales, Universidad Nacional de Colombia.
- Carignano, C., Kröhlting, D., Degiovanni, S., & Cioccale, M. (2014). Geomorfología de la provincia de Córdoba (Argentina). En *Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino*.
- Censo Nacional de Población y Viviendas. (2010). Dirección General de Estadística y Censos (DGEyC), Córdoba. <https://estadistica.cba.gov.ar/conoce-cordoba/>
- Esper Angillieri, M. Y. (2007). El aluvión del 13 de febrero de 1944 en la Quebrada del Carrizal, Departamento Iglesia, Provincia de San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 62, 283–288.
- Esper Angillieri, M. Y., Perucca, L., & Vargas, N. (2017). Catastrophic flash flood triggered by an extreme rainfall event in El Rodeo village, January 2014, Northwestern Pampean Ranges of Argentina. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 99(1), 72–84. <https://doi.org/10.1080/04353676.2017.1289633>

- Marinelli, M. V., Bustos Revol, S., Viotto, S., Clemente, J. P., Benítez, J., Mari, N. A., Scavuzzo, C. M., & Argañaraz, J. P. (2019). Elaboración de la base de datos de incendios 1987-2018 para las Sierras de Córdoba mediante imágenes Landsat. *IV Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Ambiental*, Florencio Varela, Argentina, 2-5 diciembre.
- Natenzon, C. E. (2014). El riesgo como construcción social: Vulnerabilidad y amenaza en territorios en transformación. En G. A. Martínez & J. M. Delfini (Eds.), *Ciencia y técnica para la gestión del riesgo* (pp. 45–62). Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva.
- NWS/NOAA. (2014). *Glossary*. [Citado el 20/12/2023]. Disponible en: <https://www.noaa.gov/jetstream/appendix/weather-glossary>
- Principi, N. (2022). Cartografía de riesgo a inundaciones como herramienta de apoyo a la planificación territorial. Aplicación a la ciudad de Luján (Argentina). *Geográfica Digital*, 19(37). <https://doi.org/10.30972/geo.19375202>
- Riley, S., Degloria, S., & Elliot, S. D. (1999). A Terrain Ruggedness Index that Quantifies Topographic Heterogeneity. *International Journal of Science*, 5, 23–27.
- Rydzewski, A. L., Moya, D., & Lanfranco, M. (2016). Aplicación del criterio geomorfológico para evaluación y zonificación de la amenaza por crecientes repentinas. *3° Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos/IFRH 2016*, Ezeiza, Argentina.
- Rydzewski, A., & Barbeito, O. (2021). Desconociendo el peligro: inundabilidad en una paleoforma fluvial que afecta usos de suelo residencial e industrial. Villa Parque Santa Ana, Córdoba, Argentina. *Revista Geográfica Digital*, 1(36), 86-101. <https://doi.org/10.30972/geo.18365216>
- Seara, C. (1993). Aspectos geomorfológicos que intervinieron en la catástrofe de San Carlos Minas, departamento Minas, provincia de Córdoba, República Argentina. *4to Encuentro de Geógrafos de América Latina*, Mérida, Venezuela.
- Segemar. (2014). *Informe preliminar sobre los aluviones ocurridos el 23 de enero 2014 en las ciudades catamarqueñas de El Rodeo y Siján*. Buenos Aires.
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2023). *Mapa promedio de precipitaciones 12 meses (marzo 2022/ febrero 2023)*. Disponible en: <https://www.smn.gov.ar/clima/vigilancia-mapas>
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2023). *El fenómeno de El Niño Oscilación Sur. Informe actualizado al 1/9/2023*. Disponible en: https://www.smn.gov.ar/sites/default/files/elniño23_09.pdf
- Solsona Argensola, G. (Ed.). (2005). *Historias populares cordobesas: San Carlos Minas*. Córdoba, Argentina: Talleres Gráficos de José Solsona Argensola.
- Weiss, A. (2001). Topographic position and landforms analysis. *Poster Presentation, ESRI User Conference*, San Diego, CA.