




Datri, L. A., Kraser, M., Campos, L., Robertazzi, M., Lopez, H., Canay, T., Boyero, L. (2022). Aplicación de los sistemas de información geográfica en la pericia ambiental: el caso del área natural protegida urbana Bardas Norte, Neuquén (Patagonia Argentina), *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 5–23. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.743>

APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA PERICIA AMBIENTAL: EL CASO DEL ÁREA NATURAL PROTEGIDA URBANA BARDAS NORTE, NEUQUÉN (PATAGONIA ARGENTINA)

^aLeonardo Ariel Datri , ^bMaira Kraser, ^cLuciana Campos, ^dMario Robertazzi, ^eHernán Lopez , ^fTamara Canay, ^gLuciano Boyero 

Laboratorio de Ecología de Bordes. Universidad de Flores
Mengele 8, 8324 Cipolletti. Río Negro, Argentina.

^aleodatri@uflouniversidad.edu.ar, ^bmairavkraser@gmail.com, ^cluciana.campos@uflouniversidad.edu.ar,
^dmario.robertazzi@uflouniversidad.edu.ar, ^ehernan.lopez@uflouniversidad.edu.ar,
^ftamara.canay@uflouniversidad.edu.ar, ^gluciano.boyero@uflouniversidad.edu.ar

RESUMEN

Las pericias ambientales demandan del análisis de diversas variables que pueden relacionarse y vincularse entre sí como un sistema complejo. El objetivo del presente trabajo es aplicar un método basado en Sistemas de Información Geográfica (SIG) con el fin de analizar variables ambientales en un caso de pericia ambiental requerido por la justicia de la provincia de Neuquén (Argentina). Se incorporaron capas de información de humedad del suelo, cobertura vegetal, topografía, hidrología, canales viales urbanos y registros catastrales, que permitieron estimar el riesgo pluvioaluvional, materia de la pericia solicitada por la justicia, y la influencia de acciones antrópicas sobre estas. Adicionalmente se realizó un análisis de la funcionalidad de los servicios ecosistémicos del área de estudio, dada la historia del sitio designada como área natural urbana protegida. Se completó el estudio con un relevamiento de la cobertura vegetal y los movimientos de suelos antrópicos producidos en el área. Estos datos fueron vectorizados y representados en mapas de cobertura. A partir de la integración de variables, el método permitió analizar el impacto ambiental causado, con particular efecto sobre las condiciones de riesgo. Así mismo, se demostró el grado de modificación de la superficie del área de estudio, de las cuencas hídricas y su cobertura vegetal por acción antrópica, y el consecuente incremento de riesgos. El sistema utilizado ha mostrado ser un método objetivo de análisis de datos multidisciplinarios siendo una herramienta valiosa en actividades de peritajes ambientales a los fines de asistir al sistema judicial.

Palabras clave: pericia ambiental; servicio ecosistémico; riesgo pluvioaluvional

Datri, L. A., Krasner, M., Campos, L., Robertazzi, M., Lopez, H., Canay, T., Boyero, L. (2022). Aplicación de los sistemas de información geográfica en la pericia ambiental: el caso del área natural protegida urbana Bardas Norte, Neuquén (Patagonia Argentina), *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 5–23. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.743>

APPLICATION OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS IN ENVIRONMENTAL EXPERTISE: THE CASE OF THE NATURAL PROTECTED URBAN AREA BARDAS NORTE, NEUQUÉN (PATAGONIA, ARGENTINA)

ABSTRACT

Environmental judicial expertise requires the analysis of variables that can be related and linked together as a complex system. The objective of this work is to apply a method based on Geographic Information Systems (GIS) to analyze environmental variables for a case of environmental expertise required by the court of the province of Neuquén (Argentina). Various layers of information were incorporated; such as soil moisture, vegetation cover, topography, hydrology, urban road channels and cadastral records. This data integration allowed to estimate the rainfall risk, subject of the expertise requested by the court, and the influence of anthropic actions on the territory. Additionally, an analysis of the ecosystem services of the study area was carried out, given the history of the site designated as a protected natural urban area. The study was completed with a survey of the vegetation cover and soil movements. These data were vectorized and represented on the coverage maps. Through the integration of variables, the method allows to analyze the environmental impact caused, with particular effect on the risk conditions. Likewise, the degree of modification of the extent of the study area, of the water basins and its vegetation cover due to anthropic action, and the consequent increase in risks were shown. The applied system has demonstrated to be an objective method for analyzing multidisciplinary data, performing as a valuable tool in environmental expert activities in order to assist the judicial system.

Keywords: environmental expertise; ecosystem service; rainwater hazard

1. Introducción

El incremento histórico de la capacidad de almacenar y procesar información, permitió desarrollar tecnología adecuada para el procesamiento de datos en un campo como el ambiental, que por su complejidad requería del manejo de muchas variables interconectadas entre sí (Chuvieco, 2010, García, 2006, Schuschny, 1998, Upton, G. & Fingleton, B. 1985). Al mismo tiempo se registraron avances y desarrollos en la tecnología de la obtención de datos por teledetección como satélites, sensores y drones. El momento histórico actual comprende un desafío para el cuerpo de peritos ambientales de los sistemas judiciales de todo el mundo, en un contexto de degradación y aumento de la conflictividad ambiental. El desarrollo reciente del análisis cuantitativo y métricas de paisajes, fundó las bases de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) modernos que posibilitan almacenar y procesar información judicial con una expresión espacial definida, que requiere una delimitación y un dimensionamiento de la escala de los problemas como consecuencia de su complejidad y alcances territoriales (Buzai & García de León, 2015).

De esta manera se pueden desarrollar nuevos conocimientos conectando datos que forman patrones, relaciones y situaciones determinadas en un contexto geográfico, como pueden ser objetos espaciales sujetos a demandas de justicia ambiental (Moreno Jiménez *et al.* 2012; Kamp *et al.* 2003) y pericias judiciales. Los SIG se han convertido en las últimas décadas en una herramienta central para usuarios que requieren tomar decisiones de políticas territoriales y ambientales, lo que incluye a los sistemas de justicia, siempre que el objeto en litigio posea una expresión espacial (Moreno Jiménez *et al.* 2014; Clark *et al.* 2014; Zwickl *et al.*

Datri, L. A., Kraser, M., Campos, L., Robertazzi, M., Lopez, H., Canay, T., Boyero, L. (2022). Aplicación de los sistemas de información geográfica en la pericia ambiental: el caso del área natural protegida urbana Bardas Norte, Neuquén (Patagonia Argentina), *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 5–23. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.743>

2014; Mitchell & Norman, 2012). En este caso se representa un modelo de aplicación de un SIG en una pericia encomendada por la justicia de la Provincia de Neuquén (Argentina) para resolver una demanda ambiental por el riesgo y los impactos que se producen en un Área Natural Protegida Urbana (ANPU).

El concepto de justicia ambiental se está instalando en la sociedad actual a partir de la preocupación general sobre el ambiente y sus efectos en la degradación en la vida de las personas que van desde problemas de convivencia cotidianos a peligros y catástrofes severas. La idea avanza en movimientos sociales, conflictos judiciales y la promoción de nuevas normas ambientales. En este contexto la ciencia ofrece investigaciones que aportan conocimiento teórico, metodológico y empírico para la resolución de estos conflictos que responden a variables sociales, políticas y judiciales (Moreno Jiménez, 2015, Martínez Alier, 2008).

El sistema ambiental objeto de esta pericia está definido por usos del suelo establecidos por normas municipales sobre un sistema natural denominado regionalmente “bardas” (talud de los valles fluviales del norte de la Patagonia). Los impactos denunciados en el expediente, se encuentran bajo una categoría de ANPU denominada Parque Bardas Norte (Ordenanza N° 4538/90). De allí se desprenden acciones que constituyen impactos ambientales que originan el litigio llevado adelante por el Defensor del Pueblo de la ciudad de Neuquén, en representación de vecinos afectados por sus consecuencias. A los fines de dar respuesta a la providencia judicial se planteó una estrategia de investigación organizada en un equipo interdisciplinario conformado de acuerdo a las variables representativas del problema. Para ello, previamente se planteó la pregunta: ¿cuáles son los alcances territoriales del riesgo ambiental según la dimensión espacial y ambiental de los usos y los impactos producidos sobre el ANPU? En función de este problema y los antecedentes reunidos fue necesario abordar la cuestión sobre los límites y la norma que regula el uso del suelo. El ANPU afectada fue creada como parte de un proceso por el cual primero, se estableció un bosque protector artificial en la cabecera de microcuencas (bosque Antonini) como forma de reducir la erosión hídrica y el riesgo aluvional sobre la trama urbana en la vertiente del valle del río Limay. Luego se creó el ANPU, incluida una zona de barda con su vegetación natural, pero sobre la vertiente del río Neuquén.

En este sentido el marco teórico se completa con el concepto de servicio ecosistémico (Jullian, 2018; Balvanera *et al.* 2012) que el área en cuestión provee en tanto función reguladora natural de la escorrentía del agua en un contexto de cambio climático e incremento de la intensidad de las precipitaciones (Vásquez, 2016; IPCC, 2014). La conexión entre los ecosistemas y el bienestar humano, es bien graficada en el modelo de Haines-Young y Potschin (2010) y su incorporación en el planeamiento urbano contemporáneo (Börgstrom *et al.* 2013). Por esta razón se formuló la hipótesis de que la valoración de los servicios ecosistémicos de las microcuencas que drenan hacia la planicie de inundación definen la dimensión ambiental de los impactos y en consecuencia la ponderación del riesgo para los habitantes localizados aguas abajo.

2. Materiales, datos y métodos

2.1. El caso de estudio. El riesgo pluvioaluvional asociado a las actividades de un Área Natural Protegida Urbana

Datri, L. A., Krasner, M., Campos, L., Robertazzi, M., Lopez, H., Canay, T., Boyero, L. (2022). Aplicación de los sistemas de información geográfica en la pericia ambiental: el caso del área natural protegida urbana Bardas Norte, Neuquén (Patagonia Argentina), *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 5–23. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.743>

Las variables afectadas dentro de los límites del parque, incluidos sus límites, determinan la capacidad resiliente del sistema ambiental de proveer protección de la erosión y los procesos hidrológicos que afectan a los habitantes localizados aguas debajo de las bardas. Por ello, el abordaje espacio - temporal de cada una determina la eficacia de las acciones de mitigación y manejo del riesgo que configuran. Todas estas variables fueron resumidas en un SIG que articuló la metodología que posibilitó abordar al objeto pericial como sistema ambiental complejo, al mismo tiempo que se dio respuesta rápida y eficaz para dirimir el enfoque y los datos necesarios para asistir a la conformación de la sentencia judicial.

A los fines de dar respuesta a la solicitud de la justicia de evaluar la pertinencia de informes pluvioaluvionales presentados por la municipalidad de la ciudad de Neuquén en un contexto territorial y espacial definido, se procedió a organizar las variables y consideraciones de riesgos e impactos contenidos en el proceso. De esta manera se pueden establecer relaciones que permiten evaluar la dimensión del impacto ambiental de las acciones mencionadas en el expediente, sus efectos sobre el riesgo ambiental, la vulnerabilidad de la población y las medidas tomadas o propuestas en un contexto de un ANPU. A requerimiento de una providencia judicial, se analiza el riesgo ambiental de un sector urbano ubicado sobre una planicie de inundación, aguas abajo del drenaje de las microcuencas que atraviesan las bardas, afectados por las acciones cuestionadas en el litigio (deforestación, modificación de cauces de drenaje natural y modificaciones de los límites del ANPU).

2.1.1. Delimitación espacial

El área objeto de la pericia está comprendida por un sistema cuyas variables abarcan dinámicas que exceden el área de protección del ANPU. Por esta razón se estimó una dimensión de los procesos que definen el riesgo ambiental pluvioaluvional para la población afectada, según los antecedentes del expediente judicial. De esta manera el área quedó comprendida por el área de protección efectiva de una superficie de drenaje cuya dimensión espacial abarca una zona del sector noreste de la ciudad de Neuquén. El ANPU comprende aproximadamente la mitad de la superficie de las cuencas (Figura 1). Así se pudo estimar la contribución del área a la protección de los servicios ecosistémicos de regulación para la población ubicada aguas abajo del ANPU. Al mismo tiempo se pudo evaluar el efecto de los impactos ambientales considerados en el expediente, en función de esos servicios ecosistémicos.

Como resultado general del análisis de las capas SIG se entregaron una serie de mapas y datos con una identificación de perturbaciones sobre las cuencas que desaguan especialmente al sector urbanizado aguas abajo del ANPU (denominado Rincón de Emilio).

La cobertura vegetal en general es muy baja, pero con zonas densamente cubiertas en suelos mal drenados y humedales artificiales producidos por infiltraciones provenientes de las altas cuencas. La vegetación presente en el área protegida es característica de la formación florística denominada Monte Austral que presenta características xerofíticas, adaptadas a alta insolación y escaso uso del agua. Las especies de plantas vasculares se agrupan en diversas comunidades establecidas por las condiciones ambientales como humedad y tipo de suelo. Mediante esta agrupación se pueden definir comunidades homogéneas de un paisaje cuya heterogeneidad está dada por las formaciones: Típica de Barda, Palustre o humedal, Salitral y Arenal.

Datri, L. A., Krasner, M., Campos, L., Robertazzi, M., Lopez, H., Canay, T., Boyero, L. (2022). Aplicación de los sistemas de información geográfica en la pericia ambiental: el caso del área natural protegida urbana Bardas Norte, Neuquén (Patagonia Argentina), *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 5–23. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.743>

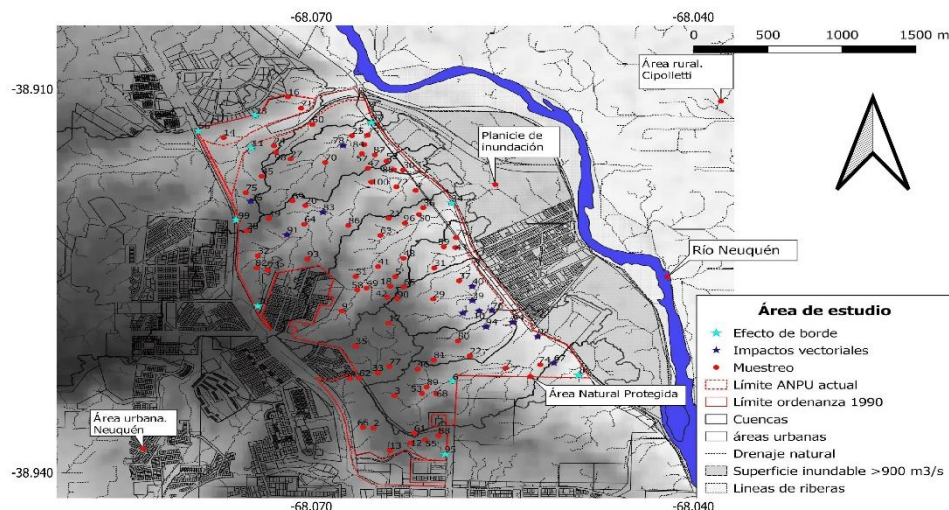


Figura 1. Estado de los límites del ANPU Bardas Norte desde su creación y los límites estimados en el presente y objeto de análisis de este peritaje. En línea punteada queda establecido el límite físico del objeto de pericia.

Fte: Elaboración propia con datos de campo, Ordenanza 4538/90 y Dirección de Catastro de la Provincia de Neuquén.

2.1.2. Delimitación temporal

El relevamiento tanto de datos espectrales como de variables comprendió los antecedentes reunidos por el expediente judicial entre 2016 y 2020. Por esta razón se evaluó la situación constituida en ese periodo de tiempo y se contrastó con vectores de modificaciones producidos dentro del ANPU al inicio del proceso judicial y los que ocurrieron durante su desarrollo. A los fines de evaluar la dinámica de las cuencas se incorporaron datos de imágenes del satélite Sentinel-2 previas y posteriores a un aluvión ocurrido en 2016 que motivó, en parte, la demanda. De esta manera se obtuvo una medida del funcionamiento y la efectividad del sistema natural como regulador de la escorrentía del agua. El análisis de series temporales de datos estacionales de cada año permitió evaluar la dinámica producida en el transcurso del proceso, dadas las alternativas del expediente en que se documentan importantes cambios a lo largo de ese tiempo.

2.2. Los datos

Del análisis del expediente judicial se desprenden las variables que definen el problema resumidas para su abordaje (Tabla 1) en capas de información ráster y vectorial, según una expresión espacial acotada a los límites del ANPU, pero también a una delimitación de sus dinámicas ambientales. De esta manera queda delimitada un área objeto de pericia (Figura 1) definida por cuencas hidrográficas, la planicie de inundación del río Neuquén, la trama urbana circundante al ANPU y el riesgo ambiental. De estos componentes se desprenden las variables de interés para la evaluación del riesgo ambiental establecidas por la red de drenaje, la topografía (denominada regionalmente bardas), la superficie inundable, la cobertura

Datri, L. A., Krasner, M., Campos, L., Robertazzi, M., Lopez, H., Canay, T., Boyero, L. (2022). Aplicación de los sistemas de información geográfica en la pericia ambiental: el caso del área natural protegida urbana Bardas Norte, Neuquén (Patagonia Argentina), *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 5–23. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.743>

vegetal, humedad del suelo, los impactos detectados (como usos del suelo del ANPU y efecto de borde), población amenazada y los canales viales urbanos.

Tabla 1. Componentes y variables consideradas en la construcción del SIG

Componente	Variable	Datos	ID	Capa
Cuencas hidrográficas	Red de drenaje	Modelo Digital de Elevaciones (MDE) ALOS PALSAR resolución 12x12 m ² y MDE relevamiento aerofotogramétrico (IGN) resolución 5x5 m ²	1	Mapa de microcuencas y red de drenaje
	Topografía	Modelo Digital de Elevaciones ALOS PALSAR resolución 12x12 m ²		
	Cobertura vegetal	Series temporales de bandas visibles e infrarrojo Sentinel-2 (2016-2020)	2	Mapa de variabilidad de cobertura vegetal
	Saturación de agua en suelo	Series temporales de bandas visibles e infrarrojo Sentinel y relevamiento de campo (2016-2020)	3	Mapa de variabilidad de humedad en el suelo
Planicie de inundación	Superficie inundable	Cotas de inundaciones (Fuente: AIC)	4	Mapa de vulnerabilidad
	Población amenazada	Cotas de inundaciones (Fuente AIC) y Datos Catastrales (Fuente: Dirección de Catastro de la Provincia de Neuquén)		
Trama urbana	Canales viales urbanos	Canales Viales Urbanos (CVU) (Fuente Dirección Provincial de Catastro) y vectorización en base a datos de relevamiento de campo.	5	Mapa de CVU
	Efecto de borde	Vectorización en base a Ordenanza N° 4538/90 y datos de campo (Buffer=30m)	6	Mapa de impactos
	Usos del suelo (impactos del ANPU)	Vectorización en base a datos de campo y 5		
Riesgo	Amenazas	Integración de 1 y 4	7	Mapa de evacuación y

Datri, L. A., Krasner, M., Campos, L., Robertazzi, M., Lopez, H., Canay, T., Boyero, L. (2022). Aplicación de los sistemas de información geográfica en la pericia ambiental: el caso del área natural protegida urbana Bardas Norte, Neuquén (Patagonia Argentina), *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 5–23. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.743>

ambiental	Rutas de evacuación Integración de 1, 4 y 5 y riesgos	riesgo
-----------	---	--------

2.3. Materiales y técnicas de análisis.

El estudio de las cuencas se realizó en base a las especificaciones de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Neuquén y el Manual para la Elaboración de Mapas de Riesgo del Ministerio de Seguridad de la Nación (Renda *et al.* 2017). Las variables que las caracterizan se organizaron en un SIG que permitió identificarlas y relacionarlas entre sí (Fuenzalida, 2015; Cañada *et al.* 2010; Cañada 2006). De esta manera se pudieron establecer relaciones que permiten evaluar la dimensión del impacto ambiental de las acciones mencionadas en el expediente, sus efectos sobre el riesgo ambiental, la vulnerabilidad de la población y las medidas tomadas o propuestas en un contexto de un ANPU. Para esto se caracterizaron la geomorfología de las cuencas y sus efectos en las posibilidades de manejo del riesgo para los habitantes en escenarios de inundación del río y procesos pluvioaluvionales en la barda y vulnerabilidad en forma simultánea. La información fue almacenada y procesada por medio del Programa QGIS 3.10.6. La identificación, delimitación y estimación de las métricas de las cuencas se realizó con las herramientas del complemento Grass y las correcciones estimadas con información de campo.

Complementariamente, con la herramienta *Least Cost Path* del mismo programa (<https://plugins.qgis.org/plugins/leastcostpath/>) se hizo un análisis de rutas seguras de evacuación pedestre en escenarios extremos de aluvión (proveniente de aguas de avenidas pluviales de las bardas) e inundación (de la planicie inundable del río Neuquén) combinados. Este algoritmo permitió encontrar la ruta de menor costo con puntos y ráster de costo dados a partir del MDE, las pendientes y puntos relevados sobre el terreno entre zonas sobreelevadas seguras y zonas urbanizadas alejadas de estos puntos. De esta manera fue posible evaluar las implicancias de los impactos sobre el ANPU, considerando que estas rutas de evacuación y puntos de encuentro representan un servicio ecosistémico de la topografía natural para la población de la zona en casos de amenaza.

Por medio del algoritmo “Puntos aleatorios en la extensión” del mismo programa se obtuvieron 100 puntos al azar dentro de los límites efectivos del ANPU, con el fin de obtener una medida de la superficie alcanzada por las modificaciones del ANPU y el efecto de borde, dada su dimensión y forma. Se consideraron solo los impactos definidos por acciones dentro de la superficie efectiva y posible de conservación, los cuales fueron vectorizados y validados a campo. De esta manera se realizaron estimaciones relativas de impacto, que permitieron ponderar espacialmente los efectos sobre el ecosistema natural y sus aspectos funcionales de interés para la mitigación del riesgo ambiental más allá de los conflictos administrativos que impone un límite tan cambiante.

Se procesaron nueve imágenes del satélite Sentinel-2 que conformaron una serie temporal y a partir de las cuales se estimaron los índices de vegetación (NDVI) para deducir cobertura vegetal y la humedad del suelo, con el índice NDII (Chuvieco, 2010) también conocido como NDMI (Tabla 2). Se construyeron cuatro capas de información resultantes de dos subseries estacionales de invierno y verano para cobertura vegetal y para la humedad del suelo por cada año y estación (verano – invierno) de las cuales se obtuvo la desviación estándar de los índices para los 100 puntos obtenidos del muestreo al azar. Luego por medio de clasificación no supervisada (algoritmo k-means, programa SOPI), se obtuvieron mapas de variaciones

Datri, L. A., Krasner, M., Campos, L., Robertazzi, M., Lopez, H., Canay, T., Boyero, L. (2022). Aplicación de los sistemas de información geográfica en la pericia ambiental: el caso del área natural protegida urbana Bardas Norte, Neuquén (Patagonia Argentina), *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 5–23. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.743>

estacionales y temporales (Figura 3). De esta manera se obtuvo una medida de las variaciones producidas en el periodo de tiempo que abarcó el proceso judicial desde 2016 hasta el presente, incluido un evento climático extraordinario producido el 24 de octubre de 2016, y se evaluaron con los vectores de todos los impactos detectados en el campo, por distintos movimientos de suelo no compatibles con los usos de un ANPU. Para estos fines el procesamiento estadístico se realizó con el programa Infostat (Figura 4).

Tabla 2. Componentes, variables y procesos considerados en la construcción de capas de información y variabilidad de cobertura vegetal y humedad del suelo

Componentes	Variable	Datos	Procesos	Capas
Vegetación y humedad del suelo	Cobertura vegetal en invierno	Imágenes Sentinel-2: 6.8.2016 1.8.2017 2.7.2018 2.7.2019	NDVI – Desv. Estándar Clasificación	Capa de variación de cobertura vegetal invierno Capa de variación de cobertura vegetal verano
	Cobertura vegetal en verano	Imágenes Sentinel-2: 6.11.2016 13.1.2017 28.1.2018 3.1.2019 23.1.2020		
Humedad del suelo	en invierno	Imágenes Sentinel-2: 6.8.2016 1.8.2017 2.7.2018 2.7.2019	NDMI – Desv. Estándar Clasificación	Capa variación de la humedad del suelo en invierno
	en verano	Imágenes Sentinel-2: 6.11.2016 13.1.2017 28.1.2018 3.1.2019 23.1.2020	NDMI – Desv. Estándar Clasificación	Capa variación de la humedad del suelo en verano

3. Descripción y análisis de resultados

Se identificaron 11 cuencas relacionadas a los límites del ANPU con el objetivo de analizar el drenaje general de la zona que interfieren en la zona de estudio. Las cuencas C01, C02, C03, C04, C05, C06 y C07 fueron tomadas de estudios previos y agregando tres cuencas mayores al Norte del área de estudio.

Datri, L. A., Krasner, M., Campos, L., Robertazzi, M., Lopez, H., Canay, T., Boyero, L. (2022). Aplicación de los sistemas de información geográfica en la pericia ambiental: el caso del área natural protegida urbana Bardas Norte, Neuquén (Patagonia Argentina), *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 5–23. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.743>

Las cuencas bajo estudio presentan una forma alargada y ovalada por lo que están menos sujetas a crecientes que una de igual área. Los cauces que las componen se encuentran bien definidos, con procesos de erosión sobre el pedimento e identificables en las imágenes satelitales Sentinel-2 utilizadas. Los procesos erosivos de las cuencas son acentuados por suelos poco consistentes dejando en algunos casos al descubierto la roca de base. Los cauces sobre los sectores bajos, cambian hacia cauces difusos debido a un cambio brusco de pendiente. Las cuencas presentan fuertes pendientes, con valores promedio próximos al 30 %, con una pendiente mínima del 1 % y cambios originados en movimientos de suelos, canalizaciones y sistemas de azudes (Figura 2).

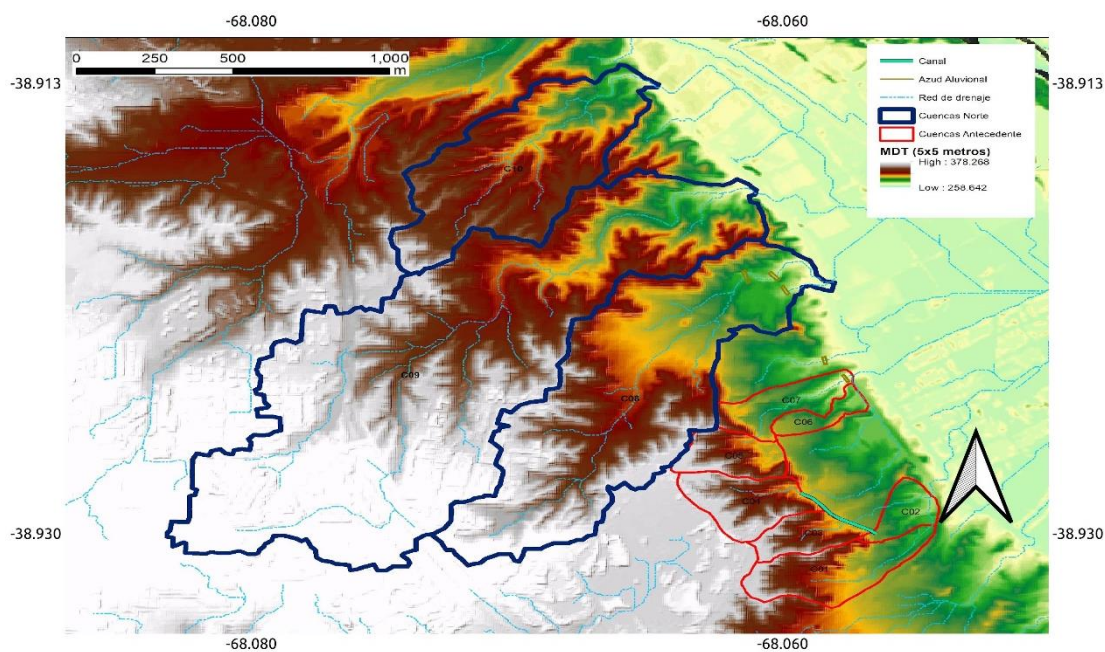


Figura 2. (Mapa ID 1) Microcuencas y red de drenaje. Incluye canal de desvío y azudes de la escorrentía generados por la cuenca C03 y C04

Fte. Elaboración propia sobre el MDE

La variabilidad a través del tiempo no ha afectado a estas formaciones, aunque se registraron cambios en las series temporales que abarcan el período de tramitación de la causa judicial (2016–2020). De esta manera se registraron cambios significativos entre estaciones y particularmente en las zonas más dinámicas como cauces y taludes (Figura 3). Las zonas perturbadas por diversas acciones antrópicas se mantuvieron estables, aunque con muy baja cobertura a lo largo del proceso legal (Figura 4). La humedad del suelo fluctúa asociada a la cobertura vegetal, sin embargo, se evidencian cambios en zonas próximas a los límites del ANPU (Figura 4).

Datri, L. A., Krasner, M., Campos, L., Robertazzi, M., Lopez, H., Canay, T., Boyero, L. (2022). Aplicación de los sistemas de información geográfica en la pericia ambiental: el caso del área natural protegida urbana Bardas Norte, Neuquén (Patagonia Argentina), *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 5–23. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.743>

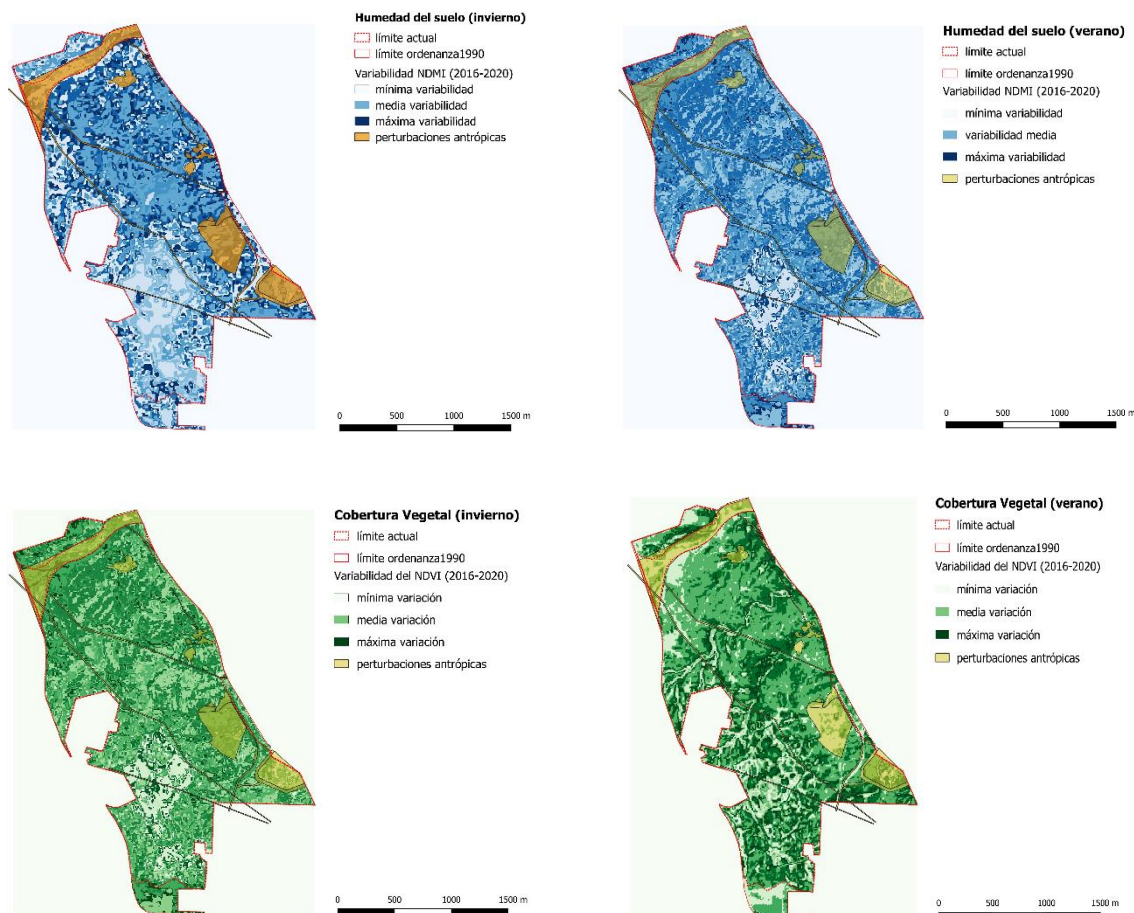


Figura 3. (Mapa ID 2 y 3) Mapas obtenidos de series temporales (2016-2020) de Sentinel-2 de la variación de los índices verdes de vegetación (NDVI) de invierno y verano y de humedad del suelo (NDMI).

Fte. Elaboración propia con datos de perturbaciones de origen antrópico de campo y vectorizados.

La población afectada por las amenazas se encuentra aguas abajo de las cuencas (Figura 5). Se detectó que los terraplenes construidos en ruta de interconexión entre Neuquén y Cipolletti, junto con la defensa del río Neuquén configura un cierre para el libre escurrimiento de las cuencas estudiadas. Esto no solo representa una amenaza, sino que pondera la posición estratégica del área protegida como reguladora del escurrimiento de agua y potenciales aluviones y hace más vulnerable a la población asentada sobre la planicie de inundación del río Neuquén.

Datri, L. A., Krasner, M., Campos, L., Robertazzi, M., Lopez, H., Canay, T., Boyero, L. (2022). Aplicación de los sistemas de información geográfica en la pericia ambiental: el caso del área natural protegida urbana Bardas Norte, Neuquén (Patagonia Argentina), *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 5–23. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.743>

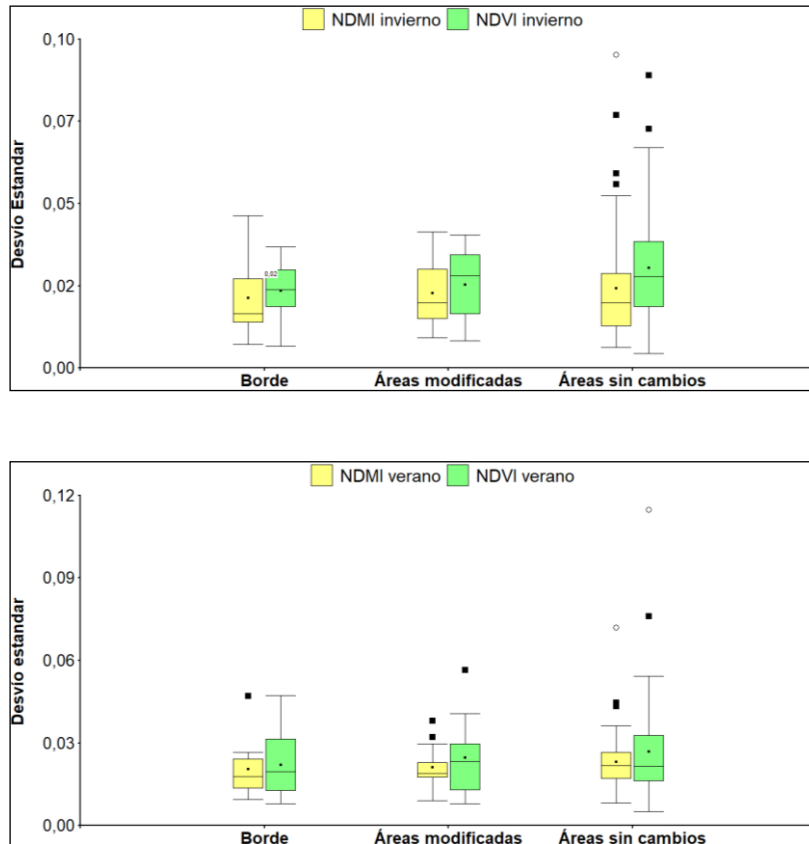


Figura 4. Variaciones de los índices NDVI y NDMI en serie temporal 2016 – 2020 establecida por el desvío estándar de 100 puntos tomados al azar y clasificados según modificaciones del suelo.

Los Canales Viales Urbanos (CVU) representan una de las superficies más importantes que afectan al área por la deforestación completa de sus recorridos. Entre ellos se detectaron distintos tipos de CVU entre los que se diferencian los formales de los informales. Entre los formales se encuentran calles, paseos, avenidas y caminos de servicio (infraestructura de energía eléctrica y gas). Los informales están comprendidos por senderos peatonales, huellas y hasta caminos bien demarcados. Pocos de ellos poseen una conectividad activa a los CVU de la trama urbana (Figura 6).

Datri, L. A., Krasner, M., Campos, L., Robertazzi, M., Lopez, H., Canay, T., Boyero, L. (2022). Aplicación de los sistemas de información geográfica en la pericia ambiental: el caso del área natural protegida urbana Bardas Norte, Neuquén (Patagonia Argentina), *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 5–23. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.743>

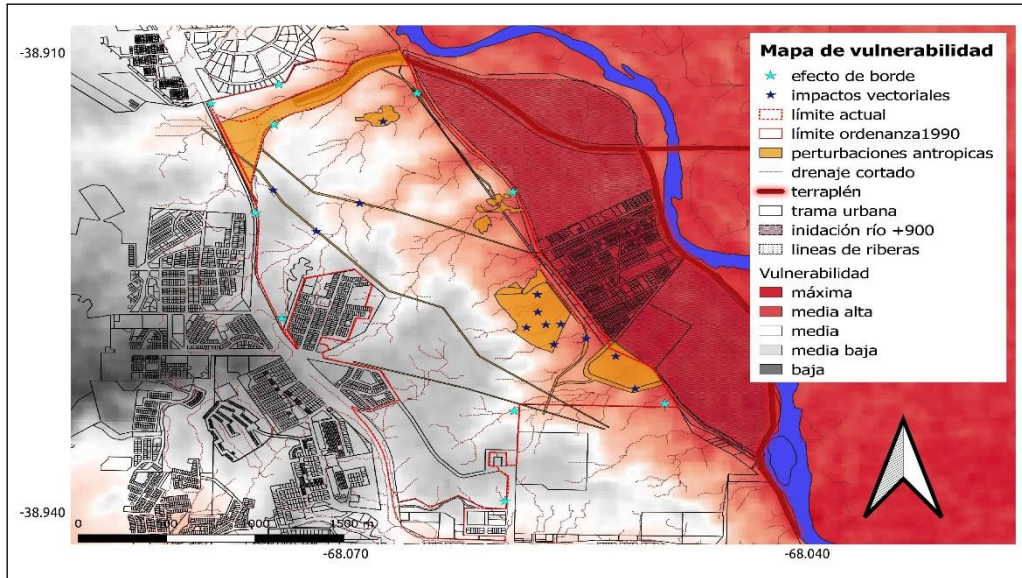


Figura 5. (Mapa ID 4) Vulnerabilidad de la población asentada aguas abajo de las cuencas sobre la planicie de inundación de del río Neuquén.

Fte. Elaboración propia sobre integración de datos ráster y catastrales (vectores) de la Dirección de Estadísticas y Censos de la Provincia de Neuquén

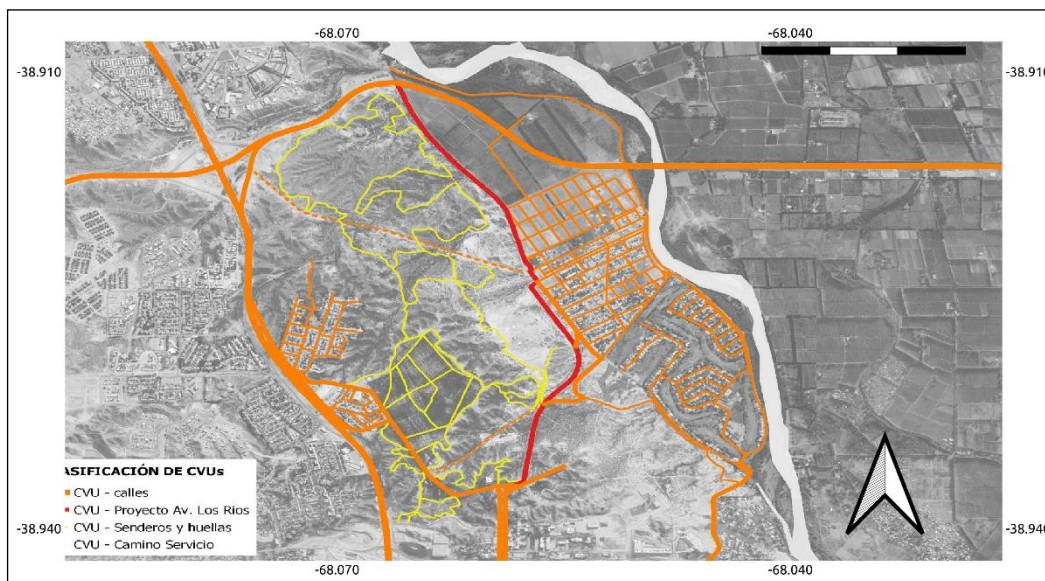


Figura 6. (Mapa ID 5) Relación de los CVU con el área natural protegida y sus funciones en los contextos urbanos y ecológicos.

Fte: elaboración propia sobre integración de datos ráster, catastrales (vectores) de la Dirección de Estadísticas y Censos de la Provincia de Neuquén y registro de campo.

Datri, L. A., Krasner, M., Campos, L., Robertazzi, M., Lopez, H., Canay, T., Boyero, L. (2022). Aplicación de los sistemas de información geográfica en la pericia ambiental: el caso del área natural protegida urbana Bardas Norte, Neuquén (Patagonia Argentina), *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 5–23. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.743>

Se identificaron distintas perturbaciones que afectan aspectos funcionales de la escorrentía del agua. En este contexto el circuito de motocross e instalaciones complementarias representan el 26,09 % de todos los impactos relevados para el ANPU (Figura 7). El 21,74 % de los impactos relevados configuran canales viales formales e informales (Figura 6). El resto de la superficie está comprendida por movimientos de suelos con un 4,35 % y puntos pertenecientes a la zona de efecto de borde establecido por puntos localizados en el rango de resolución de tres pixeles de distancia del límite legal del ANPU (*buffer*=30 metros).

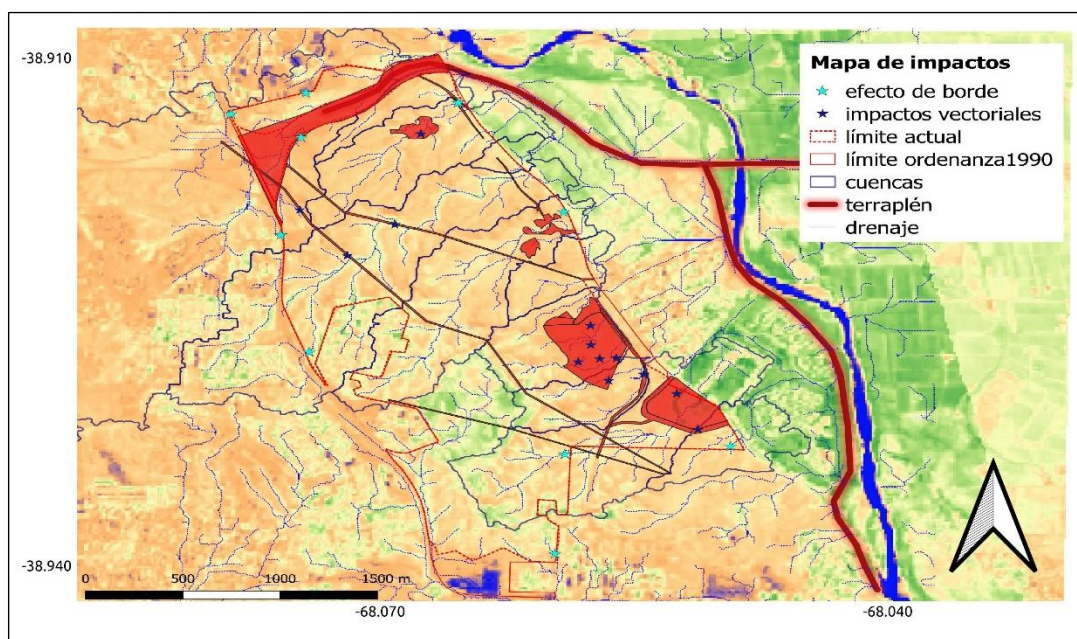


Figura 7. (Mapa ID 6) Mapa de impactos y distribución sobre la cobertura del suelo del ANPU
Fte. Elaboración propia sobre integración de datos ráster y registro de campo

En términos espaciales el ANPU cubre dos cuencas íntegras (03 y 04) que justamente comprenden unas de las fuentes del litigio judicial. Por otro lado, con excepción de las cuencas 01 y 11, el nivel de protección del ANPU es superior al 50 % de la superficie. Todas las cuencas poseen algún nivel de perturbación antrópica que impacta principalmente la cobertura del suelo y la red de drenaje natural (Tabla 3).

Se detectaron dos vías seguras de evacuación pedestre para el caso de eventos de avenidas e inundaciones del río Neuquén combinados, que pudieran requerir de una acción inmediata de los habitantes aguas abajo del ANPU. A partir de cuatro puntos sobre la planicie de inundación del río Neuquén que además es depositaria del drenaje de las bardas, se estima que en todos los casos las topografías sobreelevadas como cerros testigo y terrazas, comprenden los puntos de encuentro más seguros y próximos a las zonas de evacuación pedestre. Dos de esos puntos de encuentro comprendieron sitios de fácil acceso dentro del ANPU (Figura 8).

Datri, L. A., Krasner, M., Campos, L., Robertazzi, M., Lopez, H., Canay, T., Boyero, L. (2022). Aplicación de los sistemas de información geográfica en la pericia ambiental: el caso del área natural protegida urbana Bardas Norte, Neuquén (Patagonia Argentina), *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 5–23. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.743>

Tabla 3. Métricas en relación a las cuencas protegidas por el ANPU (incluye efecto de borde (Ordenanza 4538/90) y sus impactos

Cuenca (ID)	Superficie (ha)	Superficie protegida		Cobertura vegetal modificada		Origen de la modificación
		(ha)	(%)	(ha)	(%)	
01	24,74	4,86	19,64	1,35	27,78	Campo de golf
02	81,07	65,51	80,81	9,06	13,83	CVU, campo de golf
03	20,43	20,43	100,00	1,55	7,59	Circuito motocross, CVU
04	33,33	33,33	100,00	14,5	43,50	Circuito motocross, CVU
05	16,73	13,26	79,26	0,17	1,28	CVU
06	70,64	59,06	83,61	2,43	4,11	CVU, canteras
07	131,66	68,49	52,02	1,28	1,87	CVU
08	48,69	40,62	83,43	2,07	5,10	CVU, canteras
09	5,75	2,95	51,30	0,17	5,76	CVU
10	13,48	12,27	91,02	1,31	10,68	CVU
11	604,75	42,44	7,02	17,51	41,26	CVU

Fte. Elaboración propia sobre métricas de capas ráster, vectores y registro de campo

Al correlacionar los distintos impactos en cada punto establecido al azar, con atributos espacio temporales relacionados a las variables que definen el riesgo, se pudo estimar el impacto global y el grado de eficiencia de las propuestas de mitigación del riesgo ambiental. Por otro lado, se pudo determinar las funciones de distintos tipos de uso del suelo que afectan al ANPU. En la red de caminos y senderos que cruzan el ANPU, en su mayoría, no se detectan funcionalidades urbanas relevantes, ni diseño adecuado a los objetivos de conservación del ANPU. Se contaron 17 cruces críticos de potenciales salidas de emergencia pedestre desde los barrios de la planicie inundable hacia zonas seguras. Una característica para considerar de los dos caminos que unen a la zona periurbana con el centro de la ciudad, es que corren en dirección normal a las pendientes junto a los cauces de drenaje natural, lo que facilita la erosión del suelo y el encauzamiento de agua. Otro aspecto importante es el hecho de que la ruta que conecta al tercer puente forma un dique con su terraplén transversal al lecho del río, pero al mismo tiempo en la curva en dirección sur, encauza las aguas del drenaje natural de las cuencas del norte del ANPU hacia zonas urbanizadas (<https://www.google.com.ar/maps/@-38.9282251,-68.0591956,14z>). Esto configura un factor de riesgo para los barrios de la planicie de inundación receptor en primera instancia de la descarga de las cuencas más grandes del sistema.

Datri, L. A., Krasner, M., Campos, L., Robertazzi, M., Lopez, H., Canay, T., Boyero, L. (2022). Aplicación de los sistemas de información geográfica en la pericia ambiental: el caso del área natural protegida urbana Bardas Norte, Neuquén (Patagonia Argentina), *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 5–23. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.743>

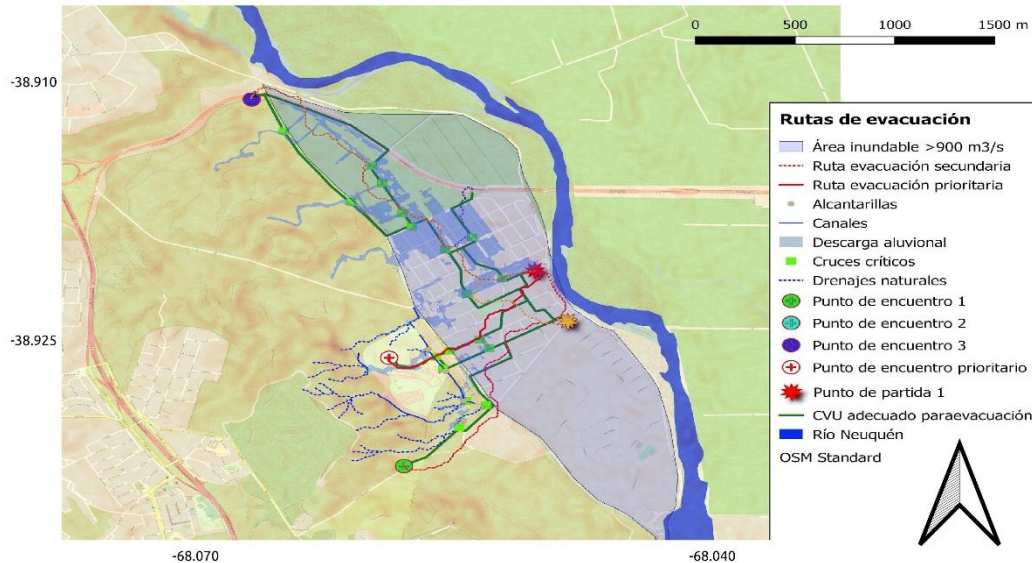


Figura 8. (Mapa ID 7) Mapa con rutas de evacuación pedestre y riesgo, según líneas de recorrido de menor esfuerzo sobre la base de las pendientes naturales del terreno a partir de dos puntos de salida críticos

Fte. Elaboración propia con QGIS y Grass, *Least Cost Path* y MDE de ALOS PALSAR

4. Discusión y valoración de hallazgos

Los SIG aplicados a evaluación de riesgos derivados en mayor o menor medida por impactos ambientales y usos del suelo, facilitan una forma rápida y precisa de aproximación a la evaluación y ponderación de las situaciones planteadas. La idea de justicia ambiental, está paulatinamente constituyéndose en un referente para la sociedad actual dado que la compleja y diversa naturaleza de los problemas que aborda desencadena un conjunto de dinámicas ciudadanas, políticas, legales y científicas que requiere de conocimiento interdisciplinario capaz de asesorar en la resolución de conflictos de escalas geográficas. En ese sentido, los SIG pueden aportar métodos y técnicas para generar conocimiento para el tratamiento de problemas de injusticias ambientales. Desde la declaración de principios ambientales basadas en conceptos y contextos del problema en la interacción sociedad-ambiente y la posible injusticia asociada, hasta el establecimiento de un procedimiento analítico capaz de probar hipótesis, con su correspondiente validación basada en datos espaciales, se pueden construir pericias en tiempos acotados sin perder de vista la complejidad de las interrelaciones abordadas.

La definición del objeto pericial, en este caso, implicó una parte importante del trabajo de dimensionamiento del problema. Dado que los objetivos de la pericia referidos en la providencia excedían la jurisdicción del área protegida debido a la dinámica ambiental comprendida por el riesgo que se analizaba en el litigio, fue necesario un abordaje de los datos con su expresión espacial. Esto se debe a que los sistemas ambientales complejos están definidos por variables de entorno cuya dimensión exceden la escala del análisis de impactos o fenómenos en particular (García, 2006). En este sentido, y en el caso que se aborda,

Datri, L. A., Krasner, M., Campos, L., Robertazzi, M., Lopez, H., Canay, T., Boyero, L. (2022). Aplicación de los sistemas de información geográfica en la pericia ambiental: el caso del área natural protegida urbana Bardas Norte, Neuquén (Patagonia Argentina), *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 5–23. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.743>

el cambio climático, la extensión de las cuencas y el proceso de urbanización configuraron elementos que forman parte de la pericia en un contexto de tiempos jurídicos muy acotados e información incompleta, como límites catastrales, planes de manejo y planes de mitigación del riesgo específicos (Buzai & León 2015, Moreno Jimenez *et al.* 2015; Moreno Jiménez, 2010). Esto fundamentó la decisión del equipo pericial de abordar el problema desde un SIG que permita un análisis especialmente acotado, pero incluyendo variables afectadas por dimensiones que los trascienden.

Las problemáticas ambientales y las desigualdades espaciales relevadas, pueden considerarse de efectos mínimos sin un contexto regional y de uso del suelo a escala de paisaje, lo que afecta a priori la estimación del grado de injusticia. Sin embargo, son más relevantes cuando se trata de aspectos que cuentan con una historia vinculada al riesgo aluvional y a la historia de la propia ANPU. Las amenazas provenientes del entorno poseen por su complejidad un origen múltiple, ocasionadas por procesos físico-naturales y sociales. Según Moreno Jimenez (2015) son conocidas las concurrencias y magnitud de los desastres que ocasionan periódicamente sobre ciertos espacios geográficos de origen social o antrópico, a menudo ligadas a actividades productivas pero que también pueden derivarse de actividades urbanas y culturales. La evaluación y análisis de riesgos ha adquirido gran desarrollo en materia de inundaciones (Isidro *et al.* 2009) por medio de SIG. La evaluación conjunta propuesta por el Manual para la Elaboración de Mapas de Riesgo (Renda *et al.*, 2017), ofrece una base metodológica de partida adecuada para explorar potenciales injusticias ambientales (Moreno Jiménez, 2015, Martínez Alier, 2008).

En concordancia con lo que plantea Fuenzalida (2015) el alto costo y, en este caso, los tiempos limitados establecidos por la justicia para la concreción de la pericia la selección de puntos aleatoria, regular o agregada, permitió obtener medidas rápidas y efectivas. Utilizando el SIG, la interpolación de esos puntos puede crear una superficie continua vectorial con estimaciones realizadas para una cobertura completa del territorio (Cañada *et al.* 2010; Cañada 2006). La interpolación es un procedimiento matemático que permite predecir el valor de un atributo en un lugar específico, a partir de valores obtenidos de locaciones vecinas, dentro de región o unidad puntual (Fuenzalida 2015).

Todos los datos georreferenciados con un punto de origen conocido (*e.g.* latitud/longitud o UTM) se ven condicionados por un principio de autocorrelación espacial o ley de Tobler (Buzai *et al.* 2015), según el cual todo se relaciona con todo, pero las cosas más próximas o cercanas se relacionan más que las distantes. Sin embargo, la autocorrelación espacial asume que las observaciones no son independientes. La independencia en los datos geográficos se da solo si su localización no es significativamente distinta de otra resultante de una asignación establecida al azar en un mapa. Los SIG actualmente pueden resolver el problema de la autocorrelación espacial, entre las cuales se encuentran herramientas para análisis exploratorio de datos espaciales como los empleados en este caso y la generación de puntos al azar a partir de datos discretos, sobre la base de índices verdes, saturación de agua en el suelo y correlacionando con impactos detectados por observación directa (Upton, G. & Fingleton, B. 1985). De esta manera se obtuvo en forma rápida y efectiva una perspectiva, sin mediación de la subjetividad de los peritos, de la interacción de las variables que definen el riesgo y la actividad antrópica. El muestreo realizado permitió conectar datos que forman patrones, relaciones y situaciones determinadas en el contexto geográfico delimitado por la dimensión del problema. Como plantean Moreno Jiménez *et al.* (2012) y Kamp *et al.* (2003) estos objetos espaciales configuran la base de información de los conflictos sujetos a demandas de justicia ambiental.

Las condiciones y la dinámica natural del ecosistema del ANPU configuran una cobertura vegetal xerófila y espaciada que posee toda la barda en nuestra región. Dada la posición geográfica y como

Datri, L. A., Krasner, M., Campos, L., Robertazzi, M., Lopez, H., Canay, T., Boyero, L. (2022). Aplicación de los sistemas de información geográfica en la pericia ambiental: el caso del área natural protegida urbana Bardas Norte, Neuquén (Patagonia Argentina), *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 5–23. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.743>

consecuencia a de la aplicación de un SIG a un proceso de evaluación de la gestión del riesgo por inundación y aluviones de las áreas de impacto, esto comprende un factor de aceleración del escurrimiento de agua de lluvia (Isidro *et al.* 2009). Las infiltraciones que afectan a la zona pueden ser otro factor favorable a la remoción en masa. Esto se evidencia con zonas de NDMI muy elevados propios de zonas anegadas en zonas altas. A estos puntos se asocian, a su vez, los valores más altos de NDVI. Esto da cuenta de una preocupante relación de las zonas con más cobertura vegetal asociada a estos cuerpos de agua en tanto comprende el valor que eleva la media de la vegetación, explicando al alto número de puntos con escasa o nula vegetación. Los datos aquí recolectados indican un franco deterioro de la vegetación y los aspectos funcionales de esta sobre el suelo, más allá de la escasa cobertura natural que el monte xerófilo puede brindar al suelo.

Del análisis de la legislación existente se desprende que el área propuesta en la creación del ANPU ha tenido numerosos cambios en la práctica tendiendo a la reducción de su superficie efectiva de conservación. Esta disminución del área original se debe a un cambio en los usos del suelo que afectó y cedió tierras a nuevos usos, incluso privados, sin contar algunas actividades preexistentes como parte de un circuito de motocross (Ordenanza 1649/81) por una cesión transitoria de tierras. Dada la relación establecida entre las actividades antrópicas, la dinámica de las cuencas y la importancia de los valores de conservación del ANPU para asegurar su funcionalidad estructural de las mismas, se pudo establecer con soporte probatorio suficiente, el nivel de riesgo pluviouluvional solicitado en la providencia. En este sentido el concepto de servicio ecosistémico (Jullian, 2018; Balvanera *et al.* 2012) permitió definir que el área en cuestión provee la función reguladora natural de la escorrentía del agua. En un contexto de cambio climático e incremento de la intensidad de las precipitaciones como las ocurridas en 2014; 2016 y más recientemente en 2021, esto configura un nuevo valor funcional al cual conservar (Servicio Meteorológico Nacional, Vásquez, 2016; IPCC, 2014). La conexión entre los ecosistemas y el bienestar humano quedó demostrada en esta pericia, en los términos del modelo de Haines-Young y Potschin (2010) y la necesidad de su incorporación en el planeamiento urbano según Börgstrom *et al.* (2013).

5. Conclusiones

Este trabajo concluye que el SIG aplicado en el caso de justicia ambiental que nos ocupa, comprende una herramienta de análisis pericial adecuada. Asimismo, cuando la dimensión del sistema ambiental y su complejidad contienen una expresión espacial a múltiples escalas, se considera que es posible aplicarlo como en este caso de estudio. Esto a su vez posibilita la obtención de medidas relativamente rápidas y recolección de datos con expresión espacial referidos a puntos de conflicto concretos, pero con todo su contexto social, ambiental y ecológico.

En este trabajo se detectó que se incrementa el riesgo ambiental aguas abajo, cuando se reduce la capacidad y la resiliencia de la principal provisión de servicios ecosistémicos que un relicto natural como las bardas puede ofrecer a la ciudad. Las funciones ecológicas y geomorfológicas de la creación de esta ANPU configuran actualmente la principal fuente de servicios ecosistémicos para el área urbana aguas abajo de las microcuencas analizadas, reduciendo el riesgo producido recurrentemente por las lluvias y su descarga aluvional. Por tal razón el objetivo de conservación del ANPU comprende a la barda como patrimonio, pero por sobre todo su historia, como resguardo de un servicio de regulación ecosistémico, potenciado por las políticas de forestación. La conservación de la mitad de las cuencas que más afectan al área urbana de la planicie de inundación del río Neuquén, se convierte en un servicio ecosistémico estratégico para reducir el

Datri, L. A., Krasner, M., Campos, L., Robertazzi, M., Lopez, H., Canay, T., Boyero, L. (2022). Aplicación de los sistemas de información geográfica en la pericia ambiental: el caso del área natural protegida urbana Bardas Norte, Neuquén (Patagonia Argentina), *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 5–23. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.743>

riesgo de las urbanizaciones aguas abajo, dada por la vulnerabilidad conferida por el hecho de esta se encuentra a su vez en la planicie inundable del río Neuquén.

6. Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por la Universidad de Flores por medio de los proyectos “Climas urbanos y Humedales urbanos”. Agradecemos especialmente los aportes del Lic. José Gatica, la Dra. Cecilia Dufilho y la revisión crítica de este manuscrito del Dr. Marcelo Gandini.

Referencias bibliográficas

Balvanera, P., Castillo, A., Chavero, E. L., Caballero, K., Quijas, S., Flores, A., Sarukhán, J. (2011). Marcos conceptuales interdisciplinarios para el estudio de los servicios ecosistémicos en América Latina. *El valor ecológico, social y económico de los servicios ecosistémicos. Conceptos, herramientas y estudio de casos*.

Borgström, S., Lindborg, R., Elmqvist, T. (2013). Nature conservation for what? Analyses of urban and rural nature reserves in southern Sweden 1909–2006. *Landscape and Urban Planning*, 117, 66-80.

Buzai, G.; García de León, A. (2015) Balance y actualidad de la Geografía Cuantitativa. En: Fuenzalida, M., Buzai, G. D., Moreno Jiménez, A., & García de León, A. (2015). Geografía, geotecnología y análisis espacial: tendencias, métodos y aplicaciones. 1a ed., Santiago de Chile: Editorial Triángulo.

Cañada, R., Vidal, M.J., Moreno Jiménez, A. (2010). Interpolación espacial y visualización cartográfica para el análisis de la Justicia Ambiental: Ensayo metodológico sobre la contaminación por partículas atmosféricas en Madrid. En *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*, eds. José Ojeda, María Fernanda Pita y Ismael Vallejo, 691-715. Sevilla: Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla, Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica.

Cañada, R. (2006). Técnicas de interpolación geoestadísticas: Kriging ordinario. En *Sistemas y análisis de la información geográfica*, ed. Antonio Moreno, 823-854. Madrid: Ra-Ma.

Clark, L.P., Millet, D.B. y Marshall, J.D. (2014). National patterns in environmental injustice and inequality: Outdoor NO₂ air pollution in the United States. *PLoS ONE*, 9(4): e94431. doi: 10.1371/journal.pone.0094431

Chuvieco, E. (2010) Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio. Editorial Ariel. Barcelona.

Fuenzalida, M., Buzai, G. D., Moreno Jiménez, A., & García de León, A. (2015). Geografía, geotecnología y análisis espacial: tendencias, métodos y aplicaciones. 1a ed., Santiago de Chile: Editorial Triángulo.

García, R. (2006). Sistemas complejos. Editorial Gedisa, 202. Barcelona.

Haines-Young, R., Potschin, M. (2010). The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being. *Ecosystem Ecology: a new synthesis*, 1, 110-139.

Datri, L. A., Krasner, M., Campos, L., Robertazzi, M., Lopez, H., Canay, T., Boyero, L. (2022). Aplicación de los sistemas de información geográfica en la pericia ambiental: el caso del área natural protegida urbana Bardas Norte, Neuquén (Patagonia Argentina), *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 5–23. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.743>

IPCC. Cambio climático (2014). Informe de síntesis. Resumen para responsables de políticas. https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM_es.pdf

Isidro, M. L., Herrero, A. D., Huerta, L. L. (2009). Aplicaciones de los SIG al análisis y gestión del riesgo de inundaciones: avances recientes. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, (29), 29-37.

Jullian, C., Nahuelhual, L., Mazzorana, B., & Aguayo, M. (2018). Evaluación del servicio ecosistémico de regulación hídrica ante escenarios de conservación de vegetación nativa y expansión de plantaciones forestales en el centro-sur de Chile. *Bosque (Valdivia)*, 39(2), 277-289.

Kamp, I. van, Leidelmeijer, K., Marsmana, G. y Hollander, A. de (2003). Urban environmental quality and human well-being towards a conceptual framework and demarcation of concepts; a literature study. *Landscape and Urban Planning* 65, p. 5–18.

Mitchell, G. y Norman, P. (2012). Longitudinal environmental justice analysis: Coevolution of environmental quality and deprivation in England, 1960–2007. *Geoforum*, 43, 44-57.

Moreno Jiménez, A., Palacios García, A. J. y Mellado San Gabino, A. (2014b): “Evaluación de la justicia ambiental por distritos urbanos como base para un nuevo desarrollo. El caso de Barcelona”, en Serrano Rodríguez, A. (ed.): *Patrimonio y planificación territorial como instrumentos para otro desarrollo*. Relatoría, ponencias y comunicaciones. Madrid, FUNDICOT, p. 1035-1046.

Moreno Jiménez, A., Buzai, G. D. y Fuenzalida Díaz, M. (2012, Coord.): *Sistemas de información geográfica. Aplicaciones en diagnósticos territoriales y decisiones geoambientales*. Madrid, Ra-Ma.

Renda, E., Garay, M. R., Moscardini, O., Torchia, N. P. (2017). Manual para la elaboración de mapas de riesgo. *Ministerio de Seguridad de la Nación*.

Servicio Meteorológico Nacional (2021). Descarga del Catálogo de Datos Abiertos. <https://www.smn.gob.ar/descarga-de-datos>

Upton, G., Fingleton, B. (1985). *Spatial data analysis by example, volume 1: Point pattern and quantitative data*. Toronto, Canadá: Wiley.

Vásquez, A. E. (2016). Infraestructura verde, servicios ecosistémicos y sus aportes para enfrentar el cambio climático en ciudades: el caso del corredor ribereño del río Mapocho en Santiago de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, (63), 63-86.

Zwickl, K., Ash, M. y Boyce, J.K. (2014). Regional variation in environmental inequality: Industrial air toxics exposure in U.S. cities. *Ecological Economics*, 107, 494–509.

