

ESTIMACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A INUNDACIONES EN LA CUENCA INFERIOR DE RÍO NEGRO, ARGENTINA

GRETHEL GARCIA BU BUCOGEN^{1,2} 

MARIA CINTIA PICCOLO^{1,2} 

VANESA YAEL BOHN^{2,3} 

RESUMEN – El objetivo del artículo es estimar la susceptibilidad ante inundaciones por desborde fluvial, tomando en cuenta condiciones meteorológicas promedio, sobre la base del estudio de variables geomorfológicas, hidrográficas y edáficas. La región de estudio se ubica en el sector inferior de la cuenca del Río Negro (Argentina). La zonificación del área de estudio, según su susceptibilidad ante inundaciones, es resultado de una Evaluación Multicriterio (EMC) la cual se realiza mediante la suma ponderada de variables y sobre la base de criterios publicados en la bibliografía nacional e internacional. Las variables físicas analizadas fueron: máxima extensión de agua, cobertura, orden, drenaje y textura del suelo, pendiente topográfica y geomorfología del área. Estas fueron integradas en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Los datos utilizados corresponden a las bases de datos del Instituto Geográfico Nacional de la República Argentina (IGN), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y de bases de datos previamente publicadas. Los resultados categorizan un 46,7% (1 321,6km²) de territorio estudiado con susceptibilidad baja o media. La ciudad de Viedma y las localidades Zanjón de Oyuela, La Boca y Primera Angostura corresponden a zonas altamente susceptibles a inundarse. Se determinó que la ocurrencia de inundaciones es mayor en áreas de pendientes topográficas de 1% y con drenaje del suelo deficiente. Los resultados fueron corroborados con eventos históricos de inundación en el área.

Palabras-clave: Susceptibilidad; inundaciones; zonificación; Evaluación Multicriterio; Argentina.

Recibido: 03/12/2020. Aceite: 04/06/2021. Publicado: 01/12/2021.

¹ Instituto Argentino de Oceanografía, Universidad Nacional del Sur (IADO-UNS), Florida 4500, Camino La Carrindanga, km 7,5, Bahía Blanca, Argentina. E-mail: grethelgbb@gmail.com; gbucogen@iado-conicet.gob.ar; mpiccol@gmail.com

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Bahía Blanca, Argentina.

³ Departamento de Geografía y Turismo (DGYT), Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina. E-mail: vanesa.bohn@uns.edu.ar

RESUMO – ESTIMATIVA DA SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÕES NA BACIA INFERIOR DO RÍO NEGRO, ARGENTINA. O objetivo deste artigo é estimar a suscetibilidade a inundações por transbordo de rios, tendo em consideração as condições meteorológicas médias, com base no estudo de variáveis geomorfológicas, hidrográficas e edáficas. A região de estudo está localizada no setor inferior da bacia do Rio Negro (Argentina). O zonamento da área de estudo, de acordo com a sua suscetibilidade a inundações, é o resultado de uma Avaliação Multicritério (MCE) realizada através da soma ponderada das variáveis e baseada em critérios publicados na bibliografia nacional e internacional. As variáveis físicas analisadas foram: extensão máxima da água, cobertura, ordem, drenagem e textura do solo, declive topográfico e geomorfologia da área. Estas foram integradas num Sistema de Informação Geográfica (SIG). Os dados utilizados correspondem às bases de dados do Instituto Geográfico Nacional da República Argentina (IGN), do Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária (INTA) e de bases de dados previamente publicadas. Os resultados categorizam 46,7% (1 321,6km²) do território estudado com baixa ou média suscetibilidade. A cidade de Viedma e as localidades de Zanjón de Oyuela, La Boca e Primera Angostura correspondem a áreas altamente suscetíveis a inundações. Determinou-se que a ocorrência de inundações é maior em áreas de declives topográficos de 1% e com má drenagem do solo. Os resultados foram corroborados com eventos históricos de cheias na área.

Palavras-chave: Suscetibilidade; inundações; zonamento; Avaliação Multicritério; Argentina.

ABSTRACT – ESTIMATE OF SUSCEPTIBILITY TO FLOODS IN THE LOWER BASIN OF RÍO NEGRO, ARGENTINA. The objective of the article is to estimate the susceptibility to flooding due to river overflow, taking into account average meteorological conditions, based on the study of geomorphological, hydrographic and edaphic variables. The study region is located in the lower section of the Río Negro basin (Argentina). The zoning of the study area, according to its susceptibility to flooding, is the result of a Multicriteria Evaluation (MCE), which is carried out using the weighted sum of variables and based on criteria published in the national and international bibliography. The physical variables analyzed were maximum water extension, land cover, order, drainage and soil texture, topographic slope and geomorphology of the area. These are integrated into a Geographic Information System (GIS). The data used correspond to the databases of the National Geographic Institute of the Argentine Republic (IGN), the National Institute of Agricultural Technology (INTA) and previously published databases. The results categorize 46,7% (1 321,6km²) of the studied territory with low or medium susceptibility. The city of Viedma and the towns of Zanjón de Oyuela, La Boca and Primera Angostura correspond to areas highly susceptible to flooding. It was determined that the occurrence of floods is more significant in areas with topographic slopes of 1% and poor soil drainage. The results show agreement with historical flood events in the area.

Keywords: Susceptibility; floods; zoning; Multi-criteria Evaluation; Argentina.

RÉSUMÉ – ESTIMATION DE LA SUSCEPTIBILITÉ AUX INONDATIONS DANS LE BASSIN INFÉRIEUR DU RÍO NEGRO, ARGENTINE. L'objectif de cet article est d'estimer la susceptibilité aux inondations dues au débordement des rivières, en tenant compte des conditions météorologiques moyennes, à partir de l'étude de variables géomorpholo-

giques, hidrográficas y edáficas. La región de estudio está situada en el sector inferior del cuenca del Río Negro (Argentina). El zonaje de la zona de estudio, en función de su sensibilidad a las inundaciones, es el resultado de una Evaluación Multicriterios (MCE) realizada a través de la suma ponderada de las variables y basada en los criterios publicados en la bibliografía nacional e internacional. Las variables físicas analizadas fueron: la extensión máxima del agua, la cobertura, el orden, el drenaje y la textura del suelo, la pendiente topográfica y la geomorfología de la zona de estudio. Estas variables se integran en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Los datos utilizados corresponden a las bases de datos del Instituto Geográfico Nacional de la República Argentina (IGN), del Instituto Nacional de Tecnología Agrícola (INTA) y a las bases de datos previamente publicadas. Los resultados clasifican el 46,7% (1 321,6 km²) del territorio estudiado con una sensibilidad baja o moderada. La ciudad de Viedma y los pueblos de Zanjón de Oyuela, La Boca y Primera Angostura corresponden a zonas muy sensibles a las inundaciones. Se ha determinado que la frecuencia de inundaciones es más importante en las pendientes topográficas del 1% y con mal drenaje del suelo. Los resultados han sido corroborados por los eventos de inundaciones históricas en la zona.

Mot clés: Susceptibilidad; inundación; zonaje; Evaluación Multicriterios; Argentina.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, las inundaciones producidas por desbordamientos de ríos son reconocidas como una de las principales causas de daños económicos y pérdida de vidas humanas en todo el mundo (Dottori *et al.*, 2016). Una inundación fluvial es el proceso durante el cual ocurre el anegamiento del territorio adyacente al cauce del río (Gatica Herrera *et al.*, 2019; Rojas *et al.*, 2014). Este fenómeno se convierte en un peligro cuando las zonas que son propensas a inundarse se encuentran humanamente ocupadas (Keller & Blodgett, 2007; Rojas *et al.*, 2014). Al concretarse la amenaza, se producen catástrofes o desastres con impacto directo sobre la economía y la sociedad (Benjamín, 2008; Hernández-Uribe *et al.*, 2017).

Las inundaciones fluviales pueden ser provocadas por fuertes tormentas, colapso de infraestructuras, deshielos estacionales y crecidas asociadas a erupciones volcánicas (Adhikari *et al.*, 2010; Ollero, 1997; Rojas *et al.*, 2014). Con la ocurrencia de lluvias intensas durante períodos prolongados el suelo se satura, cesa la infiltración y se generan excesos hídricos en la superficie. Además, si la evaporación es escasa se posibilita el anegamiento del terreno durante tiempos prolongados (Taboada & Damiano, 2017). Este tipo de fenómeno se agrava si el terreno ha tenido un manejo inadecuado de los suelos (Camilloni *et al.*, 2020).

Las condiciones de susceptibilidad se verán favorecidas en dependencia del orden de los suelos, drenaje, el contenido de humedad y su textura. Obviamente, las zonas con depresiones en el relieve son potencialmente propensas a inundarse. El rápido escurrimiento o anegamiento de un lugar depende también de la pendiente del terreno. El tipo de cobertura del terreno influirá sobre los procesos de infiltración o los de escurrimiento (Olivera Acosta *et al.*, 2011).

La modificación de la cobertura del suelo producida por las actividades humanas, el vertimiento de desechos y escombros, la deforestación, urbanización y el entubamiento del río provocan una disminución de la capacidad de infiltración del terreno y de la evacuación de los ríos. Con el objetivo de realizar una correcta zonificación de un área en relación a su susceptibilidad ante inundaciones es necesario realizar el análisis de sus parámetros geomorfológicos y edáficos. Estos trabajos van dirigidos a los tomadores de decisión para mitigar daños y perfeccionar el planeamiento urbano (Olivera Acosta *et al.*, 2001).

A nivel internacional, se han realizado numerosos estudios sobre zonificación de territorios susceptibles a inundaciones teniendo en cuenta factores naturales (Melo Cuellar *et al.*, 2020; Vergara Noriega, 2020; Villamizar *et al.*, 2019). Montecelos Zamora *et al.* (2010) aplicaron una metodología exitosa basada en los criterios de influencia integrada y la correlación de los principales factores físico-geográficos que provocan las inundaciones del terreno aledaño al Río Cauto (Cuba). Igarza Sánchez (2019) aplicó el método de Evaluación Multicriterio (EMC) y funciones SIG para la determinación de escenarios de peligros de inundaciones en cuencas fluviales de la localidad de La Habana (Cuba). En el sector costero de la ciudad de La Serena (Chile), de características semiáridas, se identificaron las unidades de paisaje más propensas a los desastres naturales (Soto *et al.*, 2015). Estas investigaciones lograron la delimitación exitosa de las zonas más sensibles a procesos de inundación o anegamiento utilizando jerarquización de variables y aplicando Evaluación Multicriterio (EMC).

En Argentina, las inundaciones constituyen los desastres naturales que causan el 95% de los daños económicos. Se estima que uno de cada tres argentinos vive en áreas inundables, lo cual suma 14,2 millones de personas (Foro Ambiental, 2017). Entre los trabajos elaborados con el objetivo de delimitar zonas propensas a anegamiento del terreno se destacan aquellos referidos a la dinámica espacial y temporal de lagunas pampeanas permanentes y semipermanentes y a aplicaciones de herramientas de teledetección y SIG (Bohn & Piccolo, 2018; Carrascal *et al.*, 2018). Además, se han cartografiado áreas de riesgo a inundaciones y anegamientos a partir de modelos digitales de elevación (Meza *et al.*, 2017).

El río Negro, único curso de la cuenca homónima, presenta un gran caudal y es uno de los más importantes de Argentina (Fabregat, 2010). Su cuenca hidrográfica se encuentra densamente poblada y se destaca el desarrollo de actividades agrícolas, ganaderas y turísticas. Desde hace más de 121 años, el sector inferior de la misma ha sido noticia debido a la ocurrencia de inundaciones (Pérez Morando, 2005). Durante los años 1899, 1973, 1976, 1977, 1979, 1981 y 2010 se produjeron eventos de inundación como consecuencia de lluvias intensas, fuertes vientos y aumentos del caudal del río por encima de lo habitual (DesInventar, 2020).

Kokot *et al.* (2004) zonificaron el litoral del sector inferior de la cuenca de Río Negro teniendo en cuenta su vulnerabilidad ante el ascenso del nivel del mar. En dicho trabajo, se consideraron factores geomorfológicos y climáticos. A pesar de los eventos de inundación reportados hacia el interior de la cuenca, actualmente no se han realizado estudios que delimiten las áreas más susceptibles a desbordes fluviales. Por lo tanto, el objetivo del presente artículo es estimar la susceptibilidad de la cuenca inferior del Río Negro ante

inundaciones fluviales, considerando la geomorfología de la zona de estudio y condiciones meteorológicas medias. Los resultados son comparados de forma cualitativa y cuantitativa con los antecedentes de la región, mediante lo cual se identifican las poblaciones y servicios que son vulnerables a los eventos de crecidas o avenidas.

II. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio es el sector inferior de la cuenca hidrográfica del Río Negro, localizada entre 40°-41°S y 63°-64°O, en el noreste de la región patagónica argentina (fig. 1), de acuerdo a la delimitación propuesta por la Subsecretaría de Recursos Hídricos-Instituto Nacional da Água ([SRRH-INA], 2002). Este sector incluye a las unidades administrativas de Adolfo Alsina y Conesa (provincia de Río Negro), además de Carmen de Patagones (provincia de Buenos Aires). Esta zona de la cuenca tiene una orientación NO-SE. Abarca ~2000km², desde la localidad de Primera Angostura hasta su desembocadura en el Océano Atlántico (SRRH-INA, 2002).

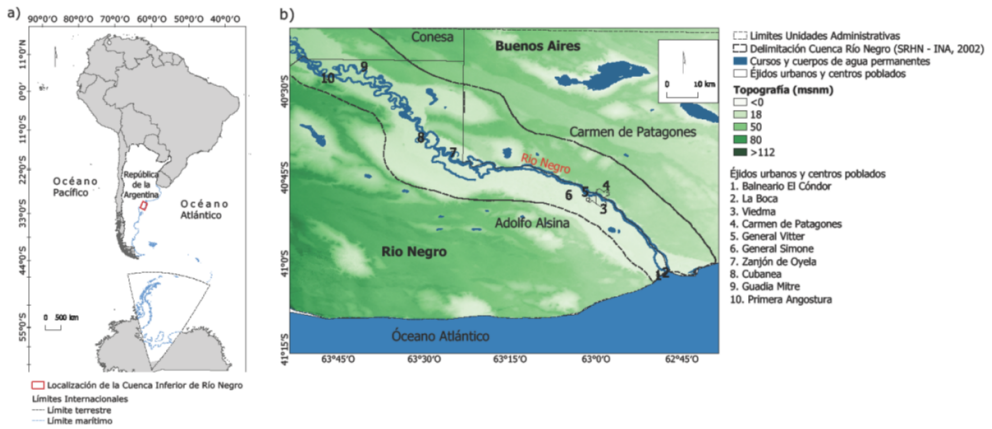


Fig. 1 – Área de estudio: a) localización del área de estudio en las provincias de Buenos Aires y Río Negro, Argentina; b) cuenca inferior del río Negro. Figura en color disponible en línea.

Fig. 1 – Study area: a) location of the study area in the provinces of Buenos Aires and Río Negro, Argentina; b) lower basin of the Negro river. Colour figure available online.

Fuente: elaboración propia sobre la base de datos de la Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación Argentina (SRRH; 2002), del Instituto Geográfico Nacional (IGN) de la República Argentina (2017) y DEM SRTM (Farr et al., 2007)

Los suelos son de textura fina a media, predominan los órdenes Aridisoles, Entisoles y Fluvisoles (Coronato *et al.*, 2017; Morello *et al.*, 2012) y presentan rápido escurrimiento. El río adopta un diseño meandroso, con presencia de cauces abandonados o secos (Fabregat, 2010). El relieve es predominantemente llano, de mesetas. La zona más baja se encuentra al nivel del mar y se localiza hacia el sur del área de estudio. El relieve presenta cordones salinos los que, ocasionalmente, superan los 2m sobre el mar (snm; ECYT-AR, 2021).

El clima es semiárido transicional a árido de estepa. La temperatura media anual es 15°C y la precipitación es 300mm/año (Morello *et al.*, 2012). La cobertura del suelo predominante es la de vegetación herbácea y cultivos (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria [INTA], 1990). Se destacan tres tipos de producción: actividades agrícolas intensivas bajo riego, forrajera y la ganadería (ECYT-AR, 2021).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

La cartografía de susceptibilidad a inundaciones en la cuenca inferior del Río Negro se realizó con la ponderación de las siguientes variables: cobertura y usos del suelo, unidades geomorfológicas, tipo y drenaje del suelo e hidrografía. Se utilizaron diferentes bases de datos previamente publicadas (Pekel *et al.*, 2016), así como también datos de los organismos oficiales, cuyos detalles se brindan a continuación:

- a) Unidades Geomorfológicas (E: 1:500 000), Drenaje del suelo (E: 1:500 000), Textura del suelo (E: 1:500 000), de Carta de Suelos de la República Argentina del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, 1990);
- b) Cuerpos de agua (E: 1:250 000), de Infraestructura de Datos Espaciales del Instituto Geográfico Nacional (IGN, 2017);
- c) Relieve (E: 1:250 000), Cursos de agua (E: 1: 250 000) e Infraestructura de Datos Espaciales de Centros poblados (E: 1:250 000), de Infraestructura de Datos Espaciales del IGN (2017);
- d) Máxima extensión de agua (MEA; resolución 10°x10°), del *Global Surface Water Explorer* (2020) – Data Access (Pekel *et al.*, 2016).

Las unidades geomorfológicas, drenaje y textura de suelo fueron obtenidas a partir de los mapas de suelos provinciales que integran el Atlas de Suelos de la República Argentina (INTA, 1990) digitalizados en el Instituto de Suelos en formato vectorial (INTA, 2013). La capa relativa a la máxima extensión de agua (MEA) se adquirió de *Global Surface Water Explorer* para el período comprendido entre 1984-2015, a partir de tres conjuntos de datos que capturan la distribución temporal del agua: la recurrencia mensual, histórica anual y mensual del agua. Pekel *et al.* (2016) establecen que MEA fue obtenida a partir de inventarios y descripciones obtenidas de bases gubernamentales, extrapolación estadística de datos regionales e imágenes satelitales. La capa fue elaborada sobre una base de datos satelitales *LANDSAT*, cuantificándose los cambios en el agua superficial global con una resolución de 30m.

Las variables fueron adaptadas al área de estudio. Posteriormente, fueron ponderadas y jerarquizadas sobre la base de consulta bibliográfica de publicaciones referidas a la factibilidad de inundación según las características del terreno (Agencia de Medio Ambiente

[AMA], 2014; Montecelos Zamora *et al.*, 2010; Panigatti, 2010). Se tomaron en cuenta, además, los criterios planteados por Carrascal *et al.* (2018), Rodríguez Miranda y Valcarce Ortega (2005), Montecelos Zamora *et al.* (2010), Olivera Acosta *et al.* (2011) y Zepeda González (2011; fig. 2).

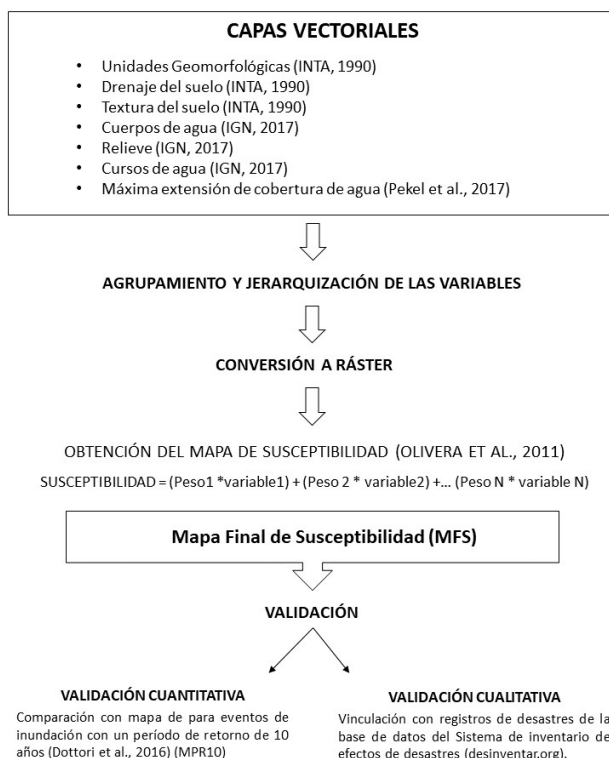


Fig. 2 – Esquema de trabajo empleado para la estimación de la susceptibilidad a inundaciones en la cuenca inferior del río Negro (Argentina).

Fig. 2 – Scheme of work used to estimate the susceptibility to floods in the lower basin of the Negro River (Argentina).

La asignación de pesos y jerarquización de variables fue obtenida en base al criterio de expertos publicado en la bibliografía, donde se analiza la contribución de cada criterio para la definición de fenómenos de inundación, con la asignación de valores de un y diez (tabla I). Mientras, la tipificación para la textura se realizó considerando la clasificación taxonómica de suelos (Panigatti, 2010). En cuanto a la cobertura de agua, se asignó un valor de diez a los sitios que presentaron agua y un valor de un para aquellos en los que no se indicó la presencia de agua (Pekel *et al.*, 2016), respectivamente. Las variables, con formato ráster, fueron analizadas en un entorno SIG, tras lo cual se aplicó la metodología de Evaluación Multicriterio (EMC; Olivera Acosta *et al.*, 2011).

Tabla I – Criterios y ponderaciones utilizados en el procesamiento en la EMC, sobre la base de datos y conceptos teóricos de Olivera Acosta *et al.* (2011).

Table I – Criteria and weightings used in the processing in the EMC, based on data and theoretical concepts of Olivera Acosta et al. (2011).

Criterios	Peso	Posición Jerárquica	Peso Ponderado (Carrascal <i>et al.</i> , 2018; Olivera Acosta <i>et al.</i> , 2011)
Cobertura y usos del suelo (INTA, 1990)	1	Arenal	0,03
	3	Suelo desnudo	
	5	Planta Urbana	
	7	Bosques y Plantas Perennes	
	8	Herbáceas	
	9	Paleocauce	
Drenaje del suelo (INTA, 1990)	10	Humedal	0,17
	1	Excesivo	
	3	Algo excesivo	
	5	Bien drenado	
	9	Muy pobremente drenado	
Pendiente del terreno (INTA, 1990)	10	Influido por el río	0,22
	7	>3°	
	8	2°	
	9	1°	
Presencia de agua (Pekel <i>et al.</i> , 2016)	10	0°	0,25
	1	Sin presencia de agua	
Textura (INTA, 1990)	10	Con presencia de agua	0,12
	1	Arenosa	
	3	Areno franca	
	7	Franco arenosa	
Clasificación del suelo (INTA, 1990)	9	Franca	0,14
	10	Influido por el río	
	1	Aridisoles	
Geomorfología (INTA, 1990)	3	Entisoles	0,07
	9	Influido por el río	
	1	Pendiente	
	2	Loma	
	3	Duna	
	5	Meseta con tosca	
9	Llanura		
10	Bajo		

La suma lineal para la ponderación de cada criterio se realizó en la calculadora ráster del SIG gratuito *QGIS* (www.qgis.org) de acuerdo con la expresión propuesta por Olivera Acosta *et al.* (2011), para la obtención del mapa de susceptibilidad de inundación:

$$SUSCEPTIBILIDAD (S) = (Peso (P) 1 * variable (V) 1) + (P2 * V2) + \dots (PN * VN),$$

donde los *P* ponderados fueron tomados de la metodología propuesta por Carrascal *et al.* (2018) y Olivera Acosta *et al.* (2011). Luego, fueron multiplicados por las ponderaciones de las variables (*V*) de drenaje, textura y tipo de suelo; existencia de agua; pendiente y coberturas del terreno, correspondientes al área de estudio.

La sensibilidad de los resultados se evaluó a nivel cuantitativo y cualitativo. Se analizó el mapa publicado por el Centro Común de Investigación de la Comisión Europea (Joint Research Centre of European Commission, 2020) como base de datos de áreas propensas a inundaciones a escala global para eventos de inundación con un período de retorno de 10 años (PR10; Dottori *et al.*, 2016). De acuerdo a la mencionada base de datos, el área propensa a inundación en la zona de estudio abarca ~1193,7km². Este sector se extiende en las áreas SO, NO y centro de la cuenca. La resolución espacial es de ~1km, en la que los valores de las celdas indican la profundidad de la lámina de agua (m). Para el área de estudio, de acuerdo a la mencionada base de datos, los valores de la profundidad de lámina de agua en áreas inundables son menores que 2m mostrando algunos sectores con profundidades de 3 a 6m. La base de datos fue desarrollada por Dottori *et al.* (2016) a partir de información de *Era Interim*, simulaciones de flujo de corriente de *GloFAS* y con escenarios de inundación derivados de un modelo hidrodinámico utilizando la geometría de la red fluvial derivada de los datos del terreno de alta resolución. La validación de la citada base de datos fue realizada con el empleo de mapas oficiales (a escala global) de zonas propensas a inundarse y productos satelitales. Posteriormente, con el objetivo de determinar el grado de superposición, se realizó la intersección de mapas y tablas de atributos, lo cual permitió cuantificar las áreas susceptibles a inundaciones obtenidas en el presente trabajo mediante la metodología antes descrita y áreas propensas a inundaciones con PR10 (Dottori *et al.*, 2016).

Posteriormente, para la evaluación de los resultados, se trazaron cinco transectas (tabla II) de las que se extrajeron datos en relación a la presencia de agua sobre bases de datos ráster modelados (Mapa de inundaciones con período de retorno de 10 años [PR10]) y datos estimados (Mapa de Susceptibilidad Final [MSF]).

Tabla II – Coordenadas geográficas correspondientes a las transectas trazadas para extracción de datos y posterior comparación cuantitativa de los resultados.

Table II – Geographical coordinates corresponding to the traced transects for data extraction and subsequent quantitative comparison of the results.

Transecta	Inicio		Final	
	LS	LO	LS	LO
No. 1 (A-B)	41°02'60"	62°87'70"	40°89'30"	62°72'70"
No. 2 (C-D)	40°46'10"	63°88'90"	40°33'50"	63°64'80"
No. 3 (E-F)	40°81'50"	63°35'00"	40°64'40"	63°17'60"
No. 4 (G-H)	41°03'00"	62°78'30"	40°33'70"	63°76'00"

A nivel cualitativo, los resultados (MSF) fueron vinculados a los registros de desastres de la base de datos del Sistema de inventario de efectos de desastres (DesInventar, 2020). Esta reúne información de la prensa y archivos físicos sobre la ocurrencia de desastres cotidianos de pequeño y mediano impacto. Esta herramienta permite estudiar los desastres desde una escala espacial local (municipio o departamento), con lo cual se logra facilitar la gestión de riesgos entre diferentes actores sociales y tomadores de decisión (DesInventar, 2020).

IV. RESULTADOS

1. Estimación de la susceptibilidad hídrica

Como resultado de la aplicación de la ecuación de Susceptibilidad, la cual incluyó la ponderación de las variables físicas del área de estudio, se obtuvieron cuatro subzonas según el nivel de susceptibilidad a las inundaciones o anegamientos: no susceptible, susceptibilidad baja, media y alta. Las zonas no susceptibles y con susceptibilidad baja abarcaron 1 506,5km² (53,3% del área total de estudio), mientras que las zonas con susceptibilidad media ocuparon 1 187,4km², lo cual representó el 42% del total (figs. 3 y 4). La zona con susceptibilidad más alta a inundaciones se extendió por 134,2km² (4,7%) en lugares aledaños al río Negro y áreas con desarrollo de lagunas, relieve deprimido y drenaje pobre. Se halló que el 46,7% del área de estudio presenta una susceptibilidad media-alta a las inundaciones.

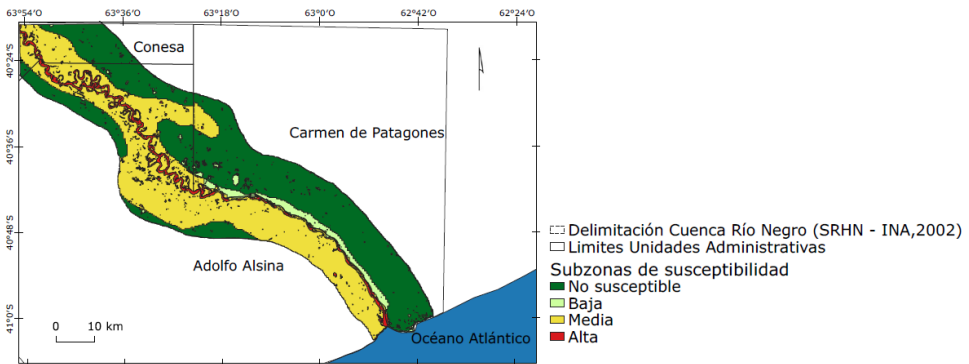


Fig. 3 – Subzones of susceptibility to floods, estimated on the basis of the analysis of physical characteristics, in the lower basin of the Río Negro. Colour figure available online.

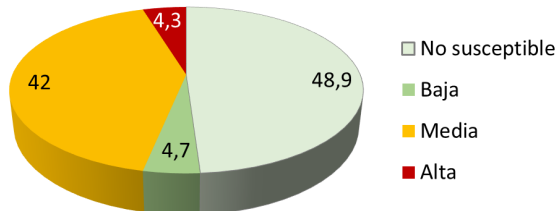


Fig. 4 – Representatividad areal (%) de cada una de las clases de susceptibilidad estimadas, en el área de estudio. Figura en color disponible en línea.

Fig. 4 – Areal representativeness (%) of each one of the estimated susceptibility classes in the study area. Colour figure available online.

Tras el análisis se determinó que las variables forzantes para la estimación de la susceptibilidad hídrica fueron fundamentalmente tres debido al valor de los pesos asignados a cada variable (Olivera Acosta *et al.*, 2011) y su distribución geográfica. El análisis de la capa vectorial del mapa final de susceptibilidad (fig. 3) muestra que las áreas cuya susceptibilidad fue estimada como media y alta se destacaron por pendientes topográficas inferiores al 1% y con escaso drenaje del suelo. De esta manera, los factores físicos más influyentes para delimitar las áreas de alta susceptibilidad fueron la pendiente topográfica, el drenaje y el relieve.

El resultado reflejó que el área de estudio presenta heterogeneidad en cuanto a la distribución de la susceptibilidad a inundaciones (fig. 3). El sector SO de la cuenca mostró mayor grado de susceptibilidad que el NE. Las localidades de La Boca, Zanjón de Oyuela, Primera Angostura y Viedma se hallan en una zona de susceptibilidad alta mientras que Carmen de Patagones se sitúa en una zona categorizada como de susceptibilidad media (figs. 1 y 3).

2. Evaluación de la sensibilidad de los resultados

Se realizó la intersección, en formato *ráster* y mediante un SIG, entre el MSF obtenido en el presente estudio y el mapa de PR10 (Dottori *et al.*, 2016). Como resultado, se obtuvo que el área total intersectada entre ambos fue 1 079,45km² aproximadamente (38,2% del área de estudio). El área intersectada no fue igual al área de estudio debido a que la capa validada sólo muestra sectores del territorio propensos a inundarse. Del total del área intersectada, el 11,21% (121,04km²) y el 84,19% (908,8km²) correspondieron a las categorías alta y media del MSF, respectivamente. En tanto, el 2,78% correspondió a la categoría baja y el 1,81% del área intersectada fue considerada no susceptible (fig. 5).

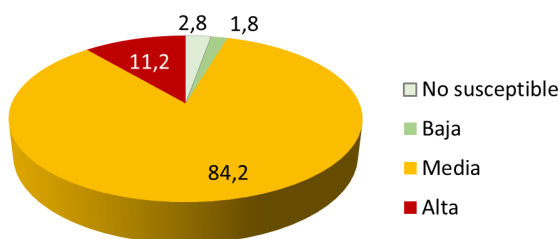


Fig. 5 – Comprobación cuantitativa de las subzonas de susceptibilidad estimadas para el área de estudio: porcentajes de intersección con respecto al mapa PR10. Figura en color disponible en línea.

Fig. 5 – Quantitative verification of the estimated susceptibility subzones for the study area: intersection percentages with respect to the PR10 map. Colour figure available online.

Fuente: Dorotti *et al.* (2016)

Los datos obtenidos de las transectas analizadas en el área de estudio en el MSF (tabla II) se compararon con los datos extraídos, a lo largo de las mismas transectas, sobre el mapa MPR10. De los perfiles realizados (tabla I) se obtuvieron tendencias similares entre las subzonas de susceptibilidad (fig. 5) y el mapa PR10. A fin de mostrar la relación de las

zonas con presencia de agua en el mapa PR10, se sustituyó por el valor de “1” cuando la profundidad de la lámina de agua > 0 mientras que, cuando la profundidad de la lámina de agua < 0, dicho valor se conservó (presencia de agua: 1=sí; 0=no; fig. 6). El análisis de la transecta 1 (tabla II y fig. 6) mostró que en los sectores que presentaron susceptibilidad baja y aquellos definidos como “no susceptibles”, la altura de la lámina de agua fue de 0cm, por lo tanto, sin presencia de agua. Mientras que, en el 100% de los registros en zonas con susceptibilidad media y alta, mostró existencia de agua para la base de datos satelital (PR10).

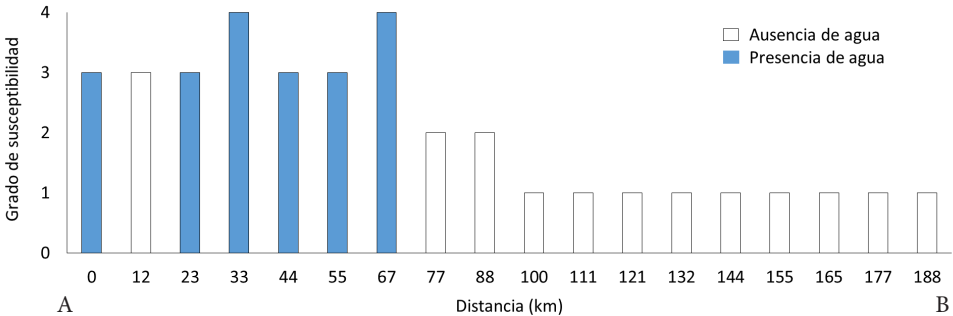


Fig. 6 – Transecta 1 (A-B): grado de susceptibilidad (MSF) en relación a la presencia o ausencia de agua (PR10). Figura en color disponible en línea.

Fig. 6 – Transect 1 (A-B): degree of susceptibility (MSF) in relation to the presence or absence of water (PR10). Colour figure available online.

Fuente: elaborado en base a Dottori *et al.* (2016)

La transecta 2 muestra que los registros extraídos a lo largo del perfil (tabla II) con susceptibilidad baja y no susceptibles pertenecen a sectores sin presencia de agua (fig. 7). En tanto, el 100% de los datos correspondiente a zonas con susceptibilidad alta y media corresponden a zonas con presencia de agua (fig. 7).

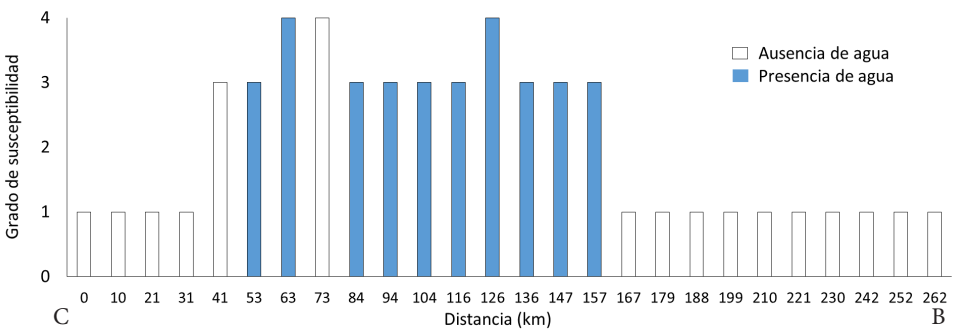


Fig. 7 – Transecta 2 (C-D): grado de susceptibilidad (MSF) en relación a la presencia o ausencia de agua (PR10). Figura en color disponible en línea.

Fig. 7 – Transect 2 (C-D): degree of susceptibility (MSF) in relation to the presence or absence of water (PR10). Colour figure available online.

Fuente: elaborado en base a Dottori *et al.* (2016)

La transecta 3 presenta que para zonas no susceptibles y con susceptibilidad baja, el 94,7% de los registros corresponden a zonas sin agua. En cuanto a áreas con susceptibilidad media, el 77,8 % de los registros coinciden con la presencia de capa de agua (fig. 8).

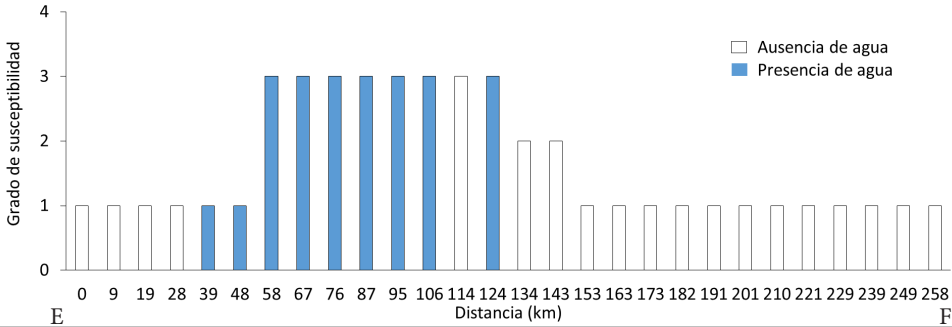


Fig. 8 – Transecta 3 (E-F): grado de susceptibilidad (MSF) en relación a la presencia o ausencia de agua (PR10). Figura en color disponible en línea.

Fig. 8 – Transect 3 (E-F): degree of susceptibility (MSF) in relation to the presence or absence of water (PR10). Colour figure available online.

Fuente: elaborado en base a Dottori *et al.* (2016)

La transecta 4, trazada en dirección NO-SE, mostró los datos para la mayor longitud de la cuenca (~1170km; fig. 9). Los datos obtenidos mostraron que, para zonas no susceptibles a inundaciones y con susceptibilidad baja, el 81,2% de los datos coincidieron con zonas sin presencia histórica de agua. Existieron reportes de susceptibilidad media en lugares donde no hay capa de agua (6%). El 93,3% de los datos con susceptibilidad alta y media mostraron coincidencia con aquellos que indicaron presencia de agua en la base de datos de referencia (Dottori *et al.*, 2016).

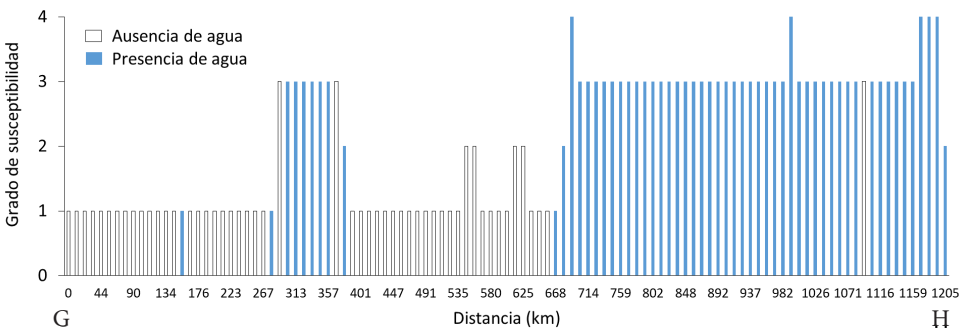


Fig. 9 – Transecta 4 (G-H): grado de susceptibilidad (MSF) en relación a la presencia o ausencia de agua (PR10). Figura en color disponible en línea.

Fig. 9 – Transect 4 (G-H): degree of susceptibility (MSF) in relation to the presence or absence of water (PR10). Colour figure available online.

Fuente: elaborado en base a Dottori *et al.* (2016)

En resumen, se constataron numerosas coincidencias entre el MSF y el mapa PR10 (Dottori *et al.*, 2016). En zonas donde la fuente de datos validados no reportó presencia de agua se obtuvo una coincidencia del 80% con registros correspondientes a las subzonas de susceptibilidad baja y no susceptible. En el caso donde el PR10 reportó presencia de agua se halló una coincidencia mayor al 78% en relación a subzonas mediana y altamente susceptibles.

Tras el análisis cualitativo, se compararon los resultados del MSF con la existencia de reportes de eventos de inundación en la región usando la base de datos *DesInventar* (2020; tabla III). Tras ello, se identificaron siete eventos de inundación importantes en los últimos 50 años. Este último aspecto, confirma la ocurrencia de inundaciones en la zona. Los factores desencadenantes fueron fuertes lluvias y vientos.

Tabla III – Registros de inundaciones importantes acontecidas en los departamentos de Adolfo Alsina, Conesa (Río Negro) y Carmen de Patagones (Buenos Aires).

Table III – Records of important floods that occurred in the departments of Adolfo Alsina, Conesa (Río Negro) and Carmen de Patagones (Buenos Aires).

Provincia / Departamento	Años	Mes	Nº de eventos	Evacuados	Causa
Buenos Aires / Patagones	1973	1	1	0	Lluvias y desborde fluvial
Río Negro / Adolfo Alsina	1976	2	1	0	Lluvias y desborde fluvial
Río Negro / Adolfo Alsina	1976	9	1	0	Lluvias y vientos
Río Negro / Adolfo Alsina	1977	10	1	35	Lluvias
Río Negro / Conesa	1981	6	1	4	Lluvias y desborde fluvial
Buenos Aires / Patagones	2010	2	2	0	Lluvias

Fuente: <https://www.desinventar.org>

El departamento con la mayor cantidad de reportes de inundación es Adolfo Alsina. El MSF muestra que Viedma, La Boca y Zanjón de Oyuela son zonas de alta susceptibilidad a inundarse en condiciones de tormenta y vientos fuertes. Como resultado de la anterior comparación, se establece que el MSF es consecuente con los datos publicados por *DesInventar* (2020). Mientras, la localidad de Carmen de Patagones, correspondió a un área de baja susceptibilidad. En esta ocasión, el inventario de desastres registró la ocurrencia de dos eventos de inundación en los años 1973 y 2010. También en este sector, los resultados hallados (MSF) concuerdan con los datos previamente publicados. La susceptibilidad en la unidad administrativa de Conesa es mayor en cercanías al río. En este sector solo se halló el registro de un evento de inundación en 1981 (fig. 3 y tabla III).

V. DISCUSIÓN

Durante las últimas décadas, los estudios referidos a la susceptibilidad de regiones a inundarse y a los factores que las convierten en zonas vulnerables han mejorado en nivel de detalle y precisión (Madruga de Brito *et al.*, 2018). Actualmente, la cartografía

y delimitación de áreas vulnerables mediante Sistemas de Información Geográfica a este tipo de eventos es una de las metodologías más empleadas (Carrascal *et al.*, 2018; Chandra Swain *et al.*, 2020; Igarza Sánchez, 2019; Montecelos Zamora *et al.*, 2010; Olivera Acosta *et al.*, 2011). La realización de este tipo de estudios permite a los tomadores de decisión mantener una supervisión adecuada sobre estas regiones, así como trazar planes de prevención y mitigación de riesgos por inundación (Chandra Swain *et al.*, 2020).

En la literatura internacional se priorizan los estudios de susceptibilidad ante eventos extremos, de forma integrada con indicadores sociales, económicos y físicos (Birkmann *et al.*, 2013; Godfrey *et al.*, 2015; Madruga de Brito *et al.*, 2018). Sin embargo, son numerosos también aquellos trabajos en los que se focaliza en el estudio de sólo una de las variables. Los estudios de Etulain y López (2015), Ferrari (2012), Jorquera Santis *et al.* (2013) y Olín Fabela (2017) abordan la problemática de sectores sensibles a inundaciones con un concepto eminentemente social. Los resultados obtenidos en estas publicaciones exponen la forma en que la sociedad percibe los desastres, lo cual complementa las evaluaciones técnicas (Blaikie *et al.*, 1996; Ferrari, 2012). De esta manera, el tener conocimiento previo sobre las características del medio natural es importante para zonificar cuáles son los sectores que son naturalmente más propensos a anegarse ante eventos extremos (Melo Cuellar & Pinzón, 2020; Olivera Acosta *et al.*, 2011; Vergara Noriega, 2020; Villamizar *et al.*, 2019).

En el caso de la cuenca inferior de Río Negro, actualmente, no se encuentra disponible una zonificación actualizada sobre terrenos propensos a anegarse ante una inundación fluvial. Esta carencia persiste a pesar de la existencia de reportes de inundaciones (DesInventar, 2020). En los resultados del presente trabajo se demostró que el 46,7% de la cuenca inferior de Río Negro tiene susceptibilidad media-alta a inundarse. Trabajos similares realizados en otras regiones tales como los de Carrascal *et al.* (2018), Igarza Sánchez (2019), Montecelos Zamora *et al.* (2010) y Olivera Acosta *et al.* (2011) obtienen mapas en los que se zonifican regiones no susceptibles y de susceptibilidades baja, media y alta siendo, dicha cartografía, un elemento que brinda valiosa información. En relación a los factores físicos que aumentan la susceptibilidad ante anegamientos se determinó, en el presente trabajo, que se encuentran las pendientes inferiores a 1% y relieve bajo. Similares determinaciones fueron halladas por Montecelos Zamora *et al.* (2010) y Olivera Acosta *et al.* (2011) quienes también identificaron dichos rasgos como determinantes de la vulnerabilidad hidrológica en otros ambientes.

La metodología de evaluación multicriterio ha demostrado ser de gran utilidad (Lawal Dano *et al.*, 2019; Lim, 2008; Nahiduzzaman *et al.*, 2015), como herramienta para la toma de decisiones ante un evento extremo. La gestión del riesgo de inundaciones requiere la comprensión de la susceptibilidad ante este fenómeno, ya que las amenazas solo se convierten en desastres si afectan a una comunidad o sistema que es vulnerable a sus efectos (Madruga de Brito *et al.*, 2018). Los métodos basados en indicadores son fáciles de usar y comprender, dado que no requieren datos detallados como curvas de daño y fragilidad (Ciurean *et al.*, 2013).

La validación de la metodología empleada en este trabajo, realizada a través de los análisis cuantitativo y cualitativo, encuentra una buena coincidencia espacial entre las zonas susceptibles a inundarse propuestas por Dottori *et al.* (2016) y la base de datos *DesInventar* (2020). La evaluación Multicriterio en base a SIG resultó ser una herramienta alternativa exitosa y de buena precisión. Olivera Acosta *et al.* (2011) validó sus resultados exitosamente al comparar el límite histórico de inundación con sus resultados. Mientras, Carrascal *et al.* (2018) y Montecelos Zamora *et al.* (2010) compararon sus mapas de anegamiento del terreno con estudios anteriores, recorridos de campo y entrevistas a los pobladores de la zona.

VI. CONCLUSIONES

La evaluación multicriterio permitió delimitar y categorizar las zonas susceptibles a inundarse en la cuenca inferior de Río Negro. La estimación de susceptibilidad hídrica denota que la ciudad de Viedma y las localidades Zanjón de Oyuela, La Boca y Primera Angostura constituyen áreas altamente susceptibles a inundaciones por desborde del río. En la zona de estudio, las características geográficas del terreno que propician la susceptibilidad de un área a anegarse son el escaso relieve con pendientes topográficas que no superan el 1% de inclinación, además del escaso drenaje de los suelos.

La eficacia de la metodología aplicada para la delimitación de zonas de susceptibilidad a inundaciones en el área de estudio fue significativa. A través de la ponderación de las variables se delimitaron las características geográficas que propician un evento de inundación fluvial. La comparación con otros datos relativos a eventos de inundación específicos del área de estudio coincidió con el mapa final de susceptibilidad. La validación cuantitativa mostró altos niveles de coincidencia entre las áreas de mediana y alta susceptibilidad del mapa resultante del estudio y las zonas inundables delimitadas por el Centro Común de Investigación de la Comisión Europea (Dottori *et al.*, 2016). En la validación cualitativa se encontraron reportes de siete eventos en la región (*DesInventar*, 2020) desde 1970 hasta la actualidad, coincidentes con las subzonas de mayor susceptibilidad. El mapa resultante de la investigación y los registros de investigación de *DesInventar*, sitúan a los departamentos de Adolfo Alsina y Conesa (provincia de Río Negro) entre los más afectados por inundaciones.

El análisis espacial realizado en la zona de estudio permite comprender la influencia de los rasgos físicos, así como también los efectos de la acción del hombre frente a la ocurrencia de inundaciones. Es por ello que se considera que el aporte del presente trabajo consiste en el desarrollo y aplicación de una metodología validada con eventos históricos y que permite la superposición de diferentes coberturas de datos de manera fácil y eficiente. Esto permite una rápida detección de las zonas que son más susceptibles a sufrir un evento de inundación, no sólo en el área de estudio, sino en cualquier otro ambiente de similares características. Esta metodología es de gran utilidad para ser utilizada por entidades gubernamentales para delinear políticas públicas y de ordenamiento territorial.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen a la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT), a la Universidad Nacional del Sur (UNS) y al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina (CONICET) por el financiamiento del presente trabajo. Además, se desea reconocer a las instituciones nacionales IGN e INTA, base de datos DesInventar (www.desinventar.org), al *Global Surface Water Explorer* (<https://global-surface-water.appspot.com>) y Centro Común de Investigación de la Comisión Europea (Joint Research Centre of the European Commission; <https://data.jrc.ec.europa.eu>), por permitir el acceso libre a los datos con los que se realizó el trabajo.

ORCID ID

Grethel García Bu Bucogen  <https://orcid.org/0000-0001-6347-7381>

Maria Cintia Piccolo  <https://orcid.org/0000-0002-5184-9149>

Vanesa Yael Bohn  <https://orcid.org/0000-0002-4050-8664>

CONTRIBUCIONES DE LOS/AS AUTORES/AS

Grethel García Bu Bucogen: Conceptualización; Metodología; Software; Validación; Análisis formal; Investigación; Curación de datos; Escritura – original preparación del borrador; Redacción – revisión y edición. **María Cintia Piccolo:** Conceptualización; Análisis formal; Investigación; Revisión y edición; Supervisión; Administración del proyecto; Adquisición de fondos. **Vanesa Yael Bohn:** Conceptualización; Metodología; Validación; Análisis formal; Investigación; Recursos; Redacción – revisión y edición; Visualización; Supervisión; Administración del proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adhikari, P., Hong, Y., Douglas, K. R., Kirschbaum, D. B., Gourley, J., Adler, R., & Brakenridge, G. (2010). A digitized global flood inventory (1998-2008): compilation and preliminary results. *Natural Hazards*, 55, 405-422. <https://doi.org/10.1007/s11069-010-9537-2>
- Agencia de Medio Ambiente. (2014). *Metodologías para la determinación de riesgos de desastres a nivel territorial* [Methodologies for determining disaster risks at the territorial level]. PNUD Cuba.
- Benjamín, M. (2008). *Investigating physical and social dimensions*. [Master Thesis, University of Cape Town University]. OpenUct. <https://open.uct.ac.za/handle/11427/4823>
- Birkmann, J., Cardona, O. D., Carreño, M. L., Barbat, A. H., Pelling, M., Schneiderbauer ... Welle, T. (2013). Framing vulnerability, risk and societal responses. *Natural Hazards*, 67, 193-211. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0558-5>
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., & Wisner, B. (1996). *Vulnerabilidad: el entorno social, político y económico de los desastres* [Vulnerability: the social, political and economic environment of disasters]. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.
- Bohn, V., & Piccolo, M. C. (2018). Propuesta metodológica para el análisis de inundaciones en cuencas hidrográficas de llanura (Buenos Aires, Argentina) [Methodological proposal for the analysis of floods in plain watersheds (Buenos Aires, Argentina)]. *Párrafos Geográficos*, 17(2), 1-16.

- Camilloni, I., Barros, V., Moreiras, S., Poveda, G., & Tomasella, J. (2020). Inundaciones y sequías [Floods and droughts]. In J. M. Moreno, C. Laguna-Defior, V. Barros, E. Calvo Buendía, J. A. Marengo & U. Oswald Spring (Eds.), *Adaptación frente a los riesgos del cambio climático en los países iberoamericanos – Informe RIOCCADAPT* [Adaptation to the risks of climate change in Ibero-American countries – RIOCCADAPT Report] (pp. 391-417). McGraw Hill.
- Carrascal, C. N., Bohn, V. Y., Piccolo, M. C., & Perillo, G. M. E. (2018). Análisis de la susceptibilidad hídrica en una cuenca de llanura (Buenos Aires, Argentina) [Analysis of water susceptibility in a plain basin (Buenos Aires, Argentina)]. [Presentación de póster]. *XII Jornadas Nacionales de Geografía Física* [XII National Conference on Physical Geography], Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco – Red Argentina de Geografía Física, Trelew, Argentina.
- Chandra Swain, K., Singha, C., & Nayak, L. (2020). Flood Susceptibility Mapping through the GIS-AHP Technique Using the Cloud. *International Journal of Geo-Information*, 9(12), 720. <https://doi.org/10.3390/ijgi9120720>
- Ciurean, R. L., Schröter, D., & Glade, T. (2013). Conceptual frameworks of vulnerability assessments for natural disasters reduction. In J. P. Tiefenbacher (Ed.), *Approaches to Disaster Management – Examining the Implications of Hazards, Emergencies and Disasters* (pp. 3-32). InTech Open. <https://doi.org/10.5772/55538>
- Coronato, A., Mazzoni, E., Vazquez, M., & Coronato, F. (2017). *Patagonia: una síntesis de su geografía física (1ª ed.)* [Patagonia: a synthesis of its physical geography]. UNPA Edita.
- DesInventar. (2020). *DesInventar* [DisInvent]. <https://www.desinventar.net/>
- Dottori, F., Salamon, P., Bianchi, A., Alfieri, L., Aga Hirpa, F., & Feyen, L. (2016). Development and evaluation of a framework for global flood hazard mapping. *Advances in Water Resources*, 94, 87-102. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2016.05.002>
- ECYT-AR. (2021). *Instituto de Desarrollo del Valle Inferior del Río Negro “Comandante Luis Piedra Buena”*. *La enciclopedia de ciencias y tecnologías en Argentina* [Institute for the Development of the Lower Valley of the Río Negro “Comandante Luis Piedra Buena”. The encyclopedia of sciences and technologies in Argentina]. ECYT-AR. https://cyt-ar.com.ar/cyt-ar/index.php?title=Instituto_de_Desarrollo_del_Valle_Inferior_del_R%C3%ADo_Negro_%C2%ABComandante_Luis_Piedra_Buena%C2%BB&mobileaction=toggle_view_desktop
- Etulain, J. C., & López, I. (2015). Inundaciones urbanas. Mapas de riesgo y lineamientos de ordenamiento territorial en la región del gran La Plata. Aspectos teóricos-metodológicos y propositivos [Urban floods. Risk maps and urban territorial ordination guidelines in the gran La Plata region. Theoretical-methodological and propositional aspects]. *Estudios del hábitat*, 15(2), e030. <https://doi.org/10.24215/24226483e030>
- Fabregat, E. H. (2010). *La construcción de las representaciones mentales en los alumnos de nivel medio que habitan el valle inferior de Río Negro* [The construction of mental representations in middle-level students who inhabit the lower valley of Río Negro]. [Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Sur]. Repositorio Institucional Digital. <https://rid.unrn.edu.ar/handle/20.500.12049/87>
- Farr, T. G., Rosen P. A., Caro, E., Crippen R., Duren, R., Hensley, S. ... Alsdorf, D. (2007). The Shuttle Radar Topography Mission. *Reviews of Geophysics*, 45(2), 1-33. <https://doi.org/10.1029/2005RG000183>
- Ferrari, M. P. (2012). Análisis de vulnerabilidad y percepción social de las inundaciones en la ciudad de Trelew, Argentina [Vulnerability analysis and social perception of floods in the city of Trelew, Argentina]. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 21(2), 99-116. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v21n2.32216>
- Foro Ambiental. (2017). *Inundaciones: el peor desastre natural que afecta a la Argentina* [Floods: the worst natural disaster to affect Argentina]. Foroambiental.net. <https://www.foroambiental.net/archivo/noticias-ambientales/cambio-climatico/2140-inundaciones-el-peor-desastre-natural-que-afecta-a-la-argentina>
- Gatica Herrera, M., Pulgar Salamanca, F., Correa Román, F., & Díaz Valenzuela, L. (2019). El territorio fluvial como instrumento de prevención del riesgo de inundación en la ribera sur del Río Laja, en la Comuna de Laja [The fluvial territory as a flood risk prevention instrument on the south bank of the Laja River, in the Laja Commune]. *Revista Latinoamericana de Estudiantes de Geografía*, (6), 64-73.
- Global Surface Water Explorer. (2020). *Global Surface Water*. <https://global-surface-water.appspot.com>

- Godfrey, A., Ciurean, R. L., van Westen, C. J., Kingma, N. C., & Glade, T. (2015). Assessing vulnerability of buildings to hydrometeorological hazards using an expert based approach – an application in Nehoiu Valley, Romania. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 13, 229-241. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2015.06.001>
- Hernández-Uribe, R. E., Barrios-Piña, H., & Ramírez, A. I. (2017). Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac [Flood risk analysis: methodology and application to the Atemajac basin]. *Tecnología y ciencias del agua*, 8(3), 5-25. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2015.06.001>
- Igarza Sánchez, A. (2019). *Determinación de Peligro por inundaciones en el municipio Moa: subcuenca del río Cabaña* [Determination of Danger due to floods in the Moa municipality: Cabaña river sub-basin]. [Tesis Ingeniero Geólogo, Universidad de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”]. Repositorio Nínive. <http://ninine.ismm.edu.cu/handle/123456789/3671>
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (1990). *Suelos de la República de Argentina, Proyecto PNUD ARG/85/019* [Soils of the Republic of Argentina, UNDP Project ARG/85/019]. Instituto de Suelos y EEAs del INTA. <http://www.geointa.inta.gov.ar/2013/05/26/suelos-de-la-republica-argentina/>
- Joint Research Centre of the European Commission. (2020). *Flood hazard map of the World. Consultado el 10 de noviembre de 2020*. JRC-EC. https://data.jrc.ec.europa.eu/dataset/jrc-floods-flood-mapgl_rp10y-tif/resource/25062af3-e94c-48c4-932c-f9eede7d8b9
- Jorquera Santis, F., Chacón Sandoval, S., Lavín Cornejo, N., Zúñiga Rodríguez, J., Guinard, M., Santos, A. ... Céspedes Escobar, N. (2013). Memorias del 1^{er} Seminario en Desastres Socionaturales: Experiencias y Desafíos para la Psicología y las Ciencias Sociales [Memories of the 1st Seminar on Socio-natural Disasters: Experiences and Challenges for Psychology and Social Sciences]. *Cuadernos de crisis*, 1(63), 1-68.
- Keller, E., & Blodgett, R. (2007). *Riesgos naturales: Procesos de la Tierra como riesgos, desastres y catástrofes* [Natural hazards: Earth processes such as risks, disasters and catastrophes]. Pearson Prentice Hall.
- Kokot, R. R. (2004). Erosión en la Costa Patagónica por cambio climático [Erosion on the Patagonian Coast due to climate change]. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59(4), 715-726.
- Lawal Dano, U., Lateef Balogun, A., Nasir Matori, A., Wan Yusouf, K., Rimi Abubakar, I., Dijo Mohamed, M. A. ... Pradhan, B. (2019). Flood Susceptibility Mapping Using GIS-Based Analytic Network Process: A Case Study of Perlis, Malaysia. *Water*, 11(3), 615615. <https://doi.org/10.3390/w11030615>
- Lim, K. S. (2008). *Methodology for Evaluating Flood Damage Reduction Alternatives Using a GIS-Based MCDA Interactive Mode*. [Tesis Doctoral, Colorado State University].
- Madruga de Brito, M., Evers, M., & Delos Santos Almoradi, A. (2018). Participatory flood vulnerability assessment: a multi-criteria approach. *Hydrology and Earth System Science*, 22, 373-390. <https://doi.org/10.5194/hess-22-373-2018>
- Melo Cuellar, D., A., & Pinzón Pico, J. S. (2020). *Identificación y análisis de los factores de riesgo en el municipio de Charalá Santander para el fortalecimiento de este componente en el esquema de ordenamiento territorial* [Identification and analysis of risk factors in the municipality of Charalá Santander to strengthen this component in the territorial planning scheme]. [Título Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad de la Salle]. Ciencia Unisalle.
- Meza, J. C., Ramirez, M. L., & Contreras, F. I. (2017). Cartografía de áreas de riesgo a inundaciones y anegamientos a partir de modelos digitales de elevación de General José de San Martín (Chaco, República Argentina) [Cartography of areas at risk of flooding and flooding from digital elevation models of General José de San Martín (Chaco, Argentine Republic)]. *Contribuciones Científicas GEA*, 29, 149-164.
- Montecelos Zamora, Y. (2010). *Evaluación de la peligrosidad por tasa de escorrentía superficial en la Cuenca del Río Cauto. Sector Provincia Granma. Cuba* [Hazard evaluation due to surface runoff rate in the Cauto River Basin. Granma Province Sector. Cuba]. [Tesis de Maestría, Instituto de Investigaciones Agropecuarias Jorge Dimitrov].
- Morello, J., Matteucci, S. D., Rodriguez, A. F., & Mariana, S. (2012). *Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos* [Argentine ecoregions and ecosystem complexes]. Orientación Gráfica Editora.
- Nahiduzzaman, K. M., Aldosary, A. S., & Rahman, M. T. (2015). Flood induced vulnerability in strategic plan making process of Riyadh city. *Habitat International*, 49, 375-385. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2015.05.034>

- Olín Fabela, L. A. (2017). *Vulnerabilidad social por inundaciones* [Social vulnerability due to floods]. [Tesis de Maestría, Universidad del Estado de México]. Repositorio Institucional UAEM. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/79908/Olin%20fabela%20Luis%20Alberto.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Olivera Acosta, J., Morales G., García Rivero, A., Salgado, E., López M., Estrada, R., & Campos Dueñas, M. (2011). El uso de los SIG y la evaluación multicriterio (EMC) para la determinación de escenarios peligrosos de inundaciones en cuencas fluviales. Estudio de caso cuenca Guanabo [The use of GIS and multi-criteria assessment (EMC) for the determination of dangerous flood scenarios in river basins. Guanabo basin case study]. *Proyección*, 10, 143-163.
- Ollero, A. (1997). Crecidas e inundaciones como riesgo hidrológico un planteamiento didáctico [Floods and floods as hydrological risk a didactic approach]. *Lurralde. Investigaciones España*, 20, 261-283.
- Panigatti, J. L. (2010). Argentina: 200 años, 200 suelos [Argentina: 200 years, 200 soils]. Ediciones INTA.
- Pekel, J. F., Cottam, A., Gorelick, N., & Belward, A. S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540, 418-422. <https://doi.org/10.1038/nature20584>
- Pérez Morando, H. (2005, octubre). Inundaciones y mudanzas de pueblos [Floods and removals of towns]. *Diario Rio Negro*. <https://www.rionegro.com.ar/inundaciones-y-mudanzas-de-pueblos-FFHRN05102416241401/>
- Robles Iriarte, M. (2019). Riesgos naturales en medios semiáridos: caso Quebrada Santa Gracia afluente [Natural hazards in semi-arid environments: Quebrada Santa Gracia affluent case]. *Revista Dos Puntas*, 19, 16-41.
- Rojas, O., Mardones, M., Arumí, J. L., & Aguayo, M. (2014). Una revisión de inundaciones fluviales en Chile, período 1574-2012: causas, recurrencia y efectos geográficos [A review of river floods in Chile, period 1574-2012: causes, recurrence and geographic effects]. *Revista de Geografía Norte Grande*, 57, 177-192. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022014000100012>
- Soto, M. V., Märker, M., Paz Castro, C., & Rodolfi, G. (2015). Análisis integrado de las condiciones de amenaza natural en el medio ambiente costero semiárido de Chile. La Serena, Coquimbo [Integrated analysis of natural hazard conditions in the semi-arid coastal environment of Chile. La Serena, Coquimbo]. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 67, 213-231. <https://doi.org/10.21138/bage.1824>
- Subsecretaría de Recursos Hídricos-Instituto Nacional da Água. (2002). *Atlas Digital de los Recursos Hídricos Superficiales de la República de Argentina* [Digital Atlas of Surface Water Resources of the Republic of Argentina]. SSRH-INA. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/mapa_cuencas_ssrh_130x91cm_ed2017.jpg
- Taboada, M. A., & Damiano, F. (2017). Inundación y manejo de suelos en la Argentina [Flooding and soil management in Argentina]. In S. Wladman (Ed.), *Inundaciones y manejo de cuencas: Clima, suelo, prácticas agrícolas, medio ambiente* [Floods and watershed management: Climate, soil, agricultural practices, environment] (pp. 145-169). Orientación Gráfica.
- Vergara Noriega, S. L. (2020). *Análisis de amenaza por inundaciones en el municipio de San Marcos, Sucre mediante la evaluación multicriterio en sistemas de información geográfica* [Flood threat analysis in the municipality of San Marcos, Sucre through multi-criteria evaluation in geographic information systems]. [Tesis de Grado, Universidad de Córdoba]. Repositorio Unicordoba. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/2600>
- Villamizar, R. J., Rivera, M. E., & Delgado, J. R. (2019). Mapa de amenaza por crecientes súbitas en la microcuenca La Viuda, Chitagá, Colombia [Hazard map due to sudden floods in the La Viuda micro-basin, Chitagá, Colombia]. *Revista Ambiental: Agua, Aire y Suelo*, 10(2), 1-13.
- Zepeda González, A. F. (2011). Diseño y aplicación de una propuesta metodológica para la determinación de susceptibilidad y vulnerabilidad a deslizamientos, inundaciones y sequías en el municipio de San Pedro Zacapa, Departamento de Santa Bárbara, Honduras [Design and application of a methodological proposal for the determination of susceptibility and vulnerability to landslides, floods and droughts in the municipality of San Pedro Zacapa, Department of Santa Bárbara, Honduras]. [Tesis de Grado, Escuela Nacional de Ciencias Forestales]. UNACIFO.