

Evaluación del riesgo hídrico en la cuenca del arroyo Napostá Grande (provincia de Buenos Aires, Argentina)

Assessment of water risk in the Napostá Grande stream basin (Buenos Aires province, Argentina)

ALDANA MASTRANDREA¹  0000-0001-6902-1692

GUILLERMO RAÚL ANGELES¹  0000-0002-0187-6421

¹ Universidad Nacional del Sur. Argentina.

Resumen

Los eventos hidrometeorológicos extremos han adquirido una creciente visibilidad en las agendas públicas durante las últimas décadas, dados los daños materiales que ocasionan y los grupos de población que resultan afectados, especialmente, aquellos que residen en las proximidades de los cursos/cuerpos de agua. El estudio de estos eventos, así como su distribución territorial, permite identificar sectores con diferentes niveles de criticidad ambiental. El objetivo de este trabajo es analizar las características del riesgo hídrico en el tramo inferior de la cuenca del arroyo Napostá Grande (Argentina). La metodología incluyó el análisis estadístico de datos climáticos, topográficos, biológicos y edáficos. Los resultados obtenidos demostraron que las áreas que presentaron un nivel de riesgo hídrico alto se ubicaron en sectores del noreste, noroeste, sur y sureste del área de estudio; en la categoría de riesgo hídrico medio se observó una gran superficie del espacio urbano mientras que las áreas que presentaron niveles bajos se localizaron mayormente en el sector norte y este. Esta información resulta clave para el diseño y elaboración de propuestas de planificación y ordenamiento territorial tendientes a reducir los potenciales daños ocasionados por la ocurrencia de eventos potencialmente peligrosos como inundaciones, anegamientos y desbordes.

Palabras clave: peligrosidad; vulnerabilidad; geotecnologías; ordenamiento territorial.

Fechas • Dates

Recibido: 2022.09.12

Aceptado: 2023.09.14

Publicado: 2024.05.10

Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Aldana Mastrandrea
aldana.mastrandrea@uns.edu.ar

Guillermo Raul Angeles
guillermo.angeles@uns.edu.ar

Abstract

Extreme hydrometeorological events have gained increasing visibility on public agendas in recent decades, given the material damage they cause and the population groups that are affected, especially those who live in the proximity of bodies of water. The study of these events, as well as their spatial distribution, allows us to identify areas with different levels of environmental criticality. The objective of this work is to analyze the characteristics of water risk in the lower reaches of the Napostá Grande stream basin (Argentina). The methodology included the statistical analysis of climatic, topographic, biological, and edaphic data. The results obtained showed that the areas that presented a high level of water risk were located in the northeast, northwest, south, and southeast of the study area; in the category of medium water risk, a large area of urban space was observed while the areas that presented low levels were located mainly in the north and east sectors. This information is key for the design and preparation of planning and land use planning proposals aimed at reducing the potential damage caused by the occurrence of potentially dangerous events such as floods, flooding, and overflows.

Keywords: dangerousness; vulnerability; geotechnologies; territorial ordering.

1. Introducción

La probabilidad de ocurrencia de escenarios de riesgo hídrico se relaciona con el comportamiento de las variables pertenecientes a un subsistema natural y a un subsistema socio-cultural (Lavell, 2002). Teniendo en cuenta el primer grupo de variables es importante caracterizar el comportamiento de la precipitación debido a que, su variabilidad, incide en la ocurrencia de eventos de exceso y déficit hídrico y, en consecuencia, en la presencia de períodos húmedos y secos (IPCC, 2012; Casado *et al.*, 2019).

En relación con los eventos de exceso hídrico, además de la precipitación, también es necesario considerar: las características de la pendiente, de la vegetación, del suelo y de la superficie impermeabilizada o construida. La pendiente interviene en el comportamiento diferencial de la escorrentía; la vegetación se vincula con la mayor o menor protección del sustrato y exposición a eventos de exceso hídrico según su estado, densidad y vigorosidad; y el suelo interviene como un parámetro de la cantidad de agua que posee la vegetación o el nivel de saturación de humedad de una superficie (Schroeder *et al.*, 2006; Camino Dorta *et al.*, 2014; Gallegos Reina, 2018).

Con respecto al segundo grupo de variables, correspondientes al subsistema socio-cultural, se encuentran: el tipo de asentamiento (espacio urbano o rural); los usos del suelo (industrial-portuario, sanitario, educativo, comercial, administrativo, financiero, recreativo y residencial); las características socio-demográficas (que inciden en la caracterización de la vulnerabilidad) y las prácticas espaciales que pueden generar, amplificar o por el contrario, reducir los efectos de fenómenos que signifiquen una amenaza (Maskrey, 1993; Ríos y Natenzon, 2015; Martín Barajas *et al.*, 2020; Mastrandrea y Angeles, 2020).

De este modo, el análisis del comportamiento de las variables que interactúan en cuencas de tamaño intermedio, especialmente, aquellos tramos que corresponden a espacios urbanos, permite establecer áreas mayormente expuestas a la ocurrencia de un evento potencialmente peligroso como, por ejemplo, inundaciones, anegamientos y desbordes de ríos y arroyos, ante la generación de precipitaciones intensas. Este problema se profundiza en regiones de clima templado subhúmedo, como ocurre en el tramo inferior de la cuenca del arroyo Napostá Grande, debido a que se

produce una alternancia de eventos secos y húmedos con una marcada variabilidad interanual de las precipitaciones (Campo de Ferreras *et al.*, 2004).

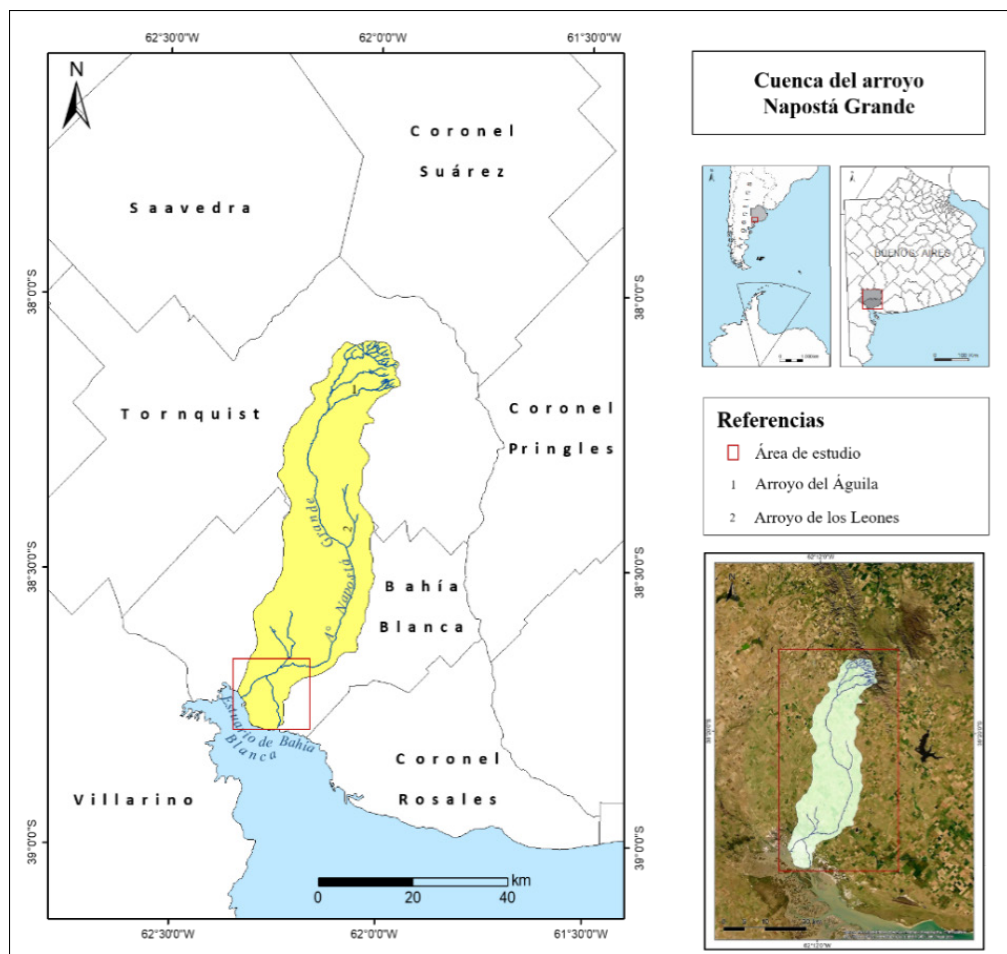
El estudio integrado del riesgo de desastres facilita el análisis de los procesos que se manifiestan en cuencas hidrográficas que han sido totalmente modificadas por el proceso de urbanización. En este sentido, adquiere relevancia el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIGs) porque permiten establecer relaciones entre las variables, exponer posibles escenarios ambientales desde una visión prospectiva y realizar modelos de simulación espacial con el propósito de diseñar instrumentos para la toma de decisiones (Bosque Sendra, 2001; Buzai, 2014; 2019).

A nivel global, se han realizado diversas investigaciones centradas en el análisis de diferentes escenarios de riesgo de desastres. Entre ellas, se pueden mencionar las llevadas a cabo por Timbe *et al.*, (2012), Olcina Cantos *et al.* (2016); Perles-Rosello *et al.* (2017); Iturralde-Vinent (2018) y Vazquez Losada (2019), entre otras. A escala nacional, regional y local también se han desarrollado estudios focalizados en el abordaje de la peligrosidad o de la vulnerabilidad (Quiroz Londoño *et al.*, 2013; Picone, 2016; Cardoso, 2017, Volonté *et al.*, 2019; Brendel *et al.*, 2020; Reyes Pontet, 2022). Sin embargo, en el área de estudio, resultan escasos los aportes tendientes a abordar de modo integral las variables tanto del medio físico-natural como socio-cultural que intervienen en la generación de escenarios de riesgo de desastres ante inundaciones. Las ciudades han sido los ámbitos donde los eventos extremos del agua se han manifestado con mayor severidad, por la concentración de la población y de gran parte del desarrollo económico, científico-técnico, de innovación y cultural (Ríos 2023).

El área de estudio incluye el tramo inferior de la cuenca hidrográfica del arroyo Napostá Grande, localizada en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina) (figura 1). El arroyo nace en el cerro Napostá (1108 m.s.n.m.) y en su recorrido, en sentido norte-sur, recibe afluentes por su margen izquierdo, tanto de carácter permanente como intermitente, hasta desembocar en el estuario de la bahía Blanca. La cuenca incluye los partidos de Tornquist y Bahía Blanca, siendo la localidad homónima de este último partido el principal núcleo urbano con 301.572 habitantes (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2010).

El objetivo de este trabajo es analizar las condiciones de riesgo hídrico en el tramo inferior de la cuenca del arroyo Napostá Grande, en el Sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina), correspondiente al territorio fluvial urbanizado. Para ello, se analizó el comportamiento de la precipitación mensual y anual que permitió orientar la búsqueda de una imagen satelital relativa a un evento de exceso hídrico. Luego, considerando que los efectos derivados de una precipitación intensa, no necesariamente se vinculan con la variabilidad climática propia de la región, sino con otros factores relacionados con el proceso de urbanización, se aplicaron diversos índices (Índice de Vulnerabilidad Social o IVS, Índice de Vegetación Diferencial Normalizada o NDVI, Índice de Diferencia Normalizada Edificada o NDBI, Índice de Superficie Construida o BUI e Índice de Agua de Diferencia Normalizada o NDWI) que junto con el análisis de las pendientes condujeron a la elaboración de la cartografía final de riesgo hídrico. Los resultados obtenidos permitieron identificar sectores con niveles diferenciales de criticidad ambiental, información valiosa para el diseño de propuestas de planificación urbana tendientes a reducir los potenciales daños ocasionados por la ocurrencia de inundaciones, anegamientos y desbordes.

Figura 1. Área de estudio



Fuente: Elaboración propia.

2. Metodología

2.1. Determinación de las condiciones de peligrosidad ante eventos de exceso hídrico

Para analizar las condiciones de peligrosidad en el tramo inferior de la cuenca, en primer lugar, se analizó el comportamiento mensual y anual de la precipitación a través de la información climática provista por organismos gubernamentales (Servicio Meteorológico Nacional, SMN-Argentina) y de la prensa escrita y periodismo televisivo y digital de la ciudad de Bahía Blanca. Dichos datos¹ fueron procesados, graficados y analizados y sirvieron como un insumo básico para la búsqueda de una imagen satelital correspondiente a un evento significativo de exceso hídrico.

Para ello, en segundo lugar, se descargó una imagen satelital Landsat 8 OLI-TIRS (Path: 226, Row: 087) del sitio Servicio Geológico de Estados Unidos². La fecha de la misma (16 de marzo de

1. Se seleccionó el período 1996-2017 debido a que se incluyeron los eventos más recientes vinculados con la alternancia de eventos de exceso y déficit hídrico en el marco de la realización de la tesis doctoral "*Percepción y representaciones sociales del riesgo hídrico en el sudoeste bonaerense. El caso de la cuenca del arroyo Napostá Grande*" (Mastrandrea, 2021). Tal evento facilita el análisis de los efectos que una inundación, anegamiento y/o desborde puede ocasionar en el espacio urbano y los sectores que se encuentran más expuestos a estos fenómenos con el propósito de establecer propuestas de gestión del riesgo hídrico que consideren la configuración actual (últimos veinte años) de la ciudad.

2. USGS: página Web: <https://www.usgs.gov/>.

2015) coincidió con los efectos derivados de las precipitaciones ocurridas días previos al evento (10 y 11 de marzo del 2015) en los que la prensa escrita y el periodismo digital de la ciudad de Bahía Blanca comunicaron las consecuencias vinculadas con sucesivos días de concentración de humedad en el suelo³. La elección de esta imagen se relacionó con la mínima presencia de nubes en la escena lo cual resultó óptimo para efectuar el análisis del comportamiento espectral de diferentes coberturas terrestres (superficies construidas, edificaciones, espacios verdes, suelo expuesto, cuerpos de agua), luego de seis días posteriores al evento seleccionado.

Considerando las precipitaciones ocurridas a partir del día 10 de marzo de 2015 y, en función de la radiación electromagnética reflejada por las diferentes coberturas, se identificaron áreas con distintos grados de peligrosidad ante eventos de exceso hídrico. En el análisis se desarrollaron diferentes metodologías vinculadas con el procesamiento digital de imágenes satelitales y con la utilización de SIGs. Una vez descargada la imagen se aplicó un procedimiento de *layer stacking* con el objeto de realizar la corrección atmosférica simultánea de todas las bandas consideradas. Para ello, se utilizó el módulo Semi-Automatic Classification Pluggin (SCP) (Congedo, 2016) que se ejecutó a través del software libre QGIS®.

Posteriormente, se calcularon índices (NDVI, NDWI, NDBI y BUI, este último, a través de la combinación del NDVI y NDBI) teniendo en cuenta las bandas que se requieren para cada uno de ellos (Rouse *et al.*, 1974). Considerando la resolución multi-espectral de las imágenes satelitales Landsat 8 se aplicaron diferentes operaciones aritméticas entre bandas para construir los índices propuestos en función de la información que se deseaba interpretar y analizar. Una vez obtenidas las imágenes derivadas de los diferentes índices calculados, se aplicó una máscara para recortar las imágenes de acuerdo con los límites del área de estudio (límite del tramo inferior de la cuenca). Finalmente, las capas raster obtenidas se reproyectaron al sistema de proyección POSGAR 98-faja 4 con el objetivo de superponer los resultados junto al resto de las variables consideradas (límite de cuenca, hidrografía y pendiente) para su posterior análisis.

En cuanto a los índices efectuados y las características de las pendientes se realizó una reclasificación de cada una de las capas raster considerando la probabilidad de favorecer u obstaculizar la generación de escenarios de exceso hídrico (Mastrandrea y Angeles, 2021). De este modo, se asignó un peso de 25 a las variables que tienen una incidencia baja en la determinación de escenarios de peligrosidad; un valor de 50 a aquellas que tienen una incidencia moderada; un valor de 75 a las que presentan una incidencia media-alta y un valor de 100 a las que tienen una incidencia alta (tabla 1). Luego se realizó una suma lineal ponderada de los índices (BUI, NDWI) y pendientes reclasificadas a través de un álgebra de mapas raster para obtener el mapa final de peligrosidad a nivel de cuenca inferior.

3. Ejemplo de ello, fueron las noticias publicadas por *La Nueva* y *La Brújula24.com* que expresaron: “Desbordó el Napostá y Defensa Civil tuvo que evacuar a una mujer y su hija” (*La Nueva*, 14 de marzo de 2015); “Problemas en la zona alta por los desbordes del arroyo Naposta” (*La Nueva*, 15 de marzo de 2015) y “Desbordó el Napostá y se inundó el predio de empleados de comercio” (*LaBrújula24.com*, 14 de marzo de 2015), entre otras.

Tabla 1. Asignación de pesos a las variables involucradas ante la probabilidad de ocurrencia de eventos de exceso hídrico

Variables	Explicación	Peso
Índice de Superficie Construida (BUI)	Los sectores que se ubican entre los valores de -133 a -206 corresponde a áreas sin presencia de superficie construida con predominio de áreas forestadas y ocasionalmente con vegetación. El sector norte y sur del tramo inferior de la cuenca se encuentra representado por esta categoría.	75
	En el rango de valores de -133 a -73 se ubican las zonas anegables con escasa superficie construida. Por ello, se asigna el peso máximo.	100
	Las áreas que en la imagen se encuentran en un rango de entre -73 y 0 corresponden a áreas edificadas, pero también a sectores con predominio de suelo expuesto en el periurbano de la ciudad, motivo por el cual, se considera de importancia moderada.	50
	Los sectores que en el cálculo del índice se encuentran en un rango de valores de entre 0 y 81 corresponden generalmente a superficies construidas. Teniendo en cuenta que estos sectores cuentan con la presencia de desagües pluviales y colectores urbanos se estima que el agua, luego de un tiempo, drena libremente no así en aquellos sectores con ausencia de equipamiento urbano o con calles de tierra.	25
Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI)	Los valores mayores al valor 165 corresponden a cuerpos de agua y zonas temporal o permanentemente inundadas, por esto se asigna el peso máximo.	100
	Entre 100 y 165 se encuentran las áreas con presencia parcial o total de agua así como también aquellos sectores inundables y anegadizos motivo por el cual se asigna un peso de la categoría medio-alto.	75
	En un rango de entre 65 y 100 se ubican las áreas con predominio de suelo expuesto y modificado (asfalto, construcciones), por ello se considera de importancia moderada.	50
	Los valores que en la imagen se ubican en un rango de entre -32 y 65 corresponden a áreas con un predominio de cobertura vegetal por lo que se consideran de importancia baja dado que el agua puede absorberse en caso de un evento de exceso hídrico. Estos valores se ubican en el sector norte y sureste del tramo inferior de la cuenca.	25
Pendientes	Las pendientes más bajas correspondientes a terrenos llanos (0 – 1%) que son los que se encuentran mayormente expuestos a la ocurrencia de fenómenos de inundaciones y anegamientos debido al arrastre de sedimentos desde terrenos más elevados y su acumulación pendiente abajo. Por este motivo se asigna el mayor peso.	100
	Las pendientes correspondientes a terrenos llanos o casi llanos (1,01 - 1,5%) se encuentran en un nivel de peligrosidad medio-alto. Si bien no representan la máxima probabilidad de anegarse igualmente se encuentran expuestos, motivo por el cual se asigna un peso de la categoría medio-alto.	75
	Los sectores que presentan pendientes con probabilidad moderada de anegarse corresponden a las pendientes que se ubican entre un 2 a 4%. La dirección de la escorrentía desde sectores con elevadas pendientes hacia zonas con pendientes bajas conforma un sector transicional que puede inundarse o anegarse ocasionalmente. Por ello, se considera de importancia moderada.	50
	Los terrenos con pendientes más pronunciadas (4 a 13 %) representan una probabilidad baja de inundarse ante eventos de exceso hídrico. No obstante si bien no constituyen sectores que se inundan con una frecuencia elevada pueden ocasionalmente atravesar por dicha situación, motivo por el cual se asigna un peso de 25.	25

Fuente: Elaboración propia.

2.2. Determinación de las condiciones de vulnerabilidad ante eventos de exceso hídrico

La generación de un Índice de Vulnerabilidad Social (IVS) permitió identificar sectores en la ciudad de Bahía Blanca, correspondiente al tramo inferior de la cuenca, con grados diferenciales de vulnerabilidad ante eventos de exceso hídrico. Para la obtención del índice se utilizaron fuentes de información secundaria provenientes de la base de datos REDATAM + SP del Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda (INDEC, 2010) a nivel de radios censales. Las variables seleccionadas respondieron a las categorías de personas, hogares y viviendas. Las mismas se representaron en formato vectorial según el método de la desviación estándar -acorde con el

valor *Omega*- y luego, fueron reclasificadas en formato raster como subproductos utilizados para realizar una suma lineal de las variables y obtener así, el mapa síntesis final.

Según Buzai (2014) el proceso de construcción de un índice de vulnerabilidad social se compone de una serie de etapas: selección de las variables en función del objetivo que guía la investigación (tabla 2), recopilación de datos de fuentes confiables (en este caso, INDEC), creación de la matriz de datos, normalización-estandarización de las variables, cálculo del puntaje *Omega* y generación del índice. Los diferentes niveles son categorizados en intervalos de igualdad y representados cartográficamente para su análisis. Es importante destacar que a través de la estandarización de los datos de cada variable (el cálculo del puntaje omega lleva los valores originales a un rango que va del 0 al 100) éstos se vuelven comparables:

$$Omega = xi - m / M - m$$

(Donde *Omega* es el puntaje estándar del íesimo dato, xi es el dato original a ser estandarizado, mientras que m y M son respectivamente el menor y mayor valor de la variable).

Con el propósito de transformar los valores de las variables seleccionadas en unidades adimensionales que permitan establecer comparaciones se realizó una estandarización de las mismas a través del cálculo del puntaje *Omega* (Buzai, 2014). El procedimiento transforma los valores de las variables (expresados en porcentaje en relación con el total de población por radio censal) llevándolos en un rango de 0 al 100 que corresponden a los datos mínimos y máximos respectivamente. Así, el valor 100 representa la peor situación de cada variable mientras que el valor 0 corresponde a la mejor situación.

Posteriormente, se definieron diferentes categorías para representar los niveles de vulnerabilidad cuyos resultados se representaron espacialmente a través del empleo de SIGs. De esta manera, la aplicación del método mencionado, permitió detectar fácilmente las áreas más críticas de vulnerabilidad social con respecto a la distribución de los datos de cada variable en función del total de población por radio censal. Dado que el índice de vulnerabilidad expresa una situación de desfavorabilidad en el territorio que ocupa la población, en el presente estudio, se seleccionaron las variables de costo que son las que manifiestan las situaciones más susceptibles de ser afectadas ante diversos inconvenientes ambientales y, entre ellos, la posible ocurrencia de eventos de exceso hídrico (Mastrandrea y Angeles, 2020).

Tabla 2. Dimensiones, variables e indicadores que componen el IVS

Dimensión	Variables	Costo	Indicador
Educación	Analfabetismo	• % de población analfabeta	Nivel de instrucción
	Nivel de instrucción alcanzado	• % de población con nivel de instrucción inicial completo. • % de población con nivel de instrucción primario completo. • % de población con nivel de instrucción EGB completo. • % de población con nivel de instrucción especial completo.	
Laboral	Condición de actividad	• % de población desocupada.	Nivel socio-económico
	Condición de actividad	• % de población inactiva.	

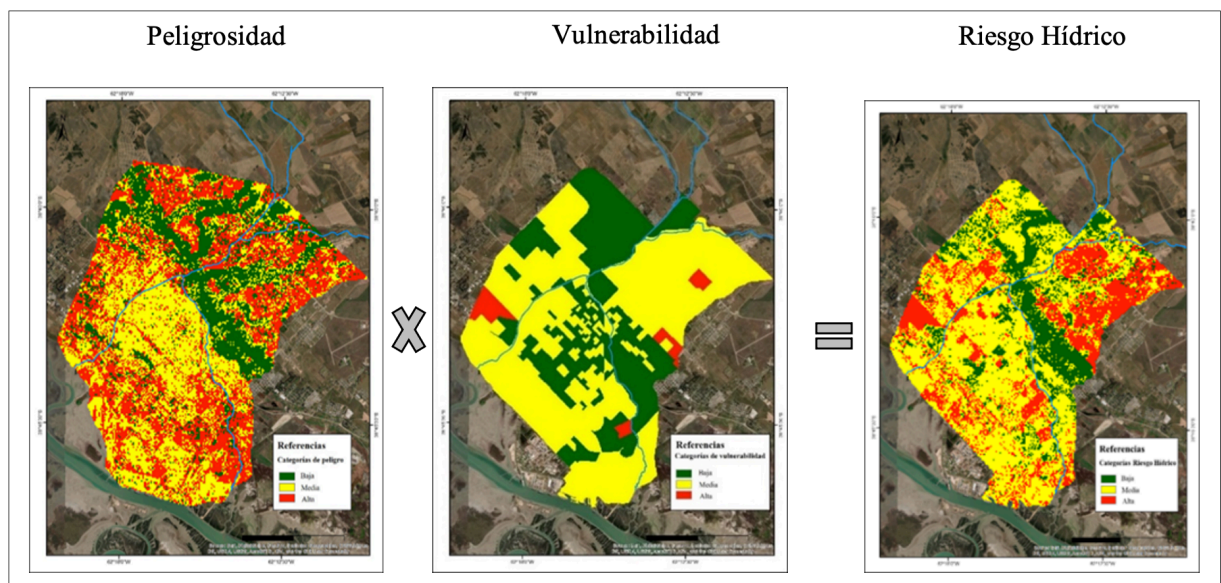
Dimensión	VARIABLES	Costo	Indicador
Habitacional (hogares y vivienda)	Tipo de vivienda	% de población en viviendas tipo Ranchos y Casillas	Calidad habitacional
	Cantidad de hogares por vivienda	• % de población en hogares con hacinamiento (más de 2 personas por cuarto).	
	Calidad constructiva de la vivienda	• % de población en hogares con calidad constructiva de la vivienda insuficiente.	
	Calidad de conexiones a servicios	• % de población en viviendas con conexión a servicios insuficiente.	
	Cubierta del techo	• % de Chapa, fibrocemento, otro.	
	Material de los pisos	• % de población en viviendas con material predominante de los pisos: tierra o ladrillo suelto.	
Salud	Desagüe del inodoro	• % de población en hogares con acceso sólo a pozo ciego. • % de población en hogares con acceso a hoyo o excavación.	Calidad sanitaria
	Procedencia de agua para beber y cocinar	• % de población que utiliza agua de pozo para beber y cocinar. • % de población que utiliza agua lluvia, canal, río, para beber o cocinar.	

Fuente: Elaboración propia.

2.3. Evaluación del riesgo hídrico en el tramo inferior de la cuenca del arroyo Napostá Grande

Las interrelaciones que se manifiestan entre las condiciones de peligrosidad y vulnerabilidad permite identificar escenarios de riesgo hídrico a través de la representación cartográfica, resultado de la aplicación de diferentes técnicas de análisis espacial, como: cálculos e índices estadísticos, Evaluación Multicriterio y álgebra de mapas (figura 2).

Figura 2. Información espacial utilizada para la elaboración de la cartografía de riesgo hídrico.



Fuente: Elaboración propia.

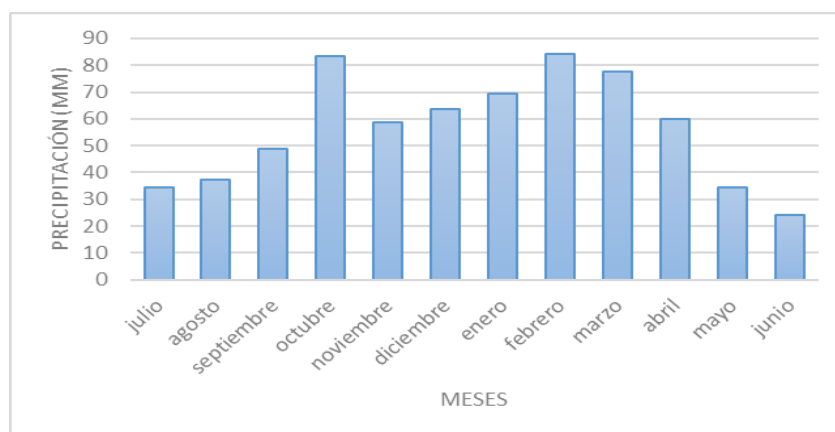
El análisis de las variables físico-naturales y socio-culturales incluidas en el estudio permitió determinar los sectores con mayor o menor riesgo hídrico como factor clave para identificar las áreas prioritarias de intervención en materia de planificación y ordenamiento territorial. Para la elaboración del mapa de riesgo hídrico se consideró el mapa de peligrosidad y vulnerabilidad social. Luego, en el software QGis®, se multiplicaron tales productos cartográficos a través de la herramienta de la calculadora raster. De este modo, se establecieron los sectores en los que las condiciones de peligrosidad y vulnerabilidad se superpusieron luego de haber multiplicado las capas correspondientes a las variables del medio físico-natural y socio-cultural, dando lugar a las siguientes categorías de riesgo hídrico: baja, media y alta.

3. Resultados

3.1. Análisis de la precipitación mensual y anual en la ciudad de Bahía Blanca

Considerando los valores medios mensuales del período 1996-2017 en la estación Bahía Blanca Aero el mes más lluvioso fue febrero con precipitaciones medias de 84 mm, seguido de los meses de octubre (83,5 mm) y marzo (77,7 mm). Por su parte, los menores valores correspondieron a la estación de invierno con un promedio de 31,97 mm siendo junio (24,1 mm), mayo (34,4 mm) y julio (34,6 mm) los meses en los que se han registrado los valores más bajos de precipitaciones. Dichas variaciones demostraron que en primavera y verano se registraron las máximas precipitaciones y, en invierno, las mínimas para el período de tiempo considerado (figura 3).

Figura 3. Distribución de la precipitación media mensual en la estación pluviométrica Bahía Blanca Aero (1996-2017)



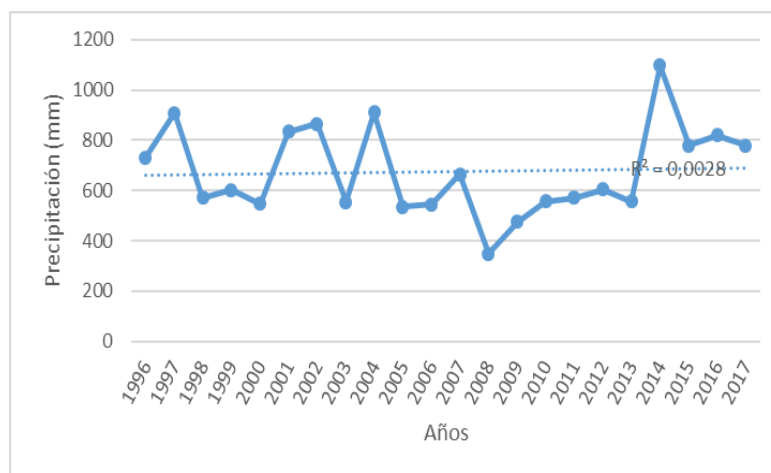
Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, además del valor medio mensual máximo (que corresponde a febrero) es importante destacar que el segundo mes más lluvioso fue octubre del año 2002 (226,9 mm mensuales). En tal sentido, se identificó un evento significativo ocurrido los días 14 y 15 de octubre de ese año que sumaron 120 mm en dos días y causaron el colapso del sistema de desagües pluviales (*La Nueva Provincia*, 12 de noviembre de 2002). Según el periódico local *La Nueva Provincia*, en el año 2002, luego de un prolongado período de días lluviosos entre los meses de octubre y noviembre, el nivel que alcanzó el arroyo Napostá Grande provocó el desborde y la rotura de las paredes del canal Maldonado, problema que continuó manifestándose a través del tiempo (*La Nueva*, 24 de febrero de 2004). Por lo que se evidencia que en el espacio urbano los principales conflictos

se derivan de la insuficiente capacidad de estos canales para contener caudales que se acumulan cuando ocurren intensas precipitaciones en cortos períodos de tiempo, como las ocurridas en dichos años. Además, las intervenciones llevadas a cabo por las autoridades locales para contrarrestar sus efectos, generalmente, terminan agravándolos, siendo los grupos más vulnerabilizados y marginalizados que residen en las proximidades de los frentes de agua urbanos aquellos más perjudicados (Mastrandrea y Ríos, 2022).

Teniendo en cuenta la distribución de la precipitación anual se observó que la media anual fue de 675,6 mm considerando 21 años de datos (figura 4). La distribución de los registros pluviométricos anuales se presentó de manera uniforme con respecto a los años con precipitaciones inferiores y superiores a la media y evidenció un comportamiento regular. Sin embargo, se registró un año con valores que excedieron los 1000 mm como, por ejemplo, el 2014 y años con valores cuyas precipitaciones se encontraron por debajo de los 500 mm, como los años 2008 y 2009. Dichos fenómenos se expresaron en una dispersión de los valores pluviométricos y un comportamiento variable de la precipitación en esos años. Según diversas investigaciones el período 2008-2009 presentó una de las sequías más importantes para el país y la región, cuyo origen se atribuye al fenómeno La Niña. D'ambrosio *et al.* (2013) sostienen que la escasez de precipitaciones respecto de la media generó graves consecuencias en diversos ámbitos como el socio-económico, ambiental y agropecuario.

Figura 4. Distribución anual de la precipitación media mensual en la estación pluviométrica Bahía Blanca Aero (1996-2017)



Fuente: Elaboración propia.

Considerando la distribución de los datos, es posible observar que determinados años se encontraron relativamente dispersos en relación con la media, notándose casos puntuales como: 1997 (909,3 mm), 2001 (834,2 mm), 2002 (866,2), 2004 (911,1), 2008 (348,8 mm) y 2014 (1098,6 mm). En cambio, en el período 1998-2000; en 2007; en el período 2010-2012 y en 2015-2017 los datos se distribuyeron en relación con el promedio de la estación y por ello se encontraron cercanos a la línea de tendencia media.

A partir de la observación del gráfico realizado, si bien la tendencia expresó un comportamiento relativamente estable, es posible identificar una variación de la precipitación en el período de tiempo considerado. Se destacan oscilaciones que responden especialmente a la alternancia de las precipitaciones en el sudoeste bonaerense en el marco de períodos húmedos y secos. Ejemplo de

ello, fue el evento del mes de octubre del 2014 que puede observarse claramente como un valor que sobresale con respecto a los demás. Las menores precipitaciones ocurrieron durante el período 2008-2013, siendo inferiores al valor medio mientras que las mayores ocurrieron en 2001-2002; 2004 y 2014-2017. Luego, se destacaron eventos puntuales en determinados años como las precipitaciones anuales registradas en 1997, 2001, 2002, 2004 y 2014 que superaron la media anual de 675,6 mm.

En el corte 1996-1997 la tendencia es ascendente y, teniendo en cuenta el análisis de los datos, es posible identificar que en esos años las precipitaciones han aumentado pasando de 731,9 mm a 909,3 mm anuales. Se evidencia que en el año 1997 llovieron 177,4 mm más que en el año 1996. Sin embargo, desde 1997 a 1998 se observa un descenso acusado de las precipitaciones que se mantiene debido a que, de 909,3 mm pasa a 572,1 mm y dicha tendencia se mantiene estable hasta el año 2000.

Recién a partir del año 2001 se observa un comportamiento ascendente de la precipitación ya que, en ese año, llueven 285,8 mm más que en el año 2000 y esta situación se mantiene constante hasta el 2002. Desde el 2002 al 2003 se observa un nuevo descenso que se revierte desde el 2003 al 2004 y vuelve a disminuir del 2004 al 2005, tendencia que continúa hasta 2007. Es desde 2007-2008 la etapa en la que se reconoce un brusco descenso de las precipitaciones, período coincidente con la sequía ocurrida en el país y en la región. De 2008 a 2013 la tendencia es levemente ascendente pero aún continúa por debajo del promedio anual para este período. Luego, de 2013 a 2014 se observa un acusado ascenso de las precipitaciones cuyos valores superan la media anual del período llegando casi a duplicar los valores de precipitaciones de un año a otro respectivamente. Sin embargo, de 2014 a 2015 se vuelve a generar un brusco descenso de las precipitaciones iniciando una tendencia que se mantiene estable pero aún por encima de la media anual del período -exceptuando 2016- hasta 2017.

En síntesis, el comportamiento de la precipitación en el período 1996-2017 en la estación Bahía Blanca Aero si bien ha sido relativamente estable ha tenido fluctuaciones: las mayores precipitaciones se registraron en el año 2014 con 1098,6 mm anuales mientras que el año con menores registros pluviométricos fue el 2008 con 348,8 mm anuales, vinculado con la sequía ocurrida en la región. Esta situación se evidencia claramente en el gráfico elaborado debido a que a simple vista se puede observar que se registraron picos pronunciados en 1997, 2001-2002, 2004 y 2014 y descensos significativos en 1997-1998; 2002-2003; 2004-2005; 2007-2008; 2012-2013 y 2014-2016.

3.2. Identificación de sectores con niveles diferenciales de criticidad ambiental: evaluación de las condiciones de peligrosidad

Luego del análisis de la precipitación mensual y anual y de la elaboración de diferentes índices se observó el comportamiento espectral de las coberturas consideradas con respecto a la probabilidad de ocurrencia de eventos de exceso hídrico. La respuesta espectral captada por el sensor de las superficies con presencia total o parcial de vegetación, edificación y agua facilitó la identificación de sectores con diferentes niveles de criticidad ambiental ante un evento de precipitación intensa. En este caso, es importante mencionar que el 2014 -luego de 1976- presentó el registro de precipitación más elevado con 1098,6 mm anuales (*La Nueva*, 2 de enero de 2015), motivo por el cual, se seleccionó un evento posterior a dicho año ya que se quiso analizar la respuesta espectral de diferentes coberturas ante una significativa concentración de humedad en el suelo.

Teniendo en cuenta el NDVI (figura 5) es posible observar que la distribución de los valores más bajos, es decir correspondientes a coberturas que tienen una cantidad, densidad y/o vigorosidad de vegetación baja o nula, se ubicaron especialmente en el sector centro, macrocentro y sur del espacio urbano. Por su parte, los valores más altos del índice, es decir aquellos que expresaron una mayor cantidad, densidad y/o vigorosidad de vegetación, se ubicaron en zonas alejadas del centro y macrocentro acompañando la extensión de la ciudad. Se destacó el predominio de valores bajos en los píxeles de la imagen del sector correspondiente a la mancha urbana especialmente en el centro y macrocentro, en el área donde se localizan las instalaciones del sistema portuario al sureste, en el sector próximo a la planicie costera en el sur y en determinadas superficies vinculadas con construcciones relativas a complejos recreativos, comerciales y residenciales en el noreste de la ciudad. Por su parte, los valores altos (con mayor presencia de vegetación) correspondieron a espacios verdes y especialmente al periurbano de la ciudad.

Esta distribución de los valores explica que los sectores más alejados del centro presentan una cobertura vegetal que favorecería la absorción de agua ante un evento de precipitación extrema mientras que la superficie impermeabilizada en el valle de inundación del arroyo dificultaría el drenaje y generaría un aumento de la velocidad de la escorrentía por el material de las calles de asfalto. Sin embargo, es preciso destacar que en el sector céntrico también se encuentra una mayor proporción de infraestructura hidráulica (redes de alcantarillado, desagües pluviales, bocas de tormenta y canalizaciones, entre otras) que atenúan los efectos derivados de la acumulación de agua en las calles mientras que las áreas ubicadas en el periurbano, por su crecimiento reciente y dinamismo, no cuentan con la totalidad del equipamiento necesario para sobrellevar un evento de precipitación torrencial.

Tales cuestiones ponen de manifiesto la dificultad que conlleva analizar la configuración de escenarios de riesgo hídrico en espacios urbanos, dada la multiplicidad de factores que intervienen en la dinámica de este tramo de la cuenca. Es así como la relación de variables propias del medio natural con otras de tipo socio-cultural debieran considerarse de forma integral en el estudio del riesgo hídrico.

Luego, a través de la observación del índice NDBI puede observarse en la figura 6 que el centro y sureste del espacio analizado expresan los valores más altos indicando una mayor densidad de superficie construida e impermeabilizada. Este resultado puede explicarse en las dos formas que presenta la ciudad de Bahía Blanca para lograr su crecimiento: una de ellas, por verticalización y la otra, por extensión. Por su parte, en el sector sureste también se destacan las construcciones e instalaciones vinculadas con el sistema portuario. Es importante destacar que, a través de la observación de los valores de los píxeles de la imagen, se descubrió que una debilidad de este índice radica en que confunde las superficies de suelo desnudo y de agua con superficies impermeabilizadas. Por ello, es notable observar que hacia los extremos noroeste, noreste y suroeste los valores son elevados donde se evidencia suelo desnudo y hacia el límite de la planicie costera en el suroeste donde se ubican los canales de marea.

Exceptuando dichas confusiones de respuesta espectral, el NDBI, muestra claramente las áreas con predominio de las superficies construidas de las que no lo están. Ejemplo de ello, son los sectores cuyos valores son los más bajos del índice que se encuentran representados en color marrón y que corresponden al norte, oeste y sur del área estudiada. Es notable observar la discriminación de calles de tierra a través de dichos valores factor que debe considerarse debido a que promueve una acumulación prolongada de agua luego de la ocurrencia de una precipitación intensa.

En suma, teniendo en cuenta los valores más bajos del índice (representados en colores marrones), es decir aquellas coberturas con una menor proporción de superficie impermeabilizada, se destaca el periurbano de la ciudad especialmente hacia el norte, oeste y suroeste. Considerando los valores más altos del índice (representados en colores violetas) es decir, aquellas superficies impermeabilizadas, continúa destacándose el sector céntrico que sobrepasa los límites impuestos por el arroyo Napostá Grande y el Canal Maldonado; las instalaciones del sistema portuario hacia el sureste y establecimientos comerciales e instalaciones deportivas destinadas a un uso del suelo recreativo en el sector norte de la ciudad.

De la relación entre el NDVI y el NDBI se elaboró otro índice denominado Índice de Superficie Construida (BUI) que permitió discriminar claramente la presencia de superficie edificada ya que estas coberturas junto con el suelo desnudo suelen reflejarse más en el Infrarojo de Onda Corta (SWIR) que en el Infrarojo Cercano (NIR). En la figura 7 puede observarse que el sector céntrico de la ciudad y las áreas próximas a la planicie costera presentan los valores más altos de este índice (representados en colores rojos). Mientras que los valores más bajos (representados en colores verdes) se asocian con espacios verdes y superficies con un mayor predominio de vegetación en el periurbano y sector norte de la ciudad. De este modo, la relación entre la densidad y/o vigorosidad de la vegetación (obtenida en el NDVI) y la proporción de superficie construida (obtenida a través del NDBI) mediante la elaboración de un nuevo índice (BUI) permitió relacionar y superponer la información obtenida anteriormente para elaborar una nueva síntesis del comportamiento espectral de las coberturas consideradas.

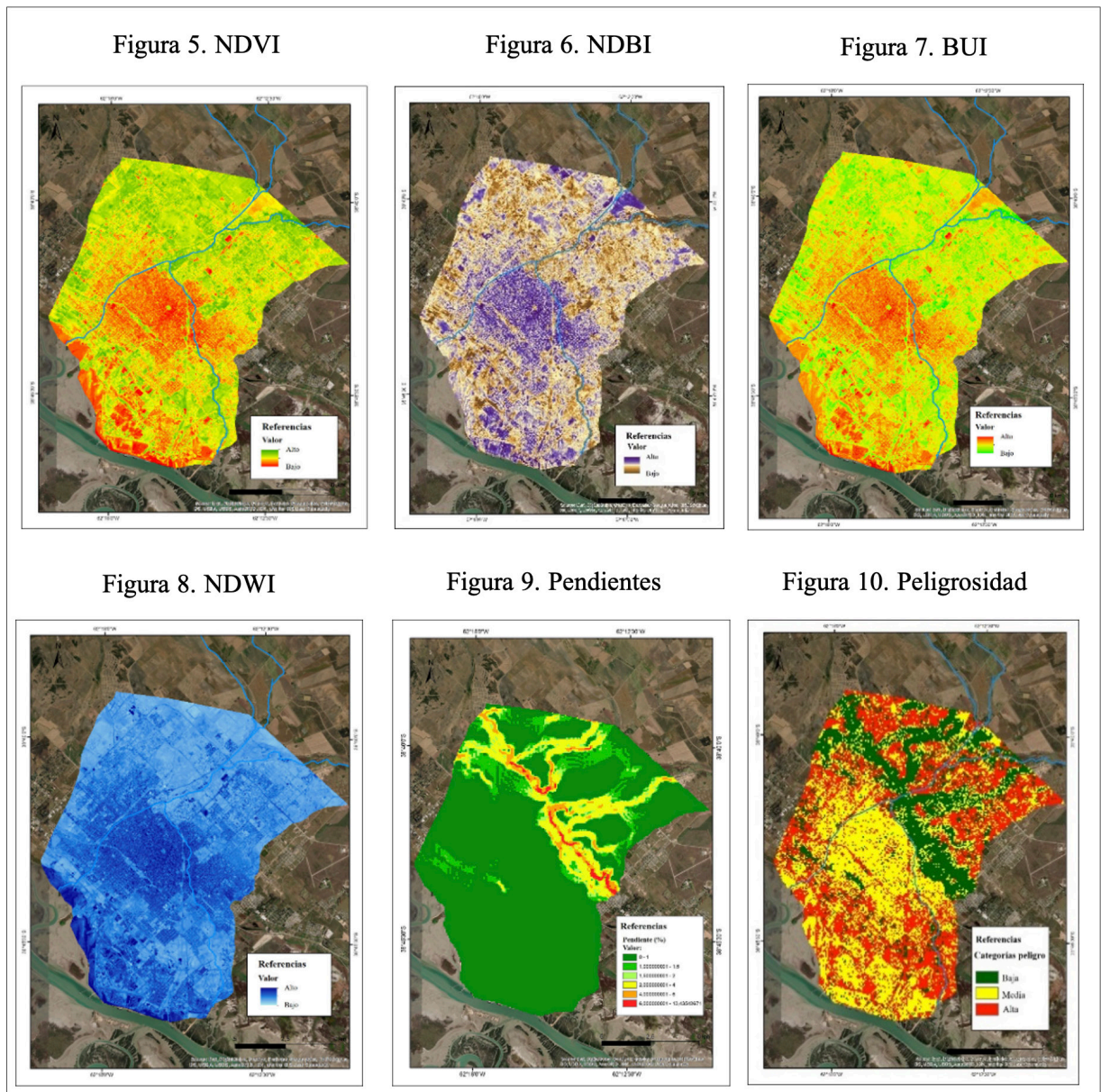
En relación con los valores derivados del NDWI, en la figura 8 se puede observar que la planicie costera representa los valores más elevados, así como las playas de estacionamiento de los centros comerciales de la ciudad, las áreas con presencia parcial de agua correspondiente a zonas inundables o anegadizas, los sectores con presencia de asfalto y los techos de edificaciones residenciales y comerciales que han concentrado la humedad luego de sucesivos días de precipitaciones. También, se observan sectores del sur y oeste de la ciudad en los que se evidencian valores altos en suelos que son potencialmente anegables por presencia de calles de tierra y ausencia de infraestructura urbana tendiente a favorecer el libre drenaje del agua, luego de una intensa lluvia. Por su parte, los valores más bajos se encuentran representados por zonas con predominio de cubierta vegetal debido a que, los espacios verdes y el periurbano de la ciudad, presentan una cobertura que absorbe la presencia de agua y amortigua posibles eventos de anegamientos e inundaciones.

Además de los índices elaborados, otra de las variables que ha sido considerada fue la pendiente debido a que sus diferentes niveles inciden en las modalidades de escurrimiento del agua. En el mapa elaborado (figura 9) es notable observar que la mayor parte de la superficie del tramo inferior de la cuenca presenta niveles de pendiente muy bajo correspondiente a terrenos llanos (0 - 1%). Se destacaron terrenos con pendientes de entre un 1 y 2 % en el sector norte de la ciudad donde luego de pendientes más pronunciadas el agua escurre y se deposita en bajos inundables. En cuanto a las pendientes medias (2 - 4 y 4 - 6%) es posible observar que se ubicaron en zonas lindantes al curso del arroyo y en sectores donde las curvas de nivel se encuentran más estrechas. Y, finalmente las pendientes más pronunciadas (6 - 13%) se localizaron próximas al curso fluvial e inciden notablemente en la dirección del escurrimiento determinando sectores susceptibles a la acumulación temporal o permanente de agua.

Teniendo en cuenta los índices efectuados y las características de las pendientes se realizó una reclasificación de cada una de las capas raster considerando la probabilidad de favorecer u obsta-

culizar la generación de escenarios de exceso hídrico. Luego se realizó una suma lineal ponderada de los índices (BUI, NDWI) y pendientes reclasificadas para obtener así, el mapa final de peligrosidad (figura 10).

En términos generales, se observa que los sectores que presentan una peligrosidad alta se ubicaron hacia el norte, sur y oeste y los que tienen una peligrosidad baja se localizan en el noreste, este y noroeste. Por su parte, se destaca zonas con peligrosidad media en la mayor parte del centro de Bahía Blanca disminuyendo esta tendencia a medida que la ciudad se extiende y sobrepasa los límites impuestos por el arroyo Napostá Grande, el canal Maldonado y las vías del ferrocarril.

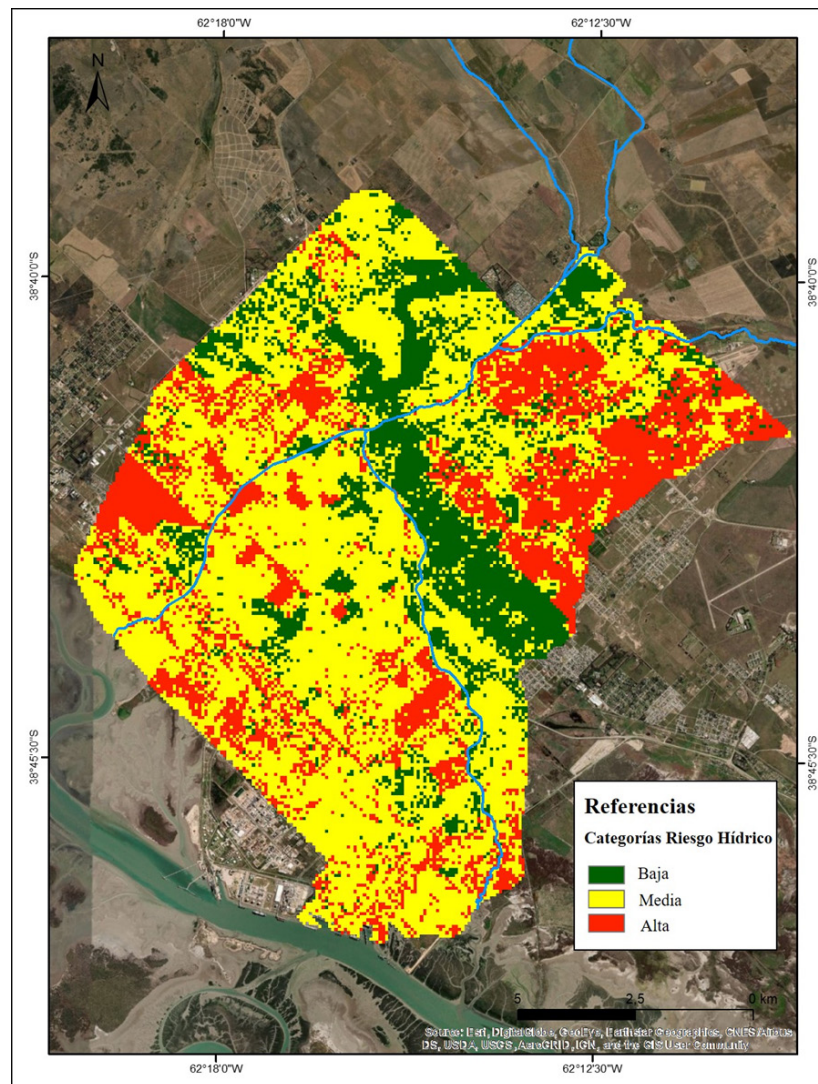


Fuente: Elaboración propia.

3.3. Cartografía del riesgo hídrico: un análisis ambiental a partir de la relación peligrosidad-vulnerabilidad en el sector inferior de la cuenca

De la relación entre la cartografía de vulnerabilidad elaborada previamente (Mastrandrea y Angeles, 2020) y de la peligrosidad (Mastrandrea, 2021; Mastrandrea y Angeles, 2021), se elaboró una nueva cartografía del riesgo hídrico, que incluyó tales dimensiones interrelacionadas a la vez que consideró la información derivada de la aplicación de diferentes técnicas: análisis estadístico de la precipitación, búsqueda bibliográfica y periodística sobre eventos de exceso hídrico, análisis de imágenes satelitales, obtención de índices y evaluación multicriterio a través de la aplicación de geotecnologías (figura 11).

Figura 11. Riesgo hídrico en el tramo inferior de la cuenca del arroyo Napostá Grande



Fuente: Elaboración propia.

Según la distribución de los píxeles que presentan los valores más altos de riesgo hídrico es posible observar la concentración de dichos valores en el sector noreste del área estudiada. La explicación de esta distribución se debe a que, según el Índice de Vulnerabilidad Social (IVS) aplicado y las variables ambientales ponderadas vinculadas con la probabilidad de conformar áreas susceptibles a sufrir eventos de exceso hídrico, este sector es el que presenta las condiciones más

desfavorables. Entre las variables que componen el IVS adquieren protagonismo especialmente las relativas al hogar y vivienda y entre las que manifiestan su importancia vinculadas con las variables de tipo ambiental se encuentran las relacionadas con la presencia de vegetación, edificación, humedad o agua en el suelo y características de la pendiente y del material de las calles.

Según la distribución de los diez valores más altos en la cartografía elaborada, es posible observar en el sector este de la ciudad una concentración de los píxeles que explican dicha distribución. En el sur, sureste y oeste también se identifican sectores con valores elevados a la vez que se destaca un sector lindante al cauce del arroyo Napostá Grande en su tramo final por el espacio urbano. Teniendo en cuenta los valores más bajos de riesgo hídrico se evidencia que en la franja que está delimitada por el arroyo Napostá Grande hacia el este de la ciudad, se localizan áreas con bajos niveles de riesgo hídrico. Esta misma tendencia se advierte hacia el noroeste en donde los terrenos tienen una mayor densidad de vegetación, presencia de espacios verdes y una menor proporción de superficie construida. Por su parte, hacia el noreste (en el sector próximo al arroyo Napostá Grande) se observa un sector en el que los valores de riesgo hídrico también son bajos.

Finalmente, teniendo en cuenta los valores medios de riesgo hídrico es posible observar que la mayor superficie del tramo inferior de la cuenca se encuentra representada por dicha categoría. Esta situación evidencia que, si bien una gran proporción del área bajo estudio se ubica en un nivel de riesgo hídrico de categoría media, es importante considerar los sectores que presentan un riesgo hídrico alto a través de su localización y análisis de posibles causas y efectos para la elaboración de diagnósticos territoriales que sirvan como insumos en la gestión del riesgo hídrico.

4. Discusión

En el análisis de los resultados obtenidos en este trabajo, se ha podido reconocer la presencia de sectores con niveles diferenciales de riesgo hídrico, en lo que respecta a la ocurrencia de eventos extremos del agua en el tramo inferior de la cuenca del arroyo Napostá Grande. Es importante destacar que la superposición de información espacial, a través de la aplicación de geotecnologías, constituye una metodología valiosa para el análisis de diferentes situaciones ambientales y para la toma de decisiones en cuencas hidrográficas de tamaño intermedio.

Se reconocen diversos trabajos que han abordado condiciones de peligrosidad en cuencas hidrográficas del ámbito regional y local (Quiroz Londoño *et al.*, 2013; Piccone, 2016; Gil, 2016; Volonté *et al.*, 2019) y estudios que se han abocado al análisis de las condiciones de vulnerabilidad (Prieto, 2016; Cardoso, 2017; Brendel *et al.*, 2020; Mastrandrea y Angeles, 2020; Moretto *et al.*, 2022; Reyes Pontet, 2022). Coincidimos con Prieto (2016) y Reyes Pontet (2022) en que las condiciones de vulnerabilidad ambiental en Bahía Blanca se encuentran mayormente en las áreas periféricas del espacio urbano. Entre los mayores problemas se encuentran: la falta de acceso a servicios básicos como agua potable, conexión a la red cloacal, acceso a energías limpias, así como también, problemas de anegamientos de calles y cercanías con basurales a cielo abierto, entre otros. Sin embargo, no se observan investigaciones del ámbito regional y local que avancen en la articulación entre la peligrosidad y la vulnerabilidad a partir de la interrelación espacial entre variables del medio físico-natural y socio-cultural y de la aplicación de diferentes técnicas cuali-cuantitativas ante a un evento hidrometeorológico extremo.

En el mapa final de riesgo hídrico, los sectores que presentan los niveles más altos se ubican hacia el este, sureste y oeste del espacio urbano. Esta distribución espacial responde a los criterios que

fueron considerados en el desarrollo de la investigación en lo que respecta a: características de la vegetación, superficie impermeabilizada y pendiente en relación con un evento de exceso hídrico. No obstante, en este tipo de resultados, también es preciso considerar las limitaciones de las técnicas empleadas, en cuanto a las ponderaciones efectuadas las cuales consideraron la probabilidad de favorecer u obstaculizar la generación de escenarios de exceso hídrico (según trabajo de campo, consulta de especialistas y de bibliografía específica) y en cuanto a las confusiones derivadas de la respuesta espectral de la imagen seleccionada, particularmente, por ser un espacio totalmente modificado por el proceso de urbanización.

Teniendo en cuenta la identificación de escenarios de riesgo hídrico en el tramo inferior de la cuenca del arroyo Napostá Grande es fundamental diseñar estrategias de intervención tendientes a la planificación territorial y a la gestión del riesgo. En este sentido, el presente trabajo constituye un primer aporte para el diseño de un plan integral de gestión del riesgo hídrico, ante la ocurrencia de inundaciones desbordes y anegamientos en el área de estudio, a través de la definición de programas, articulados en proyectos y actividades para aplicar en el corto, mediano y largo plazo (Mastrandrea y Pérez, 2021).

5. Conclusiones

En el presente estudio se analizaron las variables pertenecientes al subsistema natural y socio-cultural que interactúan en el tramo inferior de la cuenca del arroyo Napostá Grande para identificar y espacializar sectores con niveles diferenciales de riesgo hídrico. El reconocimiento de diferentes niveles de riesgo hídrico según categorías de intensidad (baja, media y alta), a través del uso de diferentes geotecnologías, aportó una información valiosa para el diseño de propuestas de planificación y ordenamiento territorial.

Entre las áreas que presentaron un nivel de riesgo hídrico alto se pueden mencionar los sectores del noreste, noroeste, sur y sureste del área de estudio; en la categoría que incluye un nivel de riesgo hídrico medio se encuentra una gran superficie del espacio urbano especialmente en el centro y macrocentro; mientras que las áreas que presentaron un nivel de riesgo hídrico bajo se localizaron mayormente en el sector norte y este del área de estudio. Considerando que el sector estudiado se localiza en una región que presenta una alternancia de eventos de exceso y déficit hídrico -la cual incide notablemente en el desarrollo de las prácticas de sus habitantes- es fundamental determinar las áreas susceptibles a ser afectadas por un evento potencialmente peligroso para diseñar las estrategias de intervención correspondientes.

Cabe mencionar que es importante establecer una cuantificación de la relación peligrosidad-vulnerabilidad para reconocer no sólo las áreas potencialmente expuestas a una amenaza sino también para estimar el incremento del riesgo hídrico a través del tiempo según la dinámica de las variables y categorías de análisis consideradas. Por este motivo, el uso de SIGs es primordial como herramienta de planificación y gestión territorial debido a que su versatilidad colabora en la actualización permanente de la información dada la variabilidad espacio-temporal de los factores desencadenantes de riesgo.

Teniendo en cuenta la identificación de escenarios de riesgo hídrico es fundamental, en primer lugar, adoptar medidas tendientes al conocimiento y actualización de la información relativa a la dinámica ambiental del área de estudio. En segundo lugar, es prioritario pensar en un conjunto de estrategias para aplicar de un modo simultáneo y continuo que consideren el momento pre-

vio a la ocurrencia de un evento potencialmente peligroso, el momento en el que se produce y el período de tiempo posterior al mismo. En esta instancia es recomendable interactuar con actores sociales provenientes de diferentes ámbitos (vecinal, sector periodístico, científico y político) con el propósito de definir prioridades y establecer acuerdos. Finalmente, en tercer lugar, se debiera establecer una política de gestión del riesgo hídrico participativa y continua a diversas escalas (nacional, provincial, a escala de cuenca, local y micro-local) para reducir los niveles de incertidumbre en relación con la probabilidad de ocurrencia de eventos potencialmente peligrosos, como fenómenos de exceso y déficit hídrico.

Consideramos pertinente incluir la aplicación de diversas técnicas, tanto cualitativas como cuantitativas, en el análisis del riesgo hídrico en cuencas de tamaño intermedio a fin de repensar en las políticas de gestión de riesgos de desastres por inundaciones. En este sentido, se plantean algunos desafíos e interrogantes a tener en cuenta, como por ejemplo: ¿es posible implementar un proceso continuo y participativo de gestión del riesgo hídrico que considere de forma conjunta e interrelacionada las instancias de generación de condiciones potencialmente peligrosas: antes (conocimiento, prevención), durante (emergencia) y después (rehabilitación, recuperación y seguimiento)?; ¿qué estrategias, escalas y actores son necesarios incluir en los procesos de planificación territorial y de gestión del riesgo hídrico?; ¿cuáles son las dificultades presupuestarias, legales, profesionales y tecnológicas a superar? ¿cómo articular los diversos saberes, intereses y tramas de sentido de los actores sociales involucrados en el área de estudio respecto de los frentes de agua urbanos y de sus servicios ambientales? Estos y otros interrogantes abren camino al desarrollo futuro de nuevas líneas de investigación que comienzan a transitarse con el propósito de diseñar propuestas de intervención tendientes a la gestión territorial y del riesgo.

Bibliografía

- Bosque Sendra, J. (2001). Planificación y gestión del territorio. De los SIG a los sistemas de ayuda a la decisión espacial (SADE). *El campo de las ciencias y las artes*, 138, 137-174.
- Brendel, A., Ferreli, F., Piccolo, M. C., y Perillo, G. M. (2020). Vulnerabilidad eco-ambiental y estrategias de manejo sustentable del territorio: el caso de la cuenca del río Sauce Grande (Argentina). *Anales de geografía de la Universidad Complutense* 40, 2, 299-322. <http://dx.doi.org/10.5209/AGUC.72976>
- Buzai, G.D. (2014). *Mapas sociales urbanos*. Buenos Aires, Argentina: Lugar Editorial.
- Buzai, G. D., Humacata, L., y Principi, N. (2019). *Análisis espacial con sistemas de información geográfica*. Bernal, Argentina: Universidad Nacional de Quilmes.
- Cardoso, M. M. (2017). Estudio de la vulnerabilidad socio-ambiental a través de un índice sintético. Caso de distritos bajo riesgo de inundación: Santa Fe, Recreo y Monte Vera. *Cuadernos de Geografía*, 27, 48, 156-183. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=333249827009>
- Carrica, J. (1998). *Hidrología de la cuenca del arroyo Napostá Grande, provincia de Buenos Aires (Hidrogeology of arroyo Napostá Grande basin)* (Tesis Doctoral). Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geología, Bahía Blanca.
- Casado, A. y Campo, A. M. (2019). Extremos hidroclimáticos y recursos hídricos: estado de conocimiento en el suroeste bonaerense, Argentina. *Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada*, 58,1, 6-26. doi: <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v58i1.6751>
- Congedo, L. (2016). Semi-automatic classification plugin documentation. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29474.02242/1>
- Camino Dorta, J., Gimeno Ortiz, M. y Ramón Ojeda, A. (2014). Las unidades ambientales homogéneas como herramientas para la ordenación territorial y la caracterización de litorales áridos. *Vegueta. Anuario de la Facultad de Geografía e Historia* 14, 199-228. Recuperado de: https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/12821/1/0234500_00014_0009.pdf

- Campo de Ferreras, A. M., Cappeli, A. y Diez, P. (2004). *El clima del suroeste bonaerense*. Bahía Blanca, Argentina: EdiUns.
- D'Ambrosio, G. T., Bohn, V. Y. y Piccolo, M. C. (2013). Evaluación de la sequía 2008-2009 en el oeste de la Región Pampeana (Argentina). *Cuadernos Geográficos*, 52, 1, 92-45. Recuperado de: <https://revistaseug.ugr.es/index.php/cuadgeo/article/view/924/1098>
- Gallegos Reina, A. J. (2018). *Caracterización y análisis de los riesgos naturales en el planteamiento urbanístico del litoral mediterráneo español*. Málaga, España: umaeditorial.
- Gil, V., Gentili, J., Campo, A. M., Jelinski, G. y Crisafulli, M. (2016). "Evaluación del peligro potencial de crecidas en cuencas serranas. Sistema de Ventania, provincia de Buenos Aires". En *actas del III Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos*, Conferencia llevada a cabo en Ezeiza, Argentina.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC, 2010). *Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda*. Ministerio de Economía, Argentina.
- IPCC. (2012). *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation*. Cambridge University press, Cambridge, Inglaterra.
- Iturralde-Vinent, M. A. I. V. (2019). Peligro de inundaciones por intensas lluvias en Cuba: Comportamientos. *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*, 8, 2, 16-28. Recuperado de: <http://www.revistaccuba.cu/index.php/revacc/article/view/461>
- *La Nueva*, (2015, enero, 2). A solo 3,1 mm del récord de lluvias. Sección La Ciudad. Recuperado de: <https://www.lanueva.com/nota/2015-1-2-0-53-0-a-solo-3-1-milimetros-del-record-de-lluvias>
- *La Nueva*, (2015, marzo, 14). Desbordó el arroyo Napostá y Defensa Civil tuvo que evacuar a una mujer y su hija. Sección La Ciudad. Recuperado de: <https://www.lanueva.com/nota/2015-3-14-9-0-0-desbordo-el-arroyo-naposta-y-defensa-civil-tuvo-que-evacuar-a-una-mujer-y-su-hija>
- Lavell, A. (2002). Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano. Problemas y conceptos: hacia la definición de una agenda de investigación. En M. A. Fernández (Comp.). *Ciudades en riesgo. Degradación ambiental, riesgos urbanos y desastres* (13 - 42). Panamá: La Red.
- Mastrandrea, A. y Angeles, G. (2020). Aplicación de un índice de vulnerabilidad social. El caso de la ciudad de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires (Argentina). *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)*, 10, 16, 26-51. Recuperado de: <http://www.revistageosig.wixsite.com/geosig>
- Mastrandrea, A. (2021). *Percepción y representaciones sociales del riesgo hídrico en el sudoeste bonaerense. El caso de la cuenca del arroyo Napostá Grande* [tesis de Doctorado, Universidad Nacional del Sur]. Repositorio Institucional UNS. <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/5544>
- Mastrandrea, A. y Pérez, M. I. (2021) Propuesta metodológica para la gestión integral del riesgo hídrico: el caso de la cuenca del arroyo Napostá Grande (Argentina). *Papeles de Geografía*, 2021, no 67. doi: <https://doi.org/10.6018/geografia.470311>
- Mastrandrea, A. y Angeles, G. R. (2021). Evaluación Multicriterio aplicada a la determinación de escenarios de peligrosidad en la cuenca del arroyo Napostá Grande (provincia de Buenos Aires, Argentina). *Cuadernos Geográficos*, 60(1), 181-202. doi: <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v60i1.15337>
- Mastrandrea, A. y Ríos, D. M. (2022). Conflictos ambientales e imaginarios geográficos en territorios fluviales urbanos: controversias en torno a la gestión de riesgo de desastres por inundaciones en la ciudad de Bahía Blanca. *Cardinalis*, (19), 6-33. Recuperado de: <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/cardi/article/view/40019>
- Maskrey, A. (1993). *Los desastres no son naturales*. Colombia: La Red.
- Martín Barajas, S. y González Briz, E. (2020). La renaturalización de los tramos urbanos de los ríos [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://blogs.publico.es/ecologismo-de-emergencia/2020/01/13/la-renaturalizacion-de-los-tramos-urbanos-de-los-rios/>
- Moretto, B., Gentili, J. O. y Campo, A. M. (2022). Evaluación de la vulnerabilidad en el partido de coronel suárez (Argentina) como aporte a la gestión del riesgo de inundación. *Papeles de Geografía*, (68). doi: <https://doi.org/10.6018/geografia.514461>
- Olcina Cantos, J., Baños Castiñeira, C. J., y Rico Amorós, A. M. (2016). Medidas de adaptación al riesgo de sequía en el sector hotelero de Benidorm (Alicante, España). *Revista de Geografía Norte Grande*, 65, 129-153. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022016000300007>
- Perles-Rosello, M. J., Merida-Rodriguez, M. F., Olcina Cantos, J., Sortino Barrionuevo, F., Pardo García, S., Reyes Corredera, S. y Galacho-Jimenez, F. B. (2017). Road-risk: metodología para la identificación de puntos conflic-

tivos por riesgos múltiples en infraestructuras viarias tras episodios torrenciales. Recuperado de: <https://riuma.uma.es/xmlui/handle/10630/14746>

- Piccone, N. (2016). Detección de áreas urbanas con peligro de inundación. En S. Linares (Comp.). *Soluciones espaciales a problemas sociales urbanos: aplicaciones de tecnologías de la información geográfica a la planificación y gestión municipal* (161-169). Tandil, Argentina: Universidad Nacional del Centro de la provincia de Buenos Aires.
- Prieto, M. B. (2016). Vulnerabilidad sociodemográfica en el aglomerado urbano de Bahía Blanca-Argentina. *Anais*, 1-20. Recuperado de: <http://www.abep.org.br/~abeporgb/publicacoes/index.php/anais/article/viewFile/1817/1776>
- Reyes Pontet, M. D. y London, S. (2020). Análisis de la situación de los barrios vulnerables de Bahía blanca: Las desventajas medioambientales como contribución a las trampas de pobreza (pp. 559-574). En C. Guzowski, M. I. Martín y M. F. Zabaloy (coord.) (2020). *Energía, innovación y ambiente para una transición energética sustentable: retos y perspectivas*. Bahía Blanca, Argentina: EdiUns.
- Ríos, D. y Natenzon C. (2015). Una revisión sobre catástrofes, riesgo y Ciencias Sociales. En: C. Natenzon y D. Ríos (Eds.). *Riesgos, catástrofes y vulnerabilidades. Aportes desde la Geografía y otras Ciencias Sociales para casos argentinos* (1-27). Buenos Aires, Argentina: Imago Mundi.
- Ríos, D. (2023). El Bajo de San Isidro, las elites y las aguas del Plata: un paisaje de naturaleza excluyente en los suburbios bonaerenses entre las décadas de 1850 y 1940. En P. Zusman, V. Hollman y C. Pérez Winter (coord.). *Imaginar la Nación en Tiempos de Globalización*. Buenos Aires, Argentina: Ed. Facultad de Filosofía y Letras, UBA.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W. y Harlan, J.C. (1974). *Monitoring the vernal advancements and retrogradation of natural vegetation*. Estados Unidos, NASA/GSFC.
- Schroeder, T.A., Cohen, W.B., Song, C., Canty, M.J. y Yang, Z. (2006). Radiometric correction of multi-temporal Landsat data for characterization of early successional forest patterns in western Oregon. *Remote Sensing of Environment*, 103, 1, 16-26. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425706001179>
- Timbe, L., y Timbe, E. (2012). Mapeo del peligro de inundación en ríos de montaña, caso de estudio del río Burgay. *Maskana*, 3, 1, 87-96. Recuperado de: <https://doi.org/10.18537/mskn.03.01.07>
- Vásquez Lozada, K. P. (2019). Aplicación de sistemas de información geográfica y Hec-Ras para calcular el peligro por inundaciones en la cuenca baja del río Huarmey. Recuperado de: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/21955>
- Volonté, A., y Gil, V. (2019). Aportes de la hidrogeomorfología histórica en la determinación de áreas inundables a partir de eventos extremos de crecidas. *Huellas*, 23, 1, 11-26. Recuperado de: <https://cerac.unlpam.edu.ar/index.php/huellas/article/view/3532>
- Quiroz Londoño, O. M, Grondona, S.I., Massone, H.E., Farenga, M., Martínez, G. y Martínez, D.E. (2013). Modelo de anegamiento y estrategia de predicción- prevención del riesgo de inundación en áreas de llanura: el Sudeste de la provincia de Buenos Aires como caso de estudio. *Geofocus*, (13-1),76-98. Recuperado de: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/25139/CONICET_Digital_Nro.549a2a90-f89e-4e08-bedc-37612d5c1420_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Agradecimientos

Los autores agradecen especialmente los comentarios y sugerencias de los evaluadores que otorgaron mayor solidez al estudio.

Contribución de autorías

La redacción, organización del artículo, planteo teórico-metodológico y tratamiento de la información climática y cartográfica ha correspondido a Aldana Mastrandrea.

Por su parte, Guillermo Angeles se encargó de la supervisión y revisión final del estudio, así como de parte del procesamiento y tratamiento de la información final en el SIG.

Financiación

La presente investigación se realizó en el marco de subsidios otorgados por la Comisión de Investigaciones Científicas (CIC) de la provincia de Buenos Aires y la Universidad Nacional del Sur (UNS) para la realización de la tesis doctoral:

“Percepción y representaciones sociales del riesgo hídrico en el sudoeste bonaerense. El caso de la cuenca del arroyo Napostá Grande” (Mastrandrea, 2021).

Además se contaron con los fondos provenientes del Proyecto (PGI 24/G087): “Los espacios locales y regionales como una construcción socio-cultural. Análisis multiescalar”, subsidiado por la Secretaría General de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional del Sur. Dirigido por la Dra. María Inés Pérez y co-dirigido por el Dr. Guillermo R. Angeles del Departamento de Geografía y Turismo de la Universidad Nacional del Sur.

Conflicto de intereses

Los/as autores/as de este trabajo declaran que no existe ningún tipo de conflicto de intereses.