
ARTÍCULOS / ARTICLES

PELIGRO DE ANEGAMIENTO EN EL PARTIDO DE TRES ARROYOS, PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Johanna Arias

Universidad Nacional del Sur
johannaarias318@hotmail.com
ORCID Id: <https://orcid.org/0000-0001-8108-3503>

Alejandra Mabel Gernaldi

Universidad Nacional del Sur
ageraldi@criba.edu.ar
ORCID Id: <https://orcid.org/0000-0002-8792-1069>

Federico Gastón Barragán

Universidad Nacional del Sur
federico.barragan@uns.edu.ar
ORCID Id: <https://orcid.org/0000-0002-5859-5532>

Lucia Manuela Laffeuillade

Universidad Nacional del Sur
lucialaffeuillade@gmail.com
ORCID Id: <https://orcid.org/0000-0002-2169-2339>

Recibido: 02/03/2021; Aceptado: 22/09/2022; Publicado: 27/12/2022

Cómo citar este artículo/citation: Arias, Johanna; Gernaldi, Alejandra Mabel; Barragán, Federico Gastón y Laffeuillade, Lucía manuela (2022). Peligro de anegamiento en el partido de Tres Arroyos, provincia de Buenos Aires. *Estudios Geográficos*, 83 (293), e119. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.2022125.125>

RESUMEN: El Partido de Tres Arroyos “ha sido escenario en los últimos años de sucesivos eventos de anegamientos, los cuales han provocado pérdidas económicas importantes tanto en las zonas urbanas, como en las zonas rurales” (Arias y Gernaldi, 2018, p. 224). Ante la ausencia de trabajos sobre esta temática, se ha establecido como objetivo estudiar los factores hidrometeorológicos que determinan los periodos húmedos y delimitar las áreas susceptibles de anegamiento en el partido correspondiente al periodo 2000 – 2018. Para llevarlo a cabo se utilizó la teledetección y los Sistemas de Información Geográfica.

Palabras claves: amenaza, anegamiento, Tres Arroyos, teledetección, sistemas de información geográfica, Llanura Pampeana

RISK OF FLOODING IN THE TRES ARROYOS DEPARTMENT, BUENOS AIRES PROVINCE

ABSTRACT: The Tres Arroyos department has been the scene in recent years of successive flooding events, which have caused significant economic losses both in urban areas and in rural areas. In the absence of work on this subject, it has been established as an objective to study the hydrometeorological factors that determine the wet periods and determine the areas susceptible to flooding in the party in the period 2000 - 2018. To carry it out, remote sensing was used. Geographic information systems.

Keywords: flooding, Risk, Tres Arroyos, remote sensing, geographic information systems, Pampas

INTRODUCCIÓN

El riesgo de desastres es una construcción social que se encuentra circunscripto a un lugar y tiempo dado, abarcando desde espacios locales a grandes extensiones (Lavell, 2001). El mismo se da en la medida en que coinciden tanto condiciones de amenaza / peligro, como de vulnerabilidad (Vera Rodríguez y Albaracín Calderón, 2017, p. 110). Dentro de las múltiples amenazas, los eventos de anegamientos “impactan fuertemente en la actividad económica y social de la provincia de Buenos Aires” (Schibber, Campos y Di Bella, 2013, p. 1). Entendido el anegamiento como la respuesta con la cual una llanura amortigua los excedentes de agua; en general existe una delgada capa de agua sobre la superficie del suelo como resultado de la saturación de los poros del suelo con agua (San Celedonio, Micheloud, Abeledo, Miralles y Slafer, 2014, p.234). Dicho estrés afecta principalmente la producción de cultivos a nivel mundial, sin embargo, existe poca información sobre el nivel de riesgo de ocurrencia de anegamientos en las distintas zonas productivas del país (San Celedonio *et al.*, 2014). En áreas de llanura la localización de asentamientos humanos y/o actividades productivas en cercanía a cuerpos de agua, durante eventos extremos muestran en la actualidad problemas importantes de inundaciones (Scarpato y Capriolo, 2013; Barragán y Geraldi, 2018; Scordo, Piccolo y Perillo, 2018). Para Quiroz Londoño, Martínez y Massone (2012) las características climatológicas, geológicas y geomorfológicas de las áreas llanas permiten el desarrollo de suelos de alta productividad agrícola, lo que la convierte en zonas de desarrollo agrícola (p. 240). Los eventos que ocurren en dichas áreas tienen causas y consecuencias diferentes, variabilidad climática, obras de infraestructura sin planificación, falta de desagües, entre otras. Por ello, la recurrencia del fenómeno de inundación en áreas llanas no se debe sólo a causas naturales, sino también a factores antrópicos (Mercau *et al.*, 2013; Schomwandt, Lucioni y Andrade, 2016; Tockner y Stanford, 2002).

Dado que se ha demostrado la imposibilidad de restringir el riesgo a cero, es de vital importancia su continuo estudio, así como su incorporación en los planes de desarrollo y toma de decisiones. En tal sentido, Di Bella *et al.*, (2008) expresa:

Disponer de herramientas que permitan el seguimiento y mapeo en tiempo real de las áreas afectadas es importante al momento de determinar los alcances de la situación de emergencia, contar con estimaciones del área afectada, disminuir las pérdidas de vidas huma-

nas o brindar información a las autoridades competentes para ajustar su plan de acción. El análisis de eventos históricos de este fenómeno, por su parte, asegura la generación de cartografías de vulnerabilidad para la planificación del uso del territorio (p. 40).

Una de las principales herramientas para la obtención de información en tiempo real, y que permite cubrir una extensa área, es la teledetección. La visión espacial que brindan los sensores constituye una herramienta importante en la planificación de recursos naturales y en el seguimiento de eventos naturales como sequías, inundaciones y otros (Barragán y Geraldi, 2018; Da Silva, Insaurralde y Cardozo, 2014). Por su parte, para Chuvieco,

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) integran la información resultante del análisis de la teledetección con otras variables geográficas con el objetivo de lograr una visión sintética de las características de un determinado territorio, una evaluación completa de los recursos existentes y lograr una planificación acorde a las potencialidades del área (citado en Michalijos, 2018).

La aplicación de índices a partir de información satelital y la integración a los Sistemas de Información Geográfica es útil para la comprensión de modelos de la realidad y diagnóstico ante ocasionales eventos.

El Partido de Tres Arroyos ha sido escenario en los últimos años de sucesivos eventos de anegamientos, los cuales han provocado pérdidas económicas importantes tanto en las zonas urbanas, (deterioro de viviendas, pérdidas materiales, etc.) como en las zonas rurales (detrimento de producción agrícola, ganadera; aislamiento de los campos, entre otros). El mismo se localiza en el Sudoeste Bonaerense entre -38.00 y -38.92 en sentido norte-sur y entre -60.74 y -59.62 de este a oeste.

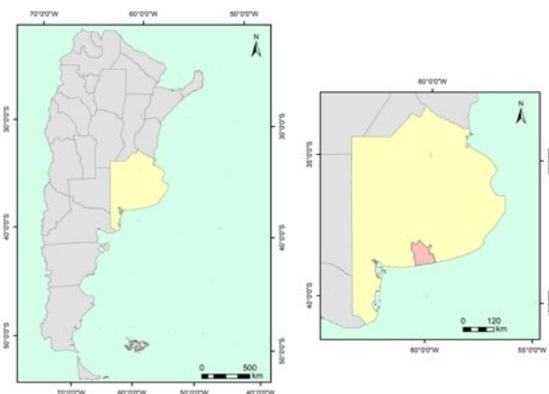
La elección del área de estudio radica en la escasa investigación sobre este espacio, y fundamentalmente en estudios sobre la ocurrencia de anegamientos, situación que afecta repetidamente a la población local. Sin embargo, cuenta con una gran diversidad de condiciones ambientales, productivas y sociales que merecen ser estudiadas y lo hacen de interés desde el punto de vista económico, geográfico y social. Los objetivos del presente trabajo son estudiar los factores hidrometeorológicos que determinan los periodos húmedos y delimitar las áreas susceptibles de anegamiento en el partido de Tres Arroyos correspondiente al periodo 2000 – 2018.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende el partido de Tres Arroyos (Fig. 1), el cual se localiza en el sur de la provincia de Buenos Aires, República Argentina. Comprende las localidades de Tres Arroyos, Copetonas, Micaela Cascallares, San Francisco de Bellocq, Orense, Reta, Claromecó y San Mayol, junto a cinco parajes. Con una superficie de 596.200 has y una población de 57.590 habitantes aproximadamente, se caracteriza por ser una amplia planicie representativa de la llanura pampeana húmeda.

Estructuralmente, el partido se encuentra en el centro de la "unidad morfoestructural denominado Positivo Bonaerense o Alto de Tandil", el cual se encuentra compuesto por las Sierras Septentrionales (Tandilia), las Sierras Australes (Ventania) y la llanura interserrana (Sosa, Zárate y Beilinson, 2017, p. 3). Constituye una planicie elevada disectada por los brazos principales del arroyo Claromecó formando lomadas elongadas en

FIGURA 1
LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Elaboración propia.

el sentido del drenaje. La misma presenta un diseño dendrítico a subparalelo (Sosa et al., 2017, p. 3).

El área de estudio se encuentra en la "gran faja zonal de los climas templados caracterizados por registrar temperaturas medias anuales entre 13.2° C y 14.1° C con estaciones térmicas bien definidas" (Carbone, Piccolo y Perillo, 2003, p. 42). La precipitación promedio anual es de 700 mm correspondiente a un régimen hídrico sub-húmedo seco (Carbone y Piccolo, 2002; Borda, 2016; Bertola et al., 2009). Se caracteriza por poseer lluvias importantes durante la primavera y el otoño (Carbone et al., 2003). El déficit hídrico anual potencial (diferencia entre lluvias y evapotranspira-

ción potencial) oscila entre 229 a 255 mm, principalmente en los meses de verano (Borda, 2016, p. 23). Históricamente, los períodos de déficit o excesos hídricos se concentran en el periodo noviembre a marzo (Bilello, Gonzalez y Román (2008, p. 2).

La cubierta sedimentaria es, según Sosa et al. (2017, p. 3) relativamente homogénea, formado por limos gruesos arenosos castaño pardo con algunas variaciones texturales y rasgos postdeposicionales. El sustrato está compuesto fundamentalmente "por loess y limos de distintas edades: desde el Mioceno hasta el Plioceno tardío, con predominancias de limos del Plioceno" (Carbone, 2003, p. 40). En general, en este sector encontramos Argiudoles, aptos para distintos cereales finos como el trigo y el maíz (Carbone, 2003, p. 15). El área se caracteriza por presentar una capa de tosca a escasa profundidad, con un espesor entre 1 y 2 metros y ser suelos ricos en materia orgánica (Carbone, 2003, p. 40). La presencia de tosca actúa como un obstáculo a la capacidad de almacenaje de agua por parte del suelo, lo que influye en la adaptabilidad de los cultivos frente a las variaciones de las precipitaciones (Bilello, et al., 2008, p. 2).

Desde el punto de vista fitogeográfico, la zona corresponde al distrito austral de la provincia pampeana (Cabrera 1971 en Bertola et al., 2009). Las especies herbáceas latifoliadas perennes y efímeras, son las que predominan en el área (Carbone, 2003, p. 49). Entre las que se puede mencionar *Bromus unioloides* (cebadilla criolla), *Lolium multiflorum* (cola de zorro), *Piptochaetium napostaense* (flechilla negra), *Stipa neesiana* (flechilla común), *Stipa papposa* (flechilla blanca), *Medicago sativa* (alfalfa) y *Plantago lanceolata* (llantén), las cuales en su mayoría son forrajeras nativas (Carbone y Piccolo, 2010).

El partido se localiza en una región con un perfil productivo de orientación mixta, con una alta predominancia de la agricultura que basa su producción en sistemas extensivos y diversificados (Bilello, et al., 2008, p. 2). Esto se debe, según Carbone y Piccolo (2002, p. 212), a que las condiciones generales son aptas para la siembra de cereales y el cultivo de oleaginosas, principalmente las segundas en los campos de mayor altura.

La ciudad de Tres Arroyos, cabecera del partido, ve atravesado su tejido urbano por los tres arroyos: Orellano, Medio y Seco, hecho que le da origen al nombre de la localidad. En la jerarquía urbana regional, se considera un centro de tamaño intermedio con 46.867 habitantes (INDEC, 2010), con una economía

urbana interdependiente del sector agropecuario. En tal sentido, Martín (2007) menciona:

La actividad agropecuaria constituye la base de la economía local, confiriéndole una identidad propia que ha sido decisiva a lo largo de la historia. La industria en tanto, se inició a fines del siglo XIX, manteniendo desde entonces, un patrón de especialización vinculado a dos sectores de actividad, el metalmecánico y el agroalimentario, muy relacionados con la actividad agropecuaria local y regional (p. 158).

METODOLOGÍA

Procesamiento de imágenes satelitales

Se trabajó con imágenes satelitales Landsat 8 OLI, Landsat 5 TM y 7 ETM, las fechas de las imágenes corresponden al periodo 2000 – 2018 y el Path y Row elegido fue 225-087. Las mismas fueron provistas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales de Argentina (CONAE). Se realizó la calibración radiométrica que consiste en transformar los niveles digitales (ND) de la imagen a radiancia (L), que es el total de energía radiada en una determinada dirección por unidad de área y por ángulo sólido de medida ($W/m^2/sr$). Es un parámetro fundamental en teledetección porque expresa aquella cantidad de energía que el sensor capta o detecta (Chuvieco, 2002, p. 266). La ecuación aplicada es la siguiente:

$$(1) L\lambda = \text{“gain”} * (DN) + \text{“offset”}$$

Donde $L\lambda$, es la radiancia del pixel en una banda espectral específica, λ indica el número de banda, $G\lambda$ y $B\lambda$ son coeficientes de transformación de $ND\lambda$ a valores de radiancia (Chuvieco, 2002; Chander y Markham, 2003; Chander, Markham y Barsi, 2007). El primero indica la ganancia en dicha banda espectral y la segunda el sesgo (Bias - Offset).

Luego, se realizó la corrección atmosférica utilizando el módulo FLAASH. Para el mismo se utilizó el modelo físico de transferencia radiativa del software ENVI (MODTRAN - Moderate resolution Atmospheric Transmission). Para la compensación de las distorsiones por aerosoles se usó el modelo rural, dado que la media del área no está bajo la influencia de fuertes coberturas industriales y urbanas. Se aplicó un modelo de visibilidad inicial de 35 km. Para extracción de aerosoles se utilizó el método Kaufman-Tanre, de acuerdo a ITT (2009) este método sirve para estimar de forma más precisa la visibilidad presente en la imagen (Multispectral Setting).

Una vez corregidas las imágenes se aplicó una clasificación no supervisada. El algoritmo de agrupamiento

utilizado fue el ISODATA, el cual señala una serie de centros de clase para asignar todos los píxeles de la imagen al centro más próximo. Posteriormente se calculan nuevamente los centros de clase teniendo en cuenta los valores de los píxeles incorporados anteriormente (Chuvieco, 2002, p. 393). Por otro lado, se elaboró el índice de agua MNDWI (Modification of Normalized Difference Water Index). Este índice surgió como respuesta a la incapacidad del índice de diferencia de agua normalizado (NDWI) para separar territorios artificializados del agua [...] reemplazando la banda del Infrarrojo Cercano (IRC) por la banda del Infrarrojo Medio (IRM) (Ariza, *et al.*, 2016, p. 4), como se observa en la siguiente fórmula:

$$MNDWI = \frac{\text{Verde} - SWIR}{\text{Verde} + SWIR}$$

Finalmente, se realizó el análisis de la banda del infrarrojo de onda corta o infrarrojo próximo, mediante una expansión del histograma. Según Chuvieco (1991) es importante por su capacidad para discriminar masas vegetales y concentraciones de humedad.

Análisis de datos de precipitación.

Se trabajó con datos de precipitación obtenidos de la Estación Experimental Integrada Barrow (INTA) correspondiente al periodo 2000 – 2018. Para cada uno de los años bajo estudio se identificó la máxima precipitación mensual. Luego se realizó la suma del valor de precipitación de cada mes con el valor del mes anterior y se identificó la máxima precipitación para dos meses consecutivos. De igual modo, se realizó el estudio de máxima precipitación para tres meses consecutivos. Posteriormente, se calculó la probabilidad de ocurrencia para cada año y máximo precipitado. Finalmente, teniendo en cuenta la Distribución de Gumbel que considera la media y el desvío estándar, se calculó el periodo de retorno para cada año y valor máximo estudiado. Considerando el peligro hidrológico como la probabilidad de que un evento ocurra en promedio una vez durante N años, se determinaron diferentes niveles de peligro. De modo tal, que si el tiempo de recurrencia es menor a 2 años el nivel de peligro es severo, si es entre 2 y 5 años es alto, si es entre 5 y 15 años es medio y aquellos de más de 15 años es bajo.

Elaboración de cartografía.

Una vez obtenidas las capas ráster derivadas de la elaboración del índice de agua, la clasificación no supervisada y la expansión del histograma de la banda del infrarrojo de onda corta, se procedió al recorte de

las imágenes a los límites del partido y a la posterior transformación de los valores binarios en polígonos mediante un Sistema de Información Geográfica. De esta forma, se procedió a la creación de una capa vectorial de polígonos para cada año analizado a partir de la banda de onda corta y se eliminaron los valores que no hacían referencia a superficies con presencia de agua a partir de la selección de los objetos espaciales en la tabla de atributos. Para evitar la superposición de datos, se eliminaron los polígonos correspondientes a cuerpos de agua que coincidían con la capa de base, año 2009, mediante la herramienta diferencia. La elección del 2009 como año de referencia, radica en que fue el que presentó menor número de píxeles con agua permitiendo la identificación de los cuerpos de agua permanentes.

Para identificar áreas con peligro de anegamiento severo, se reconocieron los píxeles con presencia de agua con una frecuencia de 2 años. De igual modo se reconocieron las áreas con peligro alto, pero con una frecuencia de 5 años y de peligro medio cada 15 años. Los archivos generados fueron unidos y posteriormente recortados con respecto a la categoría anterior para evitar la superposición de píxeles y una representación única de cada nivel de peligro. Para finalizar

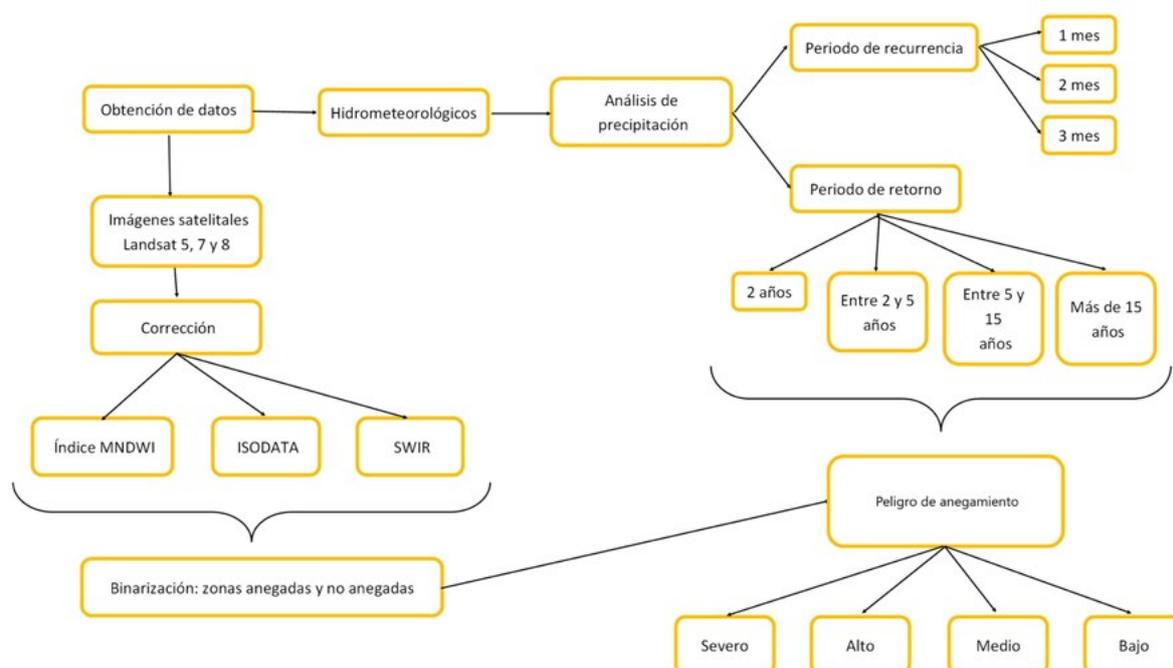
se recortó la capa del año 2001, la cual presentaba la mayor cantidad de píxeles inundados, con una nueva entrada que incluía los cuerpos de agua permanentes (2009), las áreas con peligro severo, alto y medio. El archivo de salida fue nombrado como áreas con peligro de anegamiento bajo.

Para determinar el peligro final se construyó el modelo de la realidad con las capas vectoriales correspondientes a los cursos de agua, localidades del partido de Tres Arroyos, red vial y ferroviaria, límites del partido y puentes. Los mismos fueron previamente descargados del Instituto Geográfico Nacional (IGN), adaptados a la escala de trabajo y actualizados mediante cartas topográficas e imágenes de Google Earth. El resumen de la metodología se observa en el siguiente esquema metodológico (Fig. 2):

RESULTADOS

Del análisis de los datos de precipitación provenientes de la Estación Experimental Agropecuaria Barrow perteneciente al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) se observa que de los 18 años estudiados (Fig. 3), la máxima precipitación (258,8 mm) se registró en el mes de febrero del año 2010 y la mí-

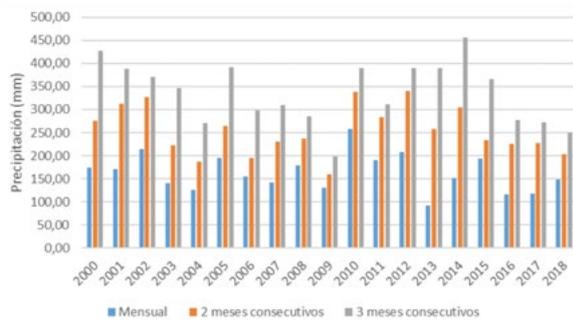
FIGURA 2
DIAGRAMA DE FLUJO DE LA METODOLOGÍA APLICADA



Fuente: Elaboración propia.

nima (92,4 mm) en abril de 2013. Con respecto a los meses acumulados, el año que presenta máxima precipitación con dos meses consecutivos coincide con el año de máxima precipitación mensual, con 339,1 mm, no así la que corresponde a tres meses consecutivos. El mismo se registra en el año 2014 con valores que superan los 450 mm, los cuales representan el 36% de la precipitación registrada. La precipitación promedio anual fue de 1269,9 mm.

FIGURA 3
PRECIPITACIÓN MÁXIMA



Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la probabilidad de retorno, aplicando la Ley de Gumbel (Tabla 1), se observa que para que se den situaciones de valores mensuales con periodos de recurrencia menores de dos años, los valores de precipitación deben superar aproximadamente los 150 mm. Para registros menores de 190 mm el tiempo de retorno es de entre 2 y 5 años, para valores superiores a 190 es de menos de 15 años y de más de 250 mm para más de 15 años. Para valores acumulados de dos meses los registros corresponden a menos de 250 mm para tiempos de recurrencia inferiores a 2 años; valores entre 250 y 300 mm para periodos entre 2 y 5 años, y más de 300 mm para periodos de más de 5 años. Los tiempos de retorno para 3 meses acumulados corresponden a menos de 310 mm para menos de 2 años y más de 400 mm para periodos de más de 15 años.

En referencia al estudio de las imágenes satelitales, la mayor cantidad de píxeles con presencia de agua corresponden al año 2001 (366487 píxeles), mientras que la menor cantidad se da en el año 2009 (39704 píxeles). Con respecto al año 2001, la imagen corresponde al mes de mayo siendo que el máximo valor mensual se registró en abril, mientras que en el año 2009 la imagen corresponde a octubre, lo que indica meses con valores inferiores al pico máximo de mar-

TABLA 1
PERÍODO DE RETORNO

Ley de Gumbel		
Periodo de retorno_1m	Periodo de retorno_2m	Periodo de retorno_3m
2,80	3,1	7,4
2,60	5,9	4,4
6,80	7,7	3,4
1,50	1,5	2,5
1,30	1,1	1,2
4,30	2,6	4,5
1,90	1,2	1,5
1,50	1,6	1,7
3,00	1,8	1,4
1,30	1	1
20,30	9,7	4,4
3,90	3,6	1,7
5,80	9,8	4,4
1,00	2,4	4,4
1,80	5,1	11,4
4,30	1,7	3,2
1,20	1,5	1,3
1,20	1,6	1,2
1,70	1,2	1,1

Fuente: Elaboración propia.

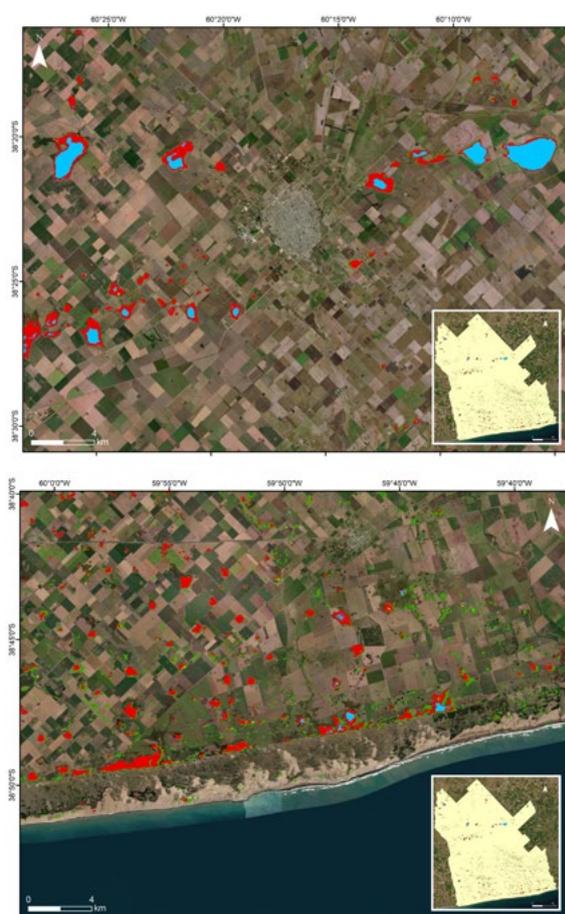
zo. Esto se debe a que en los ambientes de llanura predominan los movimientos verticales del agua (infiltración – evapotranspiración) sobre los horizontales (escurrimientos), lo que genera que la velocidad de evacuación del agua sea lenta (Kruse y Zimmerman, 2002).

A partir de la determinación de los píxeles con presencia de agua para cada una de las imágenes, se determinaron las áreas con peligro de anegamiento severo, alto, medio y bajo. El primero corresponde a píxeles que se presentan inundados con una recurrencia menor a dos años, el segundo a píxeles inundados con una recurrencia entre 2 y 5 años, el tercero entre 5 y 15 años y el último mayores a 15 años.

Los cuerpos de agua permanentes, los cuales fueron identificados a partir de la imagen satelital del año 2009, se observan principalmente en cercanías a la ciudad de Tres Arroyos presentando cierta linealidad. En el límite austral de la cuenca media del Arroyo Claromecó, las lomadas muestran una orientación este-oeste, y se caracterizan por una fuerte asimetría generada por una escarpa contrapendiente, capaz de capturar al sistema de drenaje y que podrían haber controlado la distribución de las lagunas La Tigra y Tres Lagunas (Sosa *et al.*, 2017, p. 6). En este sentido, Martínez *et al.* (2011) sugirieron una reactivación cuaternaria de fracturas pre-existentes de carácter regional y rumbo este-oeste, generadas durante la apertura de la cuenca del Colorado en el Cretácico (Citado en Sosa *et al.*, 2017, p. 6).

Las áreas que presentan peligro de anegamiento severo (Fig. 4) se localizan en inmediaciones de las lagunas anteriormente presentadas y en algunos casos sobrepasan los límites de la llanura de inundación. Hacia el sur del partido (división administrativa de la provincia de Buenos Aires), surgen nuevos cuerpos de agua de los cuales un porcentaje de ellos se presentan alineados con los médanos costeros (Fig. 4). Se destaca en este sentido, el tamaño de los nuevos cuerpos con respecto a los sectores de menor peligro. Las áreas con peligro alto y medio, presentan cierta continuidad espacial con respecto a los de peligro severo, indicando el avance las lagunas, charcas y bañados ante periodos húmedos. Finalmente, las áreas de peligro bajo se presentan como láminas de agua de menor tamaño, principalmente en el sureste del partido de Tres Arroyos. Otra característica es la concentración espacial de la misma, así como la vinculación con los cursos de agua constituyendo fuentes de alimentación para los mismos.

FIGURA 4
PELIGRO DE ANEGAMIENTO SEVERO



Fuente: Elaboración propia.

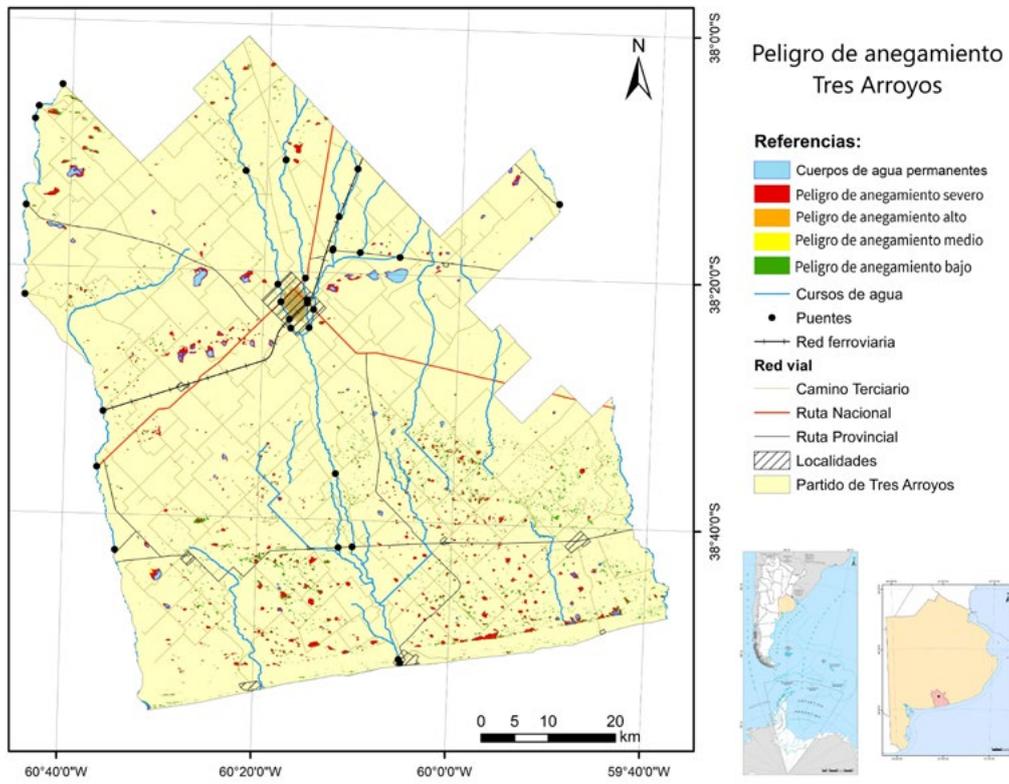
Del análisis más detallado de la cartografía síntesis (Fig. 5) se identifica área de interés, que son de especial importancia para la gestión del riesgo. Los espacios seleccionados son solo algunos de los ejemplos a tener en cuenta en la gestión ambiental y en la ordenación del territorio. Los mismos constituyen nuevas áreas de investigación, dada la complejidad espacial que presentan.

En la figura 6, se observan áreas con peligro de anegamiento severo que cubren vías de comunicación (A) como por ejemplo la ruta Nacional N° 3 en cercanías a su intersección con la ruta provincial N° 85. Otros sectores con peligro severo se encuentran en parcelas que corresponden a barrios parque (E) en inmediaciones a la ciudad de Tres Arroyos, específicamente el barrio Loma de Campano sobre la ruta nacional N° 228. Estos aspectos son de relevancia dado que como se expresó anteriormente las formas de evacuación del agua son lentas, solo por infiltración y evaporación; muy poco por escurrimiento, permaneciendo el agua en el suelo por tiempos importantes, por lo cual la conexión de las localidades muchas veces queda interrumpida. En áreas rurales, el aumento de las precipitaciones genera problemas con la productividad de los campos, dificultando la cosecha o atrasando el tiempo de siembra. También, es muy común la intransitabilidad de caminos rurales, generando el aislamiento de las poblaciones que allí viven, como se observa en la figura F. De forma similar sucede en pequeños pueblos del partido, como es el caso de la localidad de Copetonas en el sector oeste del departamento. En la imagen B se pueden apreciar las áreas anegadas en inmediaciones al ejido urbano, o cubriendo parte de ello. En tal sentido, en septiembre del año 2017 el diario La Voz del Pueblo en su versión online titulaba "Malestar por la inundación del cementerio de Copetonas" (C). Finalmente, la imagen D evidencia una situación que se observa en la ciudad de Tres Arroyos y que es de difícil estudio a escala departamental pero que es de suma importancia para próximas investigaciones, el desbordamiento de los arroyos que atraviesan la ciudad.

DISCUSIÓN

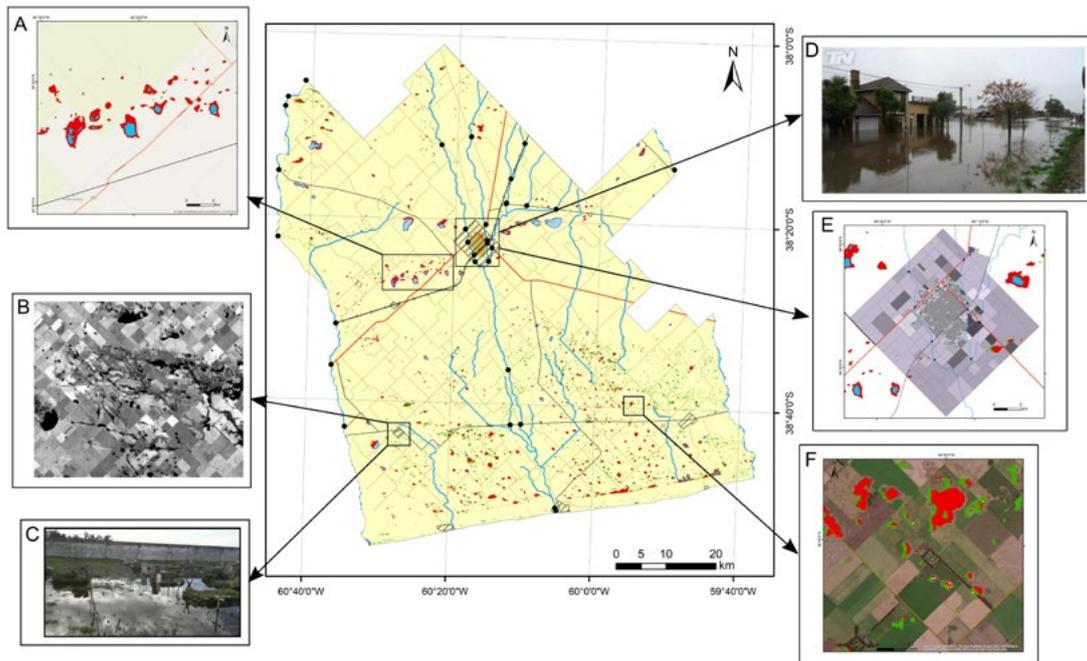
En los últimos años se ha constatado un incremento de la población en riesgo como resultado del aumento de la presión sobre las áreas de influencia de la dinámica fluvial (Geraldí et al., 2020, p. 3). Esto es importante dado que es muy común en la región pampeana, la ocupación de las llanuras de inundación en algunos casos con loteos y en otros con infraestructura

FIGURA 5
PELIGRO DE ANEGAMIENTO. PARTIDO DE TRES ARROYOS



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 6
DETECCIÓN DE ÁREAS INUNDADAS



Fuente: Elaboración propia.

importante como balnearios. Los estudios realizados a nivel mundial demuestran tendencias a largo plazo al incremento de precipitaciones (IPCC), por lo que es esperable que, en el futuro, el área de estudio presente precipitaciones concentradas en menor cantidad de tiempo con mayor permanencia de la misma. Situación que agravará los efectos negativos de las inundaciones y anegamientos en el área de estudio, dado que los principales fenómenos lluviosos intensos ocurren cuando hay girasol y/o trigo plantado en el área de estudio (Villanueva, Cazenave y Bilello, 2009, p. 48) generando problemas con la productividad de los campos, ya sea dificultando la cosecha o atrasando el tiempo de siembra.

Las características de baja energía morfogenética por presentar relieves llanos y el aumento de las precipitaciones podrían generar un incremento en el peligro de inundación en el área de estudio. Así, estas condiciones provocan peligros más severos por la falta de movimiento horizontal del agua, producto de la baja pendiente. Por esta razón la permanencia de ella es por mucho más tiempo y constituyen fenómenos que ocasionan graves daños (Taboada, et al., 2009, Scarpati y Capriolo, 2013; Barragán y Geraldí, 2018; Vidal Quini y Geraldí, 2021)

La ocurrencia de un evento natural desencadenante, como son las precipitaciones intensas y la configuración social previa a la ocurrencia de dicho fenómeno, configura un escenario de vulnerabilidad socio-ambiental que es preciso conocer y analizar. Los resultados obtenidos permiten identificar que el análisis de las precipitaciones, los periodos de retorno con la teoría social del riesgo son cruciales para el estudio de la peligrosidad de anegamiento en áreas de llanura. Se destaca la importancia de los estudios destinados a evaluar las condiciones pluviométricas considerando el periodo de recurrencia y periodo de retorno; integrado, además, al procesamiento de imágenes satelitales para la obtención de índices que permitan reducir la vulnerabilidad ambiental. Esto permite la generación de información anticipada para la toma de medidas destinadas a mejorar la calidad de vida de la población y el ambiente (Wilhite, Sivakumar y Pulwarty, 2014).

CONCLUSIONES

Como ha sido resaltado a lo largo de la investigación, la identificación de áreas de peligro de anegamiento es muy importante para el ordenamiento territorial de un determinado espacio, siendo de vital importancia para nuestra área de estudio dado la

ausencia de estudios de esta índole para el partido de Tres Arroyos. El trabajo aquí propuesto constituye una primera investigación sobre la temática y es prioritario la continuación del mismo.

El partido de Tres Arroyos presenta un gran porcentaje de superficie con distintos niveles de peligro de anegamiento, asociados principalmente al crecimiento de cuerpos lagunares permanentes, a la ocupación del agua en las llanuras de inundación y al surgimiento de nuevas láminas de agua ante periodos húmedos. Frente a registros de precipitación mensuales superiores a los 150 mm y con una recurrencia menor a dos años, se identifican distintas áreas que presentan peligro de anegamiento severo. En muchos casos el monocultivo (soja, trigo o maíz) provoca un desmejoramiento en los suelos dificultando la infiltración de los mismos. La falta de pendientes de las llanuras impide entonces, la evacuación de los excedentes hídricos permaneciendo el agua por mucho tiempo. La infraestructura es otro obstáculo en zonas que presentan algo de pendiente. Las mismas son llevadas adelante sin planes a largo plazo. Esto último, también ocurre en zonas urbanas donde las obras como los desagües pluviales son pensados para el momento sin un plan futuro. Todo esto provoca consecuencias negativas no solo para los habitantes del partido, sino para toda la región dado que es una zona productiva clave en la llanura pampeana. Entre las consecuencias cabe señalar el aislamiento de la población rural por la intransitabilidad de los caminos, el corte de rutas, mermas en la productividad de los campos y pérdidas económicas, así como riesgos sanitarios para la población urbana que sufre la inundación de sus hogares.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, J. y Geraldí, A.M. (2018). Determinación de anegamiento en el partido de Tres Arroyos en el periodo 2013 – 2017 mediante la aplicación de Geotecnologías. XII Jornadas Nacionales de Geografía Física, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Red Argentina de Geografía Física. Recuperado de: <https://redargentinadegeografiafisica.files.wordpress.com/2018/04/resc3bamenes-xiijngf-20181.pdf>
- Ariza, A., García, S., Rojas, S., y Ramírez, M. (2014). Desarrollo de un modelo de corrección de imágenes de satélite para inundaciones CAIN-Corrección Atmosférica e Índices de Inundación. Centro de Investigación y Desarrollo en información Geográfica del IGAC-CIAF.

- Barragán, F. G. y Geraldi, A. M. (2018). Aplicación de teledetección para la determinación de zonas inundadas en la llanura pampeana de Argentina. X Congreso Internacional Geomática 2018.
- Bilello, G., González, M., y Román, M. (s.f). Perfil productivo del partido de Tres Arroyos y posibles impactos del gerenciamiento integral de sus recursos hídricos.
- Borda, M. R. (2016). Características meteorológicas de la zona de Barrow. *AgroBarrow* volumen 58, 21-23
- Carbone, M. E. (2003). Hidrografía del arroyo Claromecó (tesis doctoral). Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca.
- Carbone, M. E., Píccolo, M. C., y Perillo, G. M. E. (2003). Caracterización climática de la cuenca del arroyo Claromecó, Argentina. *Papeles de Geografía*, volumen 38, 41-60.
- Carbone, M. E., y Piccolo, M. C. (2002). Caracterización de las sequías en la localidad de Tres Arroyos (1930-1975): Aplicación del Método de Palmer. *Papeles de geografía*, volumen 36, 209-222.
- Chander, G., y Markham, B. (2003). Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, volume 41, 2674-2677.
- Chander, G., Markham, B. L., y Barsi, J. A. (2007). Revised Landsat-5 thematic mapper radiometric calibration. *IEEE Geoscience and remote sensing letters*, volumen 4, 490-494.
- Chuvieco, E. (1991). Fundamentos de teledetección espacial. *Estudios Geográficos*, volumen 52, 371.
- Chuvieco, E. (2002). Teledetección ambiental: la observación de la Tierra desde el espacio. España. Editorial Ariel.
- Da Silva, C. J., Insaurralde, J. A., y Cardozo, O. D. (2014). Cartografía de coberturas del suelo mediante sensores remotos, de la ciudad de Resistencia, Argentina (2013). doi: <http://dx.doi.org/10.30972/geo.11212103>
- Di Bella, C. M., Posse, G., Beget, M. E., Fischer, M. D. L. A., Mari, N., y Verón, S. (2008). La teledetección como herramienta para la prevención, seguimiento y evaluación de incendios e inundaciones. *Revista Ecosistemas*, volumen 17(3).
- Geraldi, A. M.; Michalijos, M. P y Visciarelli, S. M. (2020). Análisis de la vulnerabilidad asociada a eventos de avenidas: Caso. Villa Serrana La Gruta, provincia de Buenos Aires. En Visciarelli, S. M; Guerrero, A. L. V; Gallucci, S. S; Michalijos, M. P; Espasa, L. C; Geraldi, A. M. (2020). Dinámicas territorializadoras del turismo en el Sudoeste Bonaerense (pp. 299-313). Bahía Blanca, Argentina:
- Geraldi, A. M. (2009). Estudio Geoambiental de la Cuenca lagunar las Encadenadas del Oeste (tesis doctoral). Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca.
- Kruse, E., y Zimmermann, E. (2002). Hidrogeología de grandes llanuras. Particularidades en la llanura pampeana (Argentina). In Workshop publication on Groundwater and Human development (pp. 2025-2038).
- Lavell, A. (2001). Sobre la gestión del riesgo: apuntes hacia una definición. Biblioteca Virtual en Salud de Desastres-OPS, 4. Recuperado de: <http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Mayo2004/pdf/spa/doc15036/doc15036-contenido.pdf>
- La Voz del Pueblo. (2017). Malestar por la inundación del cementerio de Copetonas. *La Voz del Pueblo*. Recuperado de: <https://lavozdelpueblo.com.ar/web/noticia/663-Malestar-por-la-inundaci%C3%B3n-del-cementerio-de-Copetonas%0A>
- Martin, M.C. (2007). Industria, innovación y Desarrollo Territorial. Tres Arroyos, Argentina. (Tesis doctoral). Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca.
- Mercau, J. L., Jobbagy, E. G., Viglizo, E., Menéndez, A., Di Bella, C., Bert, F., Portela, S., Figueroa Schieber, E., Florio, E., Giménez, R., García, P. y Murray, F. (2013). Sequía e inundación en la hiperllanura pampeana. Una mirada desde el lote al municipio. *Revista Agronomía y Ambiente*, volumen 33, 71-77. Recuperado de: <https://www.produccionanimal.com.ar/inundacion/89-mercau.pdf>
- Michalijos, M. P. (2018). Estudio del riesgo de incendio forestal en un sector de la Comarca de la Sierra de la Ventana utilizando geotecnologías (Tesis doctoral). Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca.
- Quiroz Londoño, O. M., Martínez, D. E. y Massone, H. E. (2012). Evaluación comparativa de métodos de cálculo de recarga en ambientes de llanura. La llanura interserrana bonaerense (Argentina), como caso de estudio. *Dyna*, volumen 79, 15-25. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/496/49623207032.pdf>
- San Celedonio, R. P., Micheloud, J. R., Abeledo, L. G., Miralles, D. J., y Slafer, G. A. (2014). Riesgo

- De Anegamiento En Trigo (*Triticum Aestivum* L) Para Distintas Localidades De La Región Tri-guera Argentina. *Ciencia del suelo*. volumen 32. Recuperado de: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/93556>
- Scarpatti, O. E., y Capriolo, A. D. (2013). Sequías e inundaciones en la provincia de Buenos Aires (Argentina) y su distribución espacio-temporal. *Investigaciones geográficas*, volumen 82, 38-51. Recuperado de: <https://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n82/n82a4.pdf>
- Schibber, E. F., Campos, A. N., y Di Bella, C. M. (2013). Seguimiento de áreas anegadas en llanuras mediante sensores remotos. V Congreso Argentino de AgroInformática (CAI)-JAIIO 42. Recuperado de: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/93556>
- Schonwandt, D. R., Lucioni, N. y Andrade, M. I. (2016). Cartografía de riesgo de inundación y la representación de la vulnerabilidad en gran La Plata, Buenos Aires. *Revista de geología aplicada a la Ingeniería y al ambiente*, volumen 36. Recuperado de: https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/art_revistas/pr.9600/pr.9600.pdf
- Scordo, F., Piccolo, M. C. y Perillo G. M. E. (2018). Aplicación del índice de precipitación evapotranspiración estandarizada (SPEI) para identificar periodos húmedos y secos en la Patagonia andina y extra andina argentina. *Universidad Estatal de Sao Paulo, Geociencias*, volumen 37. UNESP. Recuperado de: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/86159/CONICET_Digital_Nro.ab2b9a74-42b9-4b82-849a-261d1f94f474_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Sosa, N. N., Zárate, M. A., y Beilinson, E. (2017). Dinámica sedimentaria Neógena y Cuaternaria continental en la cuenca del arroyo Claromecó, Argentina. *Latin American journal of sedimentology and basin analysis*, volume 24. Recuperado de: <http://www.scielo.org.ar/pdf/lajsba/v24n2/v24n2a01.pdf>
- Taboada, M.A., Damiano, F. y Lavado, R S. (2009). Inundaciones en la Región Pampeana. Consecuencias sobre los suelos. Alteraciones de la fertilidad de los suelos: el halomorfismo, la acidez, el hidromorfismo y las inundaciones. 103-127.
- Tockner, K. y Stanford, J. A. (2002). Riverine flood plains: present state and future trends. *Environmental Conservation* volumen 29, 308 – 330.
- Vera Rodriguez, J.M. y Albarracin Calderon A.P. (2017). Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, volumen 27, no. 2, p. 109-136. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/journal/911/91150559006/html/>
- Vidal Quini, N. y Gernaldi, A. (2021). Estudio de la situación hídrica de la cuenca Encadenadas del Oeste (2015-2019) mediante sensores remotos y sistemas de información geográfica. III Jornadas Internacionales y V Nacionales de Ambiente. Universidad Nacional de Moreno y Universidad Nacional de Hurlingham. Recuperado de: <https://jornadasambiente.ar/estudio-de-la-situacion-hidrica-de-la-cuenca-encadenadas-del-oeste-2015-2019-mediante-sensores-remotos-y-sistemas-de-informacion-geografica/>
- Villanueva, A., Cazenave, G., y Bilello, G. (2009). Valor Económico Del control de inundaciones en el Partido de Tres Arroyos, Pcia. de Buenos Aires, Argentina. *Revista de Gestão de Água da América Latina*. Recuperado de: https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=2&ID=73&SUMARIO=867&ST=valor_economico_del_control_de_inundaciones_en_el_partido_de_tres_arroyos_pcia_de_buenos_aires_argentina
- Wilhite, D. A., Sivakumar, M. V., y Pulwarty, R. (2014). Managing drought risk in a changing climate: The role of national drought policy. *Weather and climate extremes*, volume 3, 4-13.