

Las inundaciones en las áreas urbanas: el caso del Área Metropolitana del Gran Resistencia¹

Floods in urban Areas: case study of Gran Resistencia Metropolitan Area

Cristian Javier Da Silva² , Paula Eugenia López³  y Federico Carlos Arias⁴ 

RESUMEN

El crecimiento urbano manifestado en las últimas décadas en el Área Metropolitana del Gran Resistencia (AMGR), condujo a la ocupación de espacios no aptos para el asentamiento poblacional dada sus condiciones ambientales, y por ello, la alteración de los espacios receptores de agua pluvial, al estar comprometidos con las nuevas urbanizaciones, han cambiado su dinámica y en consecuencia se ha producido un número de inundaciones y/o anegamientos. El objetivo de este trabajo es identificar la distribución espacial de las precipitaciones en el periodo de tiempo comprendido entre 13 de diciembre de 2018 y 17 enero de 2019. Para ello se aplicó el Índice de Agua de Diferencia Normalizada Modificado (MNDWI). Los resultados muestran que el 67,6% del espacio administrativo del AMGR ha sido inundado, y por ello, las viviendas fueron ocupadas por el agua generando pérdidas materiales, poniendo en evidencia la necesidad de obras de infraestructuras tendientes a mitigar los efectos de fenómenos de esta naturaleza.

Palabras claves: Inundaciones, AMGR, Sensores Remotos, Índices de Agua

ABSTRACT

Urban growth shown in recent decades in the Gran Resistencia Metropolitan Area led to the occupation of spaces not suitable for population settlement given their environmental conditions, and because of that, the alteration of rainwater receiving spaces, being committed to new developments, have altered their dynamics and in consequence there have been a number of floods. The aim of this paper is to identify the spatial distribution of precipitation in the period between December 13, 2018 and January 17, 2019. The Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) was applied. The results show that 67.6% of the administrative space of the AMGR has been flooded, and because of that, the houses were occupied by water generating material losses, proving the need for infrastructure works aimed at mitigating the effects of floods.

Keywords: Floods, AMGR, Remote Sensing, Water Index

¹ Esta investigación forma parte del Proyecto de Investigación denominado "Detección y medición de cambios en las coberturas y usos de la tierra en la Provincia del Chaco mediante Tecnologías de Información Geográfica en el periodo 1990 y 2020". Secretaria General de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional del Nordeste.

² Instituto de Investigaciones Geohistóricas - CONICET, Argentina. cjasilva@hum.unne.edu.ar

³ Universidad Nacional del Nordeste. Facultad de Humanidades. lopez,paulae99@gmail.com

⁴ Universidad Nacional del Nordeste - CONICET. fedecarlosarias222@gmail.com

Introducción

En un contexto internacional caracterizado por una serie de problemáticas que atraviesan diversas dimensiones –ambientales, sanitarias, sociales, económicas, políticas, educativas, etc.- la Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha formulado en 2015 un conjunto de objetivos denominados “Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)” para el período de tiempo comprendido entre 2015-2030 (Organización de las Naciones Unidas, 2019). Se han determinado 17 objetivos para que los países y sus sociedades puedan desenvolverse y superar obstáculos, donde la equidad en la accesibilidad a los servicios y al trabajo, tiendan en fin último a mejorar la calidad de vida de la población. Son dos los objetivos que nos conciernen: el N°11 que establece “Ciudades y Comunidades Sostenibles” y el N°13 que plantea la iniciativa de “Acción por el Clima”. Entendemos que los sucesos ambientales acaecidos en el espacio administrativo del AMGR, son consecuencia de la acción combinada de factores sociales, normativos, económicos y naturales, por ello, la enmarcación dentro de los ODS permite direccionar las políticas a fin de garantizar una planificación territorial integral.

En este sentido, la geografía desde su perspectiva aplicada ofrece un conjunto de herramientas teóricas y metodológicas para estudiar las relaciones entre el ser humano y la naturaleza tendientes a resolver problemas empíricos (Pacione, 1999). Concretamente, la geografía aplicada favorecida por la incorporación las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) ha impulsado la practicidad del conocimiento geográfico en la resolución de problemas del mundo real, y ha hecho emerger un ambiente de intercambios que promueve soluciones rápidas a problemas emergentes, a partir de la modelización en entornos virtuales, sin abandonar la rigurosidad científica. Se destaca entonces, las técnicas de teledetección orientadas a la detección y análisis de coberturas, y cambios de usos de la tierra; y las técnicas análisis espacial integrados en software en los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Es dable remarcar que el presente documento manifiesta dos conceptos esenciales para comprender la problemática de estudio planteada: inundación y anegamiento. Aunque los términos en ocasiones pueden usarse como sinónimos (Meza *et al.*, 2017), existen algunas diferencias sustanciales que determinan su utilización en la planificación territorial. Francisco y Ferrando (2006:26) define a la inundación como “desequilibrio que se manifiesta en un momento, lugar y situación dada, entre el volumen hídrico a evacuar en una determinada parcela de tiempo, y la capacidad de evacuación de los cauces o sistemas de drenaje”. En tanto que, el anegamiento puede entenderse como “la acumulación temporal de aguas de lluvias en una determinada porción de territorio” (Meza *et al.*, 2017:150).

En el área de estudio no se han desarrollado trabajos que utilicen TIGs -especialmente sensores remotos- para caracterizar la distribución espacial de las inundaciones. Por tal motivo, la necesidad de colocar en relieve la perspectiva geotecnológica de la geografía para analizar las problemáticas ambientales es el propósito principal del presente trabajo, dado que los modelos de datos utilizados permiten en un entorno computacional, visualizar la distribución espacial de agua precipitada, cuantificar el espacio afectado e identificar a partir de técnicas de clasificación y/o índice una determinada cobertura, entre ellas el agua efectivamente.

En el AMGR, las inundaciones son una constante en el tiempo y están asociados a una serie de factores como la topografía, la localización en el valle de inundación del río Paraná, la localización entre los interfluvios de los ríos Negro, Arazá y Tragadero, la presencia de un número importante de lagunas en el trazado urbano, etc. Si bien, el evento meteorológico sucedido en enero de 2019 fue el desencadenante del problema de inundación en el AMGR, ha puesto en relieve una serie de cuestiones que se vinculan al orden político-administrativo y a las legislaciones que debieran regular y organizar el territorio. Por ello, el presente trabajo tiene como objetivo identificar las áreas afectadas por las inundaciones.

Antecedentes

Existe un número considerable de investigaciones científicas que estudian las problemáticas de las inundaciones, las legislaciones de planificación territorial y el deterioro ambiental, tanto a nivel global como en el ámbito local. Por este motivo, se plantea una revisión de los antecedentes que constituyen aportes centrales para comprender la dinámica de las inundaciones, o bien, representan novedades metodológicas para su análisis.

Antecedentes globales respecto a estudios de las inundaciones

En el plano global, la aplicación de técnicas geotecnológicas para el estudio de las problemáticas ambientales es recurrente, se plantean investigaciones destinadas a la descripción, como así también al desarrollo de nuevas técnicas de análisis. Particularmente, las nuevas metodologías orientadas al análisis de las inundaciones incurren comúnmente en la modelización a partir de datos topográficos, climáticos, hidrológicos y/o a partir de imágenes capturadas por sensores activos -imágenes de satélite- o pasivos -tecnología radar o LiDAR-.

No obstante, se evidencia la presencia de trabajos que contribuyen al desarrollo de documentos normativos y/o de planificación respecto de la gestión de riesgos y manejo de inundaciones. En este sentido, Plate (2002) plantea niveles por lo cual atraviesa los proyectos de gestión de riesgos, donde se verifica tres instancias: un nivel operativo, un nivel de planificación de proyectos y un nivel de diseño de proyectos.

Por otro lado, en consonancia con la perspectiva de cambio climático, Hirabayashi et al. (2013) plantea un estudio que muestra el riesgo de inundación global para finales del presente siglo basado en los resultados de 11 modelos climáticos. A partir de la revisión del estado de arte de modelos de enrutamiento de ríos en conjunto con esquemas de inundación, los autores elaboran el área de descarga e inundación de los ríos, identificando así los espacios globales propensos a ser afectados.

Orientado hacia la modelización de las inundaciones desde la perspectiva hidrológica, Montané et al. (2017) plantea a partir de observaciones hidrogeomorfológicas y un Modelo Digital de Elevación (MDE) LiDAR, el mapeo de los eventos extremos de inundaciones. Asimismo, utilizando datos LiDAR, particularmente un MDE, Toda et al. (2017) realiza la modelización de las áreas inundadas con el objetivo de plantear una clasificación de los cultivos de arroz para diferentes escenarios de inundación.

Por su parte, los estudios de inundaciones en áreas urbanas atraviesan diversas temáticas y campos disciplinares. En este sentido, desde la perspectiva de la modelización, Schmitt et al. (2004) realizan un análisis a partir de la aplicación de un modelo que considera espacios pequeños en términos de necesidad de datos y verificación del modelo, donde las inundaciones urbanas son el resultado de la sobrecarga en los sistemas de alcantarillados. En la misma línea, Mark et al. (2004) plantean el estudio de las inundaciones urbanas por medio de la aplicación de modelos de simulación que consideren la interacción entre el sistema de tuberías, calles y áreas inundadas con agua estancada.

Por otro lado, a partir de la aplicación de técnicas de teledetección y elaboración de índices, Yang et al. (2018) realizan la detección de coberturas de agua en áreas urbanas localizadas en China y Francia para la elaboración de una estrategia automatizada de eliminación de ruidos que pueden afectar a los cuerpos de agua. En virtud de solventar los problemas que dificultan la detección de cuerpos de agua en áreas urbanas, Wu et al. (2018), proponen una técnica denominada *Two-Step Urban Water Index* (TSUWI) donde combinan índices de agua urbana e índices de sombras urbana. Ali et al. (2019) analizan las variaciones en las coberturas de agua en la ciudad de Makassar (Indonesia) a partir de la aplicación del Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI) y el MNDWI, utilizando imágenes Landsat OLI-TIRS. En la misma línea, Vu et al. (2019) aplican el método *pan-sharpening* en virtud de realizar el cálculo del MNDWI, combinando imágenes de Landsat y Sentinel-2, en su banda de mayor resolución espacial para aplicar técnicas de teledetección en áreas urbanas con mayor precisión.

Desde la óptica del riesgo y vulnerabilidad, Ajjur y Mogheir (2020) proponen un método que combina SIG con análisis multicriterio (GISMCDA), para identificar áreas propensas a inundación en la gobernación de Gaza (Palestina). Garrote et al. (2019) plantean un nuevo criterio de clasificación denominado RCR (Risk-Cost Ratio) destinado a mitigar el riesgo económico de las inundaciones, que fuera aplicado en la localidad de Pajares de Pedraza (España) ubicada en la llanura de inundación del río Cega. Por su parte, Olcina et al. (2016), realizan una revisión de cómo se llevaron a cabo en España las políticas de inundación entre 1983 y 2013; demuestran que la exposición a las inundaciones no ha disminuido producto del aumento de la urbanización, pero en general la vulnerabilidad es inferior, dada las mejoras en los mecanismos de adaptación a este tipo de entornos. Por último, Ribas et al. (2020) analizan cómo el aumento en la intensidad de precipitaciones, provocadas por calentamiento del Mar Mediterráneo, influyen en la vulnerabilidad en la zona mediterránea de España.

Antecedentes locales referidos a problemáticas ambientales

En el área local, se identifican al menos tres perspectivas que aglutinan los trabajos revisados: organización del territorio, vulnerabilidad ambiental y efectos de las inundaciones en el espacio urbano.

En el primer grupo, se integran autores como Rey y Lucca (1999) que realizan un estudio integrado de los usos de la tierra y aspectos de deterioro ambiental del espacio urbano. Por su parte, Da Silva y Cardozo (2015) identifican espacios potenciales para el uso residencial en la ciudad de Resistencia a partir de SIG y Evaluación Multicriterio (EMC); para ello emplean variables de orden

ambiental y de accesibilidad; verifican que solo un 21% del espacio de la ciudad es apto para albergar nuevas urbanizaciones de tipo residencial.

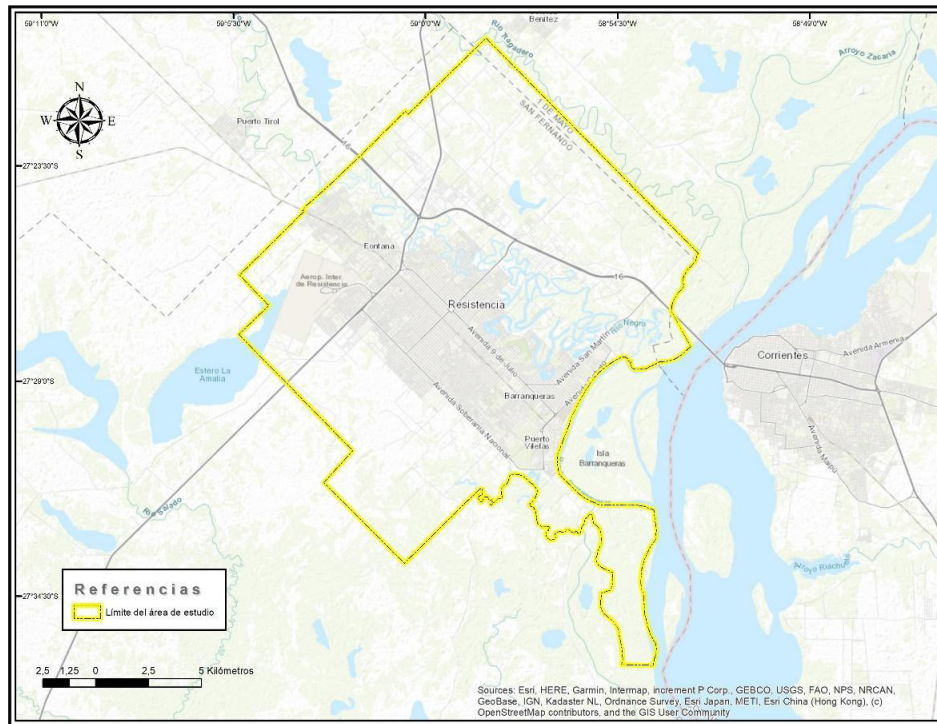
En el segundo grupo, se identifica a autores como Scornik (2007) que efectúa un estudio integrado de dimensiones - sociedad, economía, población y territorio- que permiten verificar la vulnerabilidad en el AMGR. Asimismo, Bataglia (2008) realiza un aporte a la comprensión del concepto de vulnerabilidad por medio del análisis de dos enfoques: educativo y político-institucional; llega a la conclusión de que Puerto Vilelas es un área vulnerable con severos problemas institucionales para el despliegue de estrategias de prevención e intervención ante sucesos de inundación. En la misma perspectiva, J. A. Alberto (2009) analiza la vulnerabilidad ecológica desde la perspectiva del estudio de paisajes para caracterizar el proceso de urbanización y sus efectos en los ecosistemas naturales primitivos y la detección de áreas de mayor impacto ambiental. Finalmente, Alberto (2009) realiza un estudio de la vulnerabilidad resultante de la ocupación de espacios rurales con fines urbanos al norte del AMGR, donde relaciona los patrones de expansión urbana, los terrenos con valor ambiental y se exploran propuestas para minimizar el impacto de la urbanización.

El tercer grupo se encuentra representado por autores como Roces (2015) que analiza y caracteriza las inundaciones periódicas en el AMGR y el conjunto de intereses que subyace ante las medidas que se han adoptado desde la administración pública. También, Borges-Nogueira & Coccato (2019) estudian las inundaciones producidas por lluvia en el AMGR en virtud de encontrar la solución al problema que representa la impermeabilización del suelo. En última instancia, Bennato *et al.* (2019) analizan la expansión del AMGR desde su fundación y su tendencia hasta la actualidad, considerando las regulaciones que fueron surgiendo para explicar la relación existente entre crecimiento urbano y el deterioro del ambiente lacustre.

Área de Estudio

El área de trabajo (ver Figura N°1) corresponde al AMGR, conformado por las ciudades de Resistencia -capital de la provincia del Chaco-, Barranqueras, Fontana y Puerto Vilelas. La población total a partir del censo nacional de población, hogares y vivienda del año 2010 es de 385.726 habitantes (INDEC, 2010).

Figura N°1.
Área de estudio



Fuente: Elaboración propia.

¿Un problema de Localización?

Recurrentemente, las publicaciones científicas referidas a los problemas ambientales emergentes en el AMGR, consideran que el emplazamiento del núcleo es conflictivo e inadecuado. Sin embargo, posiciones más optimistas sostienen que la localización es estratégica desde el punto de vista funcional, dado que el núcleo urbano mantiene una red de relaciones complejas que dinamiza la región, donde la infraestructura de transporte ocupa un rol fundamental (Bruniard, 1972). En ambas posturas se identifican ventajas y desventajas físico-ambiental y económico-funcional que permiten caracterizar el sitio y la situación del AMGR,

Desde la óptica físico-ambiental, el AMGR se localiza al Este de la denominada planicie chaqueña a una distancia cercana del río Paraná -16 km aproximadamente-, por lo que un espacio considerable del núcleo se encuentra asentada sobre el lecho de inundación del mismo río, organizado a partir de las denominadas terrazas (ver Figura N°2): una donde se localizan las ciudades de Barranqueras, Puerto Vilelas y parte de Resistencia -T1, cota entre 49m a 51m MOP (Ministerio de Obras Públicas)-, y otra -T2, cota entre 51m a 53m MOP-, con alturas superiores, permite el desarrollo del resto de Resistencia y la ciudad de Fontana (Muscar-Benasayag y Franchini, 1992; J. A. Alberto, 2009). Las terrazas presentan diferencias fitogeográficas como consecuencia de la variación de las inundaciones a la que se encuentra sometida (Alberto et al., 2017). De este modo se conjuga la presencia del Bosque Chaqueño en la T2 que con los remanentes del Bosque de Ribera que acompaña los cursos fluviales que atraviesan el AMGR y la T1 que alberga las denomina-

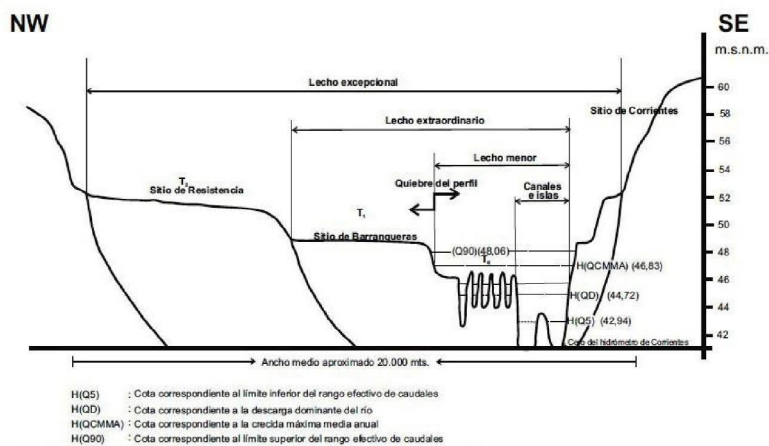
das Sabanas con Palmeras, caracterizado por sus suelos salinos y la presencia de la denominada palma Carandá (*Copernicia Alba*) y pastizales con gramíneas de diversas procedencias (Morello y Adámoli, 1974; J. A. Alberto, 2009).

Asimismo, es dable mencionar que el AMGR contiene un sistema de defensas, diques y estaciones de bombeo que sirven de prevención ante crecidas extraordinarias de los ríos Paraná y Paraguay, y ante la presencia de abundantes precipitaciones que puedan aumentar el caudal del río Negro y del riacho Arazá que se desarrollan dentro de los límites administrativos

El desarrollo metropolitano conllevó una importante intervención en los sistemas naturales de almacenamiento de agua pluvial, por lo que Contreras y Fantín (2015) manifiestan las consecuencias que ocasiona la intervención sobre los cursos naturales respecto de los desagües pluviales, y mencionan que la condición activa de los valles de cursos de agua preexistentes funciona actualmente, situación observada en el área urbana de la ciudad de Corrientes (Argentina). Se evidencia entonces, una situación similar en el AMGR, dado que las aguas precipitadas tienden invadir los espacios antiguamente ocupados por los cuerpos de agua, que se combina con la baja pendiente que no supera los cuatro metros de diferencia entre la T1 y la T2 (ver Figura N°2), y dificulta el escurrimiento de las aguas pluviales. Adicionalmente, debemos considerar las consecuencias del crecimiento urbano que ha experimentado el AMGR que condujo a la ocupación desregulada de los espacios naturales -lagunas principalmente-. Esto se consolidó como una de las principales causas de relleno de lagunas para el establecimiento de barrios residenciales (J. A. Alberto, 2009; Alberto et al., 2017), que en las últimas décadas estuvo fuertemente impulsado por planes de vivienda del Estado Provincial y por iniciativa del mercado inmobiliario -particularmente en la zona norte de la ciudad de Resistencia- (Da Silva, 2018). Según López Piacentini (como se citó en Madariaga y Alcalá, 2007) a principios del siglo XX existían unos 77 espejos de agua alrededor de casco fundacional de la ciudad de Resistencia, situación que cambió drásticamente a causa del crecimiento urbano, de modo tal que en la actualidad se pueden identificar unas 30 lagunas sobrevivientes en el área administrativa del AMGR.

Figura N°2.

Perfil transversal exagerado y desfasado del valle del Río Paraná



Fuente: Alberto et al. (2017).

Las alteraciones producidas en el ambiente lacustre son inevitables, favorecida por períodos de escasas precipitaciones que ha causado el retroceso del agua y, en consecuencia, la ocupación de espacios críticos dentro del área metropolitana. En algunos casos, la urbanización ha borrado los vestigios visibles que indican la presencia de la antigua ocupación de las lagunas, que en la actualidad están ocupados por infraestructura escolar, o bien, por espacios públicos como calles y plazas (Madariaga y Alcalá, 2007).

En efecto, el emplazamiento del AMGR en la zona de interfluvio de los ríos Negro, Tragadero y el riacho Arazá, atravesado además por un número de cuerpos de agua producto de las divagaciones de dichos cursos de agua y de la antigua presencia del río Bermejo, constituye el contexto hidrográfico que caracteriza al área metropolitana, por lo cual, ante la presencia de un marcado crecimiento urbano descontrolado, genera una situación propicia para las problemáticas hídricas que afectan al núcleo (J. A. Alberto, 2009).

¿Un problema ocasionado por la falta de una planificación a largo plazo?

La planificación se presenta como una herramienta capaz de integrar dimensiones y disciplinas a fin de determinar un orden lógico en los elementos del territorio, consiste en plantear un escenario futuro donde la armonía social, económica y ambiental se encuentre asegurado por medio de instrumentos disponibles por parte de la administración plasmados en documentos normativos (Jaraíz-Cabanillas et al., 2013). En otras palabras, la planificación representa un mecanismo utilizado por parte del Estado, que tiene como objetivo mejorar la calidad de vida de la población a partir de la protección de los recursos ambientales disponibles, garantizar el desarrollo económico equitativo y direccionar las acciones de crecimiento de las ciudades de forma equilibrada (Barreto, 2019).

La planificación territorial puede definirse según Pujadas y Font (1998) como una de las modalidades de planificación que intervienen en la ordenación de los usos de la tierra y que pueden ser de índole física y/o normativa. En la misma línea, Gómez-Piñeiro (1987) considera que la planificación territorial “tiene por objeto regular o controlar la actividad de los individuos y grupos, de modo que los efectos negativos que puedan surgir se reduzcan al mínimo y, en consecuencia, estimular mejor el rendimiento del medio físico” (1987:37). Por su parte, Galiana y Vinuesa (2010) realizan un análisis de las bases constitutivas del concepto, estableciendo a partir de una sólida revisión de antecedentes, una serie de afirmaciones que caracterizan al ordenamiento territorial, sosteniendo que este es “una expresión espacial de la política económica, social, cultural y ecológica de una sociedad” (2010:24). Asimismo, Galiana y Vinuesa (2010) la identifica como una “disciplina científica, una técnica administrativa y política, concebida como una aproximación interdisciplinaria y global” (2010:24), que tiene un fundamento racional impulsado desde los poderes públicos con el fin último de disponer los elementos del territorio de forma equilibrada.

Ahora bien, la realidad del AMGR es decadente respecto de la planificación territorial, dada que los municipios que conforman el núcleo no disponen de una entidad gubernamental que organice las políticas en sus diferentes niveles y naturalezas. Entonces, surge una controversia respecto del funcionamiento del núcleo urbano, por un lado, la extensión de las ciudades que la componen se ha aglutinado, producto del crecimiento horizontal, lo que ha generado la con-

formación de una entidad que funciona como un todo, en cambio, las ordenanzas que regulan la organización urbano-ambiental de las ciudades han sufrido actualizaciones de forma aislada.

El Gobierno Provincial en el año 1977, realizó un estudio integral de toda el área metropolitana, cuyos resultados se reflejaron en dos informes: “diagnóstico de la situación urbana en el Gran Resistencia” y “Plan de ordenamiento ambiental del Gran Resistencia y su área de influencia”. Estos sentaron las bases para la elaboración del Código de Planeamiento Urbano-Ambiental del Gran Resistencia (1979), que constituye la normativa sustancial de regulación territorial del AMGR.

En primer lugar, la ciudad de Resistencia cuenta actualmente con un código de planeamiento urbano-ambiental que ha sufrido una importante reconsideración en los últimos años. Los nuevos planteamientos responden a una necesidad intrínseca de la ciudad que ha sido llevado a cabo a través de un convenio entre el Municipio de Resistencia y la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), bajo la denominación: “Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Municipio de Resistencia, POT-RES 2040” (Barreto, 2019). Esta iniciativa fue impulsada en el año 2016 dentro de las oficinas municipales, para lo cual se conformó una comisión que tenía por objeto revisar la legislación urbano-ambiental y, en consecuencia, se observó la necesidad de realizar estudios empíricos que expongan la realidad vigente del núcleo urbano desde diversas dimensiones y así elaborar el POT-RES 2040 que de sustento a las modificaciones del código de planeamiento urbano-ambiental (Barreto, 2019).

Por otro lado, el Municipio de Fontana en los últimos años ha elaborado un marco normativo que garantiza el Ordenamiento Urbano. Para ello, tomando como referencia la normativa que regula el AMGR, se plasmó un conjunto de procedimientos que tienen por fin último garantizar el desarrollo sustentable de la ciudad. Al igual que en el municipio de Resistencia, la normativa en elaboración regula el crecimiento urbano en virtud de las potencialidades del territorio y del modelo de ciudad pensado, con lo cual, dado su documento base, se puede garantizar que los lineamientos están totalmente vinculado al municipio de Resistencia.

El Municipio de Barranqueras en conjunto con el Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda perteneciente a la Presidencia de la Nación Argentina, han elaborado un Plan Estratégico Urbano Territorial con el objetivo de generar un desarrollo urbano equilibrado, considerando las múltiples situaciones socio-ambiental del espacio en cuestión. Para ello, se buscó la elaboración de un Plan Estratégico y un Plan de Usos del Suelo e Intervenciones Urbanas Localizadas aplicables al plano administrativo de la ciudad, relegando el contexto metropolitano a una segunda instancia.

En contraposición, el municipio de Puerto Vilelas no dispone –al menos publicado en su sitio oficial- de un documento normativo y/o un POT en proceso de elaboración. Por ello, el código de planeamiento es el documento vigente ante las intervenciones territoriales que se realizan y dado su desactualización, es contraproducente a los intereses urbano-ambientales de la ciudad.

Las reglamentaciones realizadas en los municipios no actúan con un punto de coalescencia en común, más bien, persiguen los lineamientos políticos y económicos emergentes con cada etapa de gestión, por ello, 42 años después de la elaboración del código de planeamiento urbano-ambiental del AMGR, no se ha concretado un proyecto de planificación integral del espacio geográfi-

co en cuestión y, en consecuencia, los diversos problemas socio-ambientales han persistido e incrementado sus efectos. En lo que respecta a las inundaciones, los diferentes eventos acaecidos en el AMGR han suscitado una serie de intervenciones por parte de la administración pública, por ello, en el Cuadro N°1 se sintetizan las decisiones de intervención territorial y normativas.

Cuadro N°1.

Las intervenciones estatales en el ámbito hídrico

Año	Intervención estatal
1966	Inundación del 60% de la superficie del AMGR. Se decide construir un anillo de defensas.
1986	Sanción del Código de Aguas, Ley 3230.
1991	Designación de la Autoridad de Aguas.
1994	Reforma de la Constitución Provincial, se incluye el artículo 50°: protege el uso integral y racional de los recursos hídricos de dominio público y centraliza el manejo unificado en un organismo ejecutor.
1997	Zonificación de riesgo de inundación en la cuenca baja del río Negro que atraviesa la ciudad. Restricciones al uso del suelo, Resolución N° 365/97.
1998	Se amplía la zonificación y las restricciones asociadas a todo el AMGR. Resolución N° 1111/98.
2001	Se estudia el comportamiento de las lagunas dentro de las áreas defendidas, relacionando línea de ribera, riesgo hídrico y precipitaciones. Resolución N° 093/01.
2009	Restricciones al uso del suelo inundable relacionadas con las lagunas dentro del área defendida. Resolución N° 303/09 y 1050/09.
2013	Estudio del funcionamiento de río Negro en condición regulada, proponiendo las distintas zonas de inundación y compatibilizando las restricciones al uso del suelo con mayor responsabilidad por parte de los municipios. Resolución N° 208/14.
2014	Se estudia y define la zonificación de riesgo hídrico por precipitaciones en el AMGR, como una medida no estructural asociada al crecimiento urbano y al drenaje urbano, para planificar el crecimiento de acuerdo al servicio público de desagües pluviales. Resolución N° 121/14.
2016	Se sanciona una resolución en el marco de la zonificación de áreas inundables y restricciones al uso del suelo por riesgo hídrico, en todos los sistemas hídricos del AMGR en situaciones libre y regulada.

Fuente: Elaborado con base en Rohrmann y Schaller (2016:1).

Materiales y Métodos

Fuentes de datos y normalización

Para el desarrollo del trabajo se consideró la utilización de imágenes de satélite Sentinel-2 que fueron descargadas de la plataforma Copernicus⁵, perteneciente a la Agencia Espacial Europea (ESA). Las fechas de las imágenes Sentinel-2 fueron seleccionadas considerando la diferencia de 30 días aproximadamente. Las imágenes seleccionadas corresponden al 17 de enero de 2019,

⁵ Disponible en <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

momento central de ocurrencia del fenómeno meteorológico y del 13 de diciembre de 2018, donde las condiciones meteorológicas no alteraron drásticamente la distribución de las coberturas.

Dos escenas fueron descargadas desde la plataforma Copernicus para cubrir el área de estudio (21JTK y 21JUK), procesadas a partir de los siguientes pasos metodológicos:

- Conversión del formato "JP2" a "GeoTIFF" en el Software ArcGIS.
- Redimensión de la resolución espacial de 20m a 10m de la banda 12 (Infrarrojo Cercano - IRC) en cada una de las escenas.
- Cálculo del Índice de Agua de Diferencia Normalizada Modificado.
- En virtud de adjuntar las escenas, se realizó un mosaico de las imágenes segmentadas por bandas e índices calculados, en ambas situaciones se procedió considerando la fecha de las imágenes satelitales.
- Por último, se recortaron los MNDWI calculados según los límites del AMGR con la herramienta "Extrac by Mask" del software ArcGIS.

Por otra parte, se ha utilizado el MDE aerofotogramétrico de 5m descargado del Instituto Geográfico Nacional (IGN) de la plataforma web⁶. El MED fue sintetizado a nivel de radios censales con el propósito de obtener un "resumen" a nivel administrativo censal, de modo tal que pueda ser analizado en el marco de la organización del espacio del AMGR en las denominadas terrazas. Los pasos metodológicos que se llevaron a cabo para obtener la Figura N°5 fueron:

- Recorte del MDE según los límites del AMGR con la herramienta "Extrac by Mask" del software ArcGIS.
- Cálculo de las Estadísticas Zonales a partir de la herramienta "Zonal Statistics" presenta en la extensión "Spatial Analyst Tools" de ArcGIS.
- Representación cartográfica de las alturas medias a nivel de radio censal.

Técnicas de análisis

El MNDWI es el resultado de una operación aritmética de los valores espectrales de dos o más bandas. El producto de dicha operación establece un umbral que permite aislar los cuerpos de agua de las demás coberturas y es, además, uno de los índices menos sensibles a la influencia de la vegetación o a la presencia de material en suspensión (Ji et al., 2009). El MNDWI matemáticamente es definido como:

Figura N°3:

$$MNDWI = \frac{\rho_{Verde} - \rho_{IRM}}{\rho_{Verde} + \rho_{IRM}}$$

Fuente: Xu (2006).

⁶ Disponible en <http://www.ign.gob.ar>

Dónde: ρ_{Verde} corresponde con la banda verde del espectro electromagnético y ρ_{IRM} es la banda del Infrarrojo Medio del espectro.

Los resultados del MNDWI oscilan entre -1 a 1, y los umbrales establecidos para determinar cuándo un píxel es agua varían en relación con el área de estudio. En el presente trabajo se han establecido los umbrales de:

- Para la imagen del 13/12/2018 el umbral de 0.0 a 1 para que el píxel sea considerado como Agua; y de -0,17 a 0 para que forme parte de la categoría Ambiente Húmedo.
- Para la imagen del 17/01/2019 el umbral para que el píxel sea considerado Agua es de 0,3 a 1; y para que sea Ambiente Húmedo es de 0,1 a 0,3.

Resultados

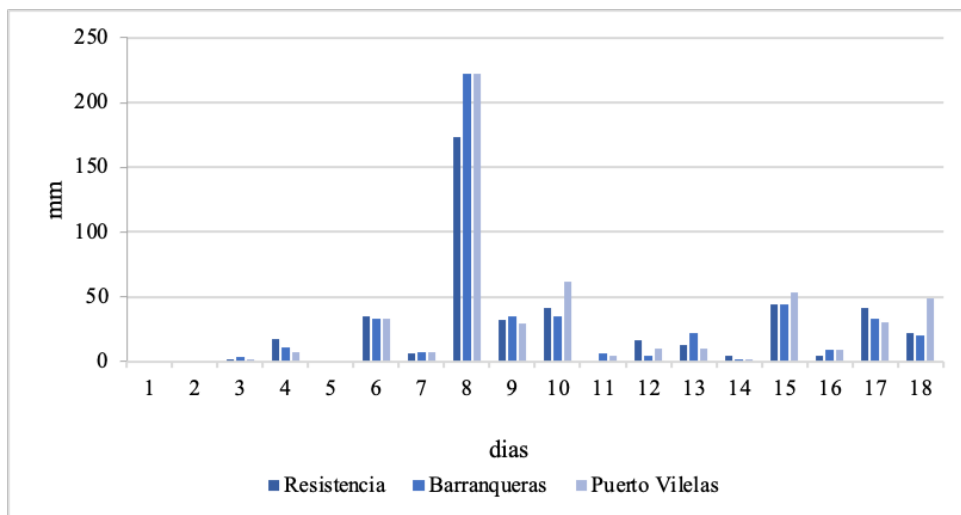
Las condiciones meteorológicas de enero de 2019

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) pronosticó para el martes 8 de enero una alerta por tormentas y vientos para el centro y este del Chaco, en cuya tempestad se esperaba abundante caída de agua en un corto periodo de tiempo y actividad eléctrica. Las precipitaciones comenzaron pasadas las 18:00 horas del martes, y superaron los 100 mm precipitados en las primeras horas del evento. Estas continuaron durante toda la noche del 9 de enero acompañada por vientos de dirección noreste con una velocidad máxima de 26 km/h aproximadamente. Para entonces, el SMN anunciaba que habían precipitado unos 224 mm en la ciudad de Resistencia, superando el último récord histórico -registrado en marzo de 1994 con 205,9 mm según el mismo organismo-. Por otro lado, la Administración Provincial del Agua (APA) de la Provincia del Chaco (2019) publicó las estadísticas donde se contabilizaba los montos precipitados por estación meteorológica en Chaco. En ella se señala que el 8 de enero hubo un total de 173 mm precipitados para Resistencia y 222 mm para Barranqueras y Puerto Vilelas. Sumando las lluvias ocurridas desde el 1 de enero hasta el 8 del mismo mes, según las mediciones de las tres estaciones, se supera el promedio esperado para enero.

Las lluvias se extendieron como lo advirtió el pronóstico del SMN hasta el 18 de enero, día en el cual se registró un promedio de 30 mm precipitados, un predominio de vientos provenientes del sector suroeste que llegó a 28 km/h de velocidad máxima y una temperatura promedio de 22,3°C.

En efecto, en el periodo de tiempo comprendido entre los días 8 y 18 de enero de 2019 se ha registrado un total de 434 mm (APA, 2019), lo que se corresponde con un 30% aproximadamente del promedio anual de precipitaciones para el AMGR. Los registros de precipitaciones se han normalizado y son presentados en la Figura N°4 para las localidades de Resistencia, Barranqueras y Puerto Vilelas.

Figura N°4.
Montos de precipitaciones por unidad administrativa (enero de 2019)



Fuente: Elaboración propia con base en APA (2019).

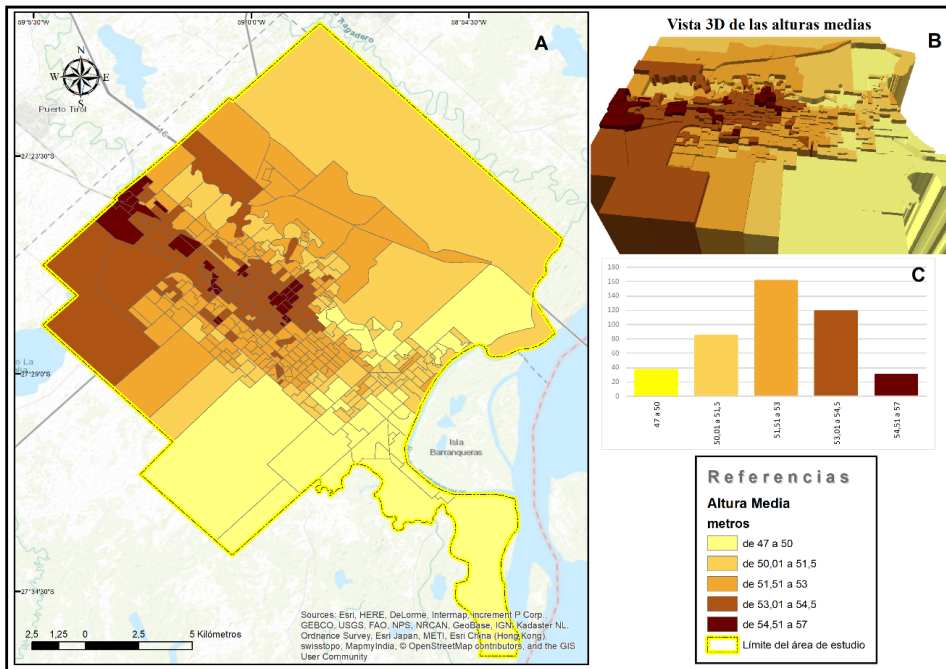
Las condiciones topográficas: una contextualización a partir del MDE

La caracterización de la topografía del área de estudio nos da una contextualización del escurrimiento superficial de las aguas. La organización del AMGR en terrazas es evidente al sintetizar en unidades administrativas censales -radios- las alturas planteadas por el MDE (ver Figura N°5). La representación visual que nos brinda el MDE de las alturas respecto del nivel del mar, nos indica la organización topográfica de las ciudades que conforman el AMGR, estableciendo a Fontana como la de mayor altura, seguida de Resistencia, Barranqueras y, por último, Puerto Vilelas.

Según el MDE ajustado por el IGN, las alturas dentro del AMGR oscilan entre 47 y 57 m, que se han generalizado en los radios, dando como resultado la presencia de: 37 radios en el intervalo de 47 a 50 m; 85 radios en el intervalo de 50,01 a 51,5m; 161 radios en el intervalo de 51,51 a 53m; 119 radios en el intervalo de 53,01 a 54,5m; y, por último, 31 radios en el intervalo de 54,51 a 57m.

Figura N°5.

(A) Alturas Medias (m) a nivel de Radio Censal; (B) vista 3D de las alturas medias, Exageración Vertical 200; (C) Cantidad de Radios Censales por categoría de clasificación



Fuente: Elaboración propia a partir del DEM aerofotogramétrico del IGN (5m).

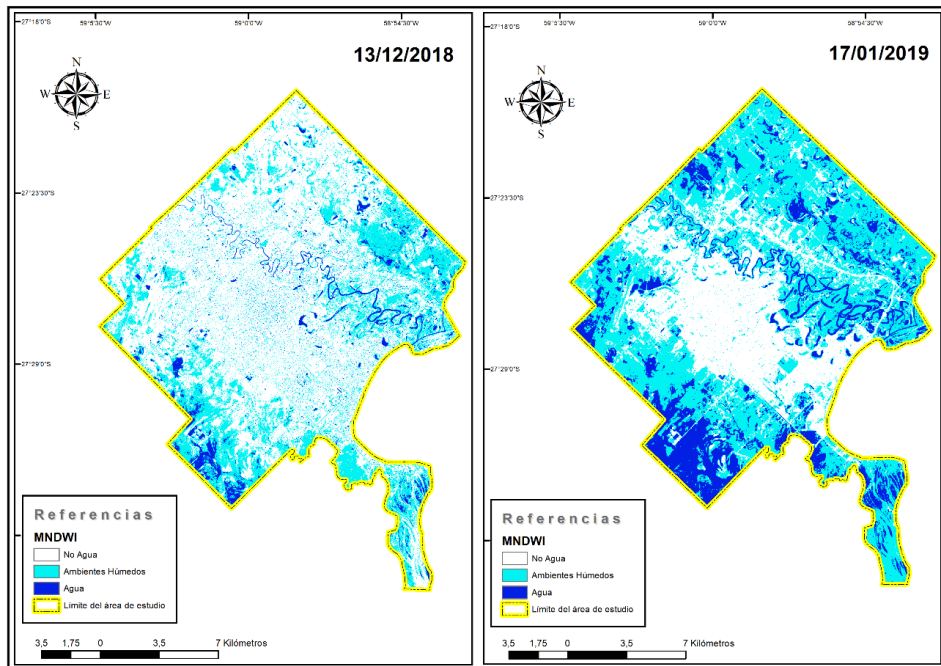
Distribución espacial de las precipitaciones a partir del MNDWI

La magnitud de las precipitaciones que se registraron en el AMGR ha causado el colapso de ambientes que se inundaron completamente, o bien, se convirtieron en espacios anegados. Los cambios en la reflectividad espectral ocasionado por la incorporación de humedad son claramente perceptibles en el MNDWI calculado para el 17 de enero, reflejando además el avance del agua superficial y su relación con los ambientes acuáticos existentes, y con los que han sido alterados por el avance del núcleo urbano.

Una primera visualización del rango obtenido en cada una de las fechas calculadas nos revela un aumento de 0,074 en los valores del MNDWI para el día 17-01-2019. El incremento es claramente producto del aporte de las precipitaciones ocurrida en días previos, que ocasiona la alteración del estado normal de las coberturas, y por ello, la reflectividad se ve afectada, en consecuencia, se produce cambios en la distribución espacial de los píxeles catalogados como agua según el MNDWI.

La observación de la distribución del MNDWI para el 17 de enero refleja que la presencia del agua superficial se acentúa en el sur, norte y en áreas contiguas al curso del río Negro y al riacho Arazá. La recuperación de los ambientes acuáticos es evidente, el aumento de la cantidad de píxeles de agua muestra la inundación causada por las precipitaciones y los Ambientes Húmedos se distribuyen en contigüidad a las áreas de Agua (ver Figura N°6).

Figura N°6.
Distribución espacial del MNDWI en el AMGR

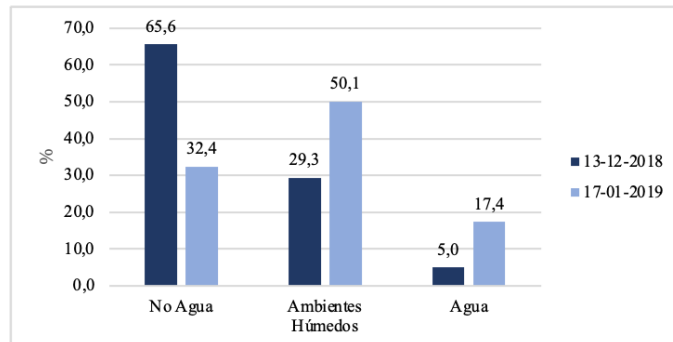


Fuente: Elaboración Propia.

El aumento de los píxeles de Agua ha sido de un 5% -en diciembre de 2018- a un 17,4% -en enero de 2019-, lo que se corresponde con una superficie total de 158,3 ha -en diciembre- a 548,8 ha -en enero-. Por otra parte, los Ambientes Húmedos también han variado la superficie de ocupación, pasando de un 29,3% a 50,1% respectivamente (ver Figura N°7). Cabe destacar que ambas categorías representan los ambientes dentro del AMGR que están cubiertos por agua -cursos y cuerpos-, o en su defecto, se relacionan con áreas de estancamiento temporario asociado a la invasión de los ríos, o bien, constituyen depósitos pluviales. En conjunto, en diciembre de 2018 representaban un 34,4%, situación que cambiaría posteriormente a causa de las precipitaciones, dando como resultado la ocupación de un 67,6%.

Figura N°7.

Porcentaje de superficie de ocupación por categoría de MNDWI



Fuente: Elaboración Propia.

Discusión

La dinámica de las áreas urbanas caracterizada por el crecimiento horizontal trae aparejado una serie de consecuencias, donde los problemas de inundaciones constituyen parte del paquete de problemas ambientales (Ray y Shaw, 2019). Por este motivo, la caracterización de los espacios naturales constituye un punto esencial para comprender la dinámica del territorio, particularmente en referencia a los problemas ambientales que surgen de la interacción con la población residente. Así, la clasificación general otorgada a la topografía del terreno representa una caracterización agregada del escurrimiento superficial que favorece las estimaciones de la dirección del escurrimiento y los espacios que se posicionan como receptores de agua. Esta característica se plantea en la Figura N° 5, que muestra la distribución espacial del gradiente de 10 m de diferencia entre el punto más elevado y por debajo del AMGR; que se distribuye en una dirección Oeste a Este, posicionando a la ciudad de Fontana como la más elevada, y a la ciudad de Vilelas y parte de Barranqueras como las áreas de mayor depresión. Esto determina la distribución del agua procedente de las precipitaciones, dado el poco desarrollo de obras de infraestructuras destinadas a mitigar los efectos producidos por montos pluviométricos excepcionales que, en conjunto con el desarrollo urbano, agravan las problemáticas ambientales dentro de los límites administrativos del AMGR (J. A. Alberto, 2009). La distribución espacial de las precipitaciones reflejadas en la Figura N°6, evidencian los espacios propicios a ser inundados o anegados, por lo cual, ante la presencia de un evento climático con las mismas características, la distribución de las aguas seguiría un curso similar al planteado.

Se destaca entonces la importancia de las TIG, particularmente de las tecnologías satelitales como fuentes de información y a las técnicas de teledetección como instrumento metodológico para la obtención de resultados de manera rápida, que permita la evaluación y simulación de la distribución de fenómenos naturales y humanos (Chuvienco-Salineró, 2008). Remitiéndonos a las características físicas del agua, existe un consenso generalizado en la academia respecto de su separabilidad de las demás coberturas (Xu, 2006), dado su capacidad de absorción y transmisión de la mayor parte de energía que recibe, particularmente en el dominio óptico del espectro electromagnético, por esta razón, es fácilmente detectable en las longitudes de onda corta -azul

y verde- y mantiene una estrecha relación con una serie de componentes como ser: profundidad, sedimentos en suspensión, rugosidad de la superficie, etc. (Chuvieco-Salineró, 2008). Sin embargo, la heterogeneidad de reflexión en las áreas urbanas dificulta comúnmente la discriminación del agua (Vu et al., 2019), por lo cual, la aplicación del MNDWI reduce considerablemente el ruido ocasionado por otras coberturas (Ali et al., 2019). No obstante, remitiendo a los resultados del MNDWI, manifiestan un aumento de un 12% en la distribución de los píxeles catalogados como Agua y el 20,8% categorizado como Ambientes Húmedos, que pone en evidencia la dinámica del territorio en relación la capacidad de filtración y escurrimiento. Por lo tanto, la caracterización de la topografía y la distinción temporal de la distribución espacial de las precipitaciones, constituyen insumos básicos en las políticas de ordenamiento territorial, particularmente, aquellas destinadas a resolver problemas ambientales, que terminen consolidando un horizonte hacia el cumplimiento de los ODS y, en consecuencia, el bienestar social y ambiental.

Conclusiones

El núcleo urbano del AMGR ha hecho emerger un número considerable de cuestiones políticas, económicas, sociales y ambientales que entrelazan relaciones que organizan y dinamizan el espacio geográfico. En este sentido, los sucesos generados por un problema ambiental -la inundación-, desnaturalizó el orden común del transcurso funcional del área metropolitana, estableciendo un panorama de caos respecto de la organización espacial, de la regulación territorial y de convivencia social. Asimismo, es necesario manifestar que la falta de documentos normativos de ordenamiento territorial ajustados y actualizados según la realidad y potencialidad de cada uno de los municipios que integran el AMGR, produce que la dinámica propia del núcleo genere situaciones que alteran los ambientes naturales y derivan en consecuencias concretas como las inundaciones recurrentes. Se hace evidente entonces la necesidad de un organismo que concentre las decisiones normativas, territoriales y sociales desde una perspectiva de área metropolitana ya que la problemática ambiental trasciende los límites administrativos de los municipios, por ello, la planificación urbano-ambiental debe seguir la misma dirección.

Se plantea en un futuro complementar el estudio con datos referidos al total de personas afectadas y sus respectivas pérdidas económicas ocasionadas por la inundación. La dificultad de representar actualmente esta información se fundamenta en ausencia de datos oficiales, dado que solo se cuenta con información periodística que resulta insuficiente e inconsistente que pueden ocasionar sesgo en los resultados. Asimismo, se planea avanzar sobre actividades enfocadas a relacionar los resultados obtenidos con la cartografía de riesgo hídrico elaborado por el APA y la determinación de áreas propensas a ser invadidas nuevamente por las aguas pluviales. Estas consideraciones sentarán las bases para la elaboración de un protocolo de actuación ante eventos de igual magnitud.

Referencias bibliográficas

ADMINISTRACIÓN PROVINCIAL DEL AGUA. Datos Hidrometeorológicos, 2019. (Consulta 20/01/2019). <http://apachaco.gob.ar/site/index.php/datos-hidrometeorologicos/precipitaciones>

AJJUR, S.B., & MOGHEIR, Y. K. Flood hazard mapping using a multi-criteria decision analysis and GIS (case study Gaza Governorate, Palestine). *Arabian Journal of Geosciences*, 2020, Vol.13, N°44, p. 2-11. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-5024-6>

ALBERTO, J. A. Vulnerabilidad Ecológica. Entre lo Ambiental y lo Social. El caso de Área Metropolitana del Gran Resistencia. En: FOSCHIATTI, A. M. (eds.). *Aportes Conceptuales y Empíricos de la Vulnerabilidad Global en el Nordeste Argentino*. Resistencia, Argentina: Universitaria de la Universidad Nacional del Nordeste, 2009, p. 117-158.

ALBERTO, J. Vulnerabilidad Ambiental. Vulnerabilidad resultante de la ocupación de espacios rurales con fines urbanos. Estudio de un caso periurbano del AMGR. En: FOSCHIATTI, A. M. (eds.). *Aportes Conceptuales y Empíricos de la Vulnerabilidad Global en el Nordeste Argentino*. Resistencia, Argentina: Universitaria de la Universidad Nacional del Nordeste, 2009, p. 83-116.

ALBERTO, J., MIGNONE, A., ARCE, G., & LÓPEZ, S. Condiciones hidrogeomorfológicas en el área metropolitana del Gran Resistencia, Provincia del Chaco, República Argentina. *Revista Contribuciones Científicas (GAEA)*, 2017, N° 29, p. 37-50. https://repositorio.unne.edu.ar/bitstream/handle/123456789/27670/RIUNNE_FHUM_AR_Alberto-Mignone-Arce.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ALI, M. I., DIRAWAN, G. D., HASIM, A. H., & RAIS ABIDIN, M. Detection of Changes in Surface Water Bodies Urban Area with NDWI and MNDWI Methods. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 2019, Vol. 9, N° 3, p. 946-950. <http://dx.doi.org/10.18517/ijaseit.9.3.8692>

ARGENTINA. Código Urbano Ambiental de la ciudad de Resistencia, 1979, N° 2.406, p. 118.

BARRETO, M. E. Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del municipio de Resistencia. POTRES 2040. En: *8 Seminario de Políticas Urbanas, Gestión Territorial y Ambiental para el desarrollo local, Resistencia*, 2019, p 1 - 19.

BATAGLIA, M. Vulnerabilidad Educativa, Política e Institucional en comunidades afectadas por las inundaciones de llanuras: aspectos fundamentales para la Gestión y la Gobernabilidad. *Revista Geográfica Digital*, 2008, N° 10, p. 1-20. <https://revistas.unne.edu.ar/index.php/geo/article/view/2828>

BENNATO, A., VICTORIA, V. M., BERENT, M., ALBERTO, M., & ROIBÓN, M. J. ¿Cuál es el futuro de las lagunas de Resistencia? En: *8 Seminario de Políticas Urbanas, Gestión Territorial y Ambiental para el desarrollo local, Resistencia*, 2019, p 1-12.

BORGES-NOGUEIRA, J., & COCCATO, C. Inundaciones por lluvia en el Área Metropolitana del Gran Resistencia: inventario de componentes. En: *8 Seminario de Políticas Urbanas, Gestión Territorial y Ambiental para el desarrollo local, Resistencia*, 2019, p

BRUNIARD, E. D. Resistencia y su Región. *Geográfica*, 1972, Nº 1, p. 1-40. <http://www.imhichu-conicet.gob.ar/resistencia-y-su-region-en-geografica-revista-del-instituto-de-geografia-resistencia-1972-73-n-1-2-planos-2/>

CHUVIECO SALINERO, E. Teledetección Ambiental. Barcelona, España: Ariel, 2008.

CONTRERAS, F. I., & FANTÍN, M. A. El riesgo de la población a inundaciones por lluvias como consecuencia de la dinámica de expansión urbana sobre paisajes anegadizos. El caso de la ciudad de Corrientes. *Folia Histórica*, 2015, p. 97-112. <https://revistas.unne.edu.ar/index.php/fhn/article/view/36>

DA SILVA, C. J. Zonificación de los usos del suelo en la ciudad de Resistencia, Argentina: hacia la construcción de un modelo de ciudad intermedia por medio de sistemas de información geográfica. Tesis de maestría inédita, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA), 2018.

DA SILVA, C. J., & CARDOZO, O. D. Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica aplicados a la definición de espacios potenciales para uso del suelo Residencial en Resistencia (Argentina). *GeoFocus*, 2015, Nº 16, p. 23-40. <https://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/445>

FERRANDO, A.; FRANCISCO, J. Sobre Inundaciones y anegamientos. *Revista de Urbanismo*, Departamento de Urbanismo, F.A.U. Universidad de Chile, 2006, Nº 15, pp. 25-42. <https://doi.org/10.5354/ru.v0i15.5129>

GALIANA, L., & VINUESA, J. Teoría y práctica para una ordenación racional del territorio. Madrid: Editorial Síntesis, 2010.

GARROTE, J., BERNAL, N., DÍEZ HERRERO, A., MARTINS, L. R. & BODOQUE, J. M. Civil engineering works versus self-protection measures for the mitigation of floods economic risk. A case study from a new classification criterion for cost-benefit analysis. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2019, Vol. 37, p. 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101157>

GÓMEZ-PIÑEIRO, J. La Geografía y la Ordenación del Territorio: algunas cuestiones teóricas y prácticas. *Lurralde*, 1987, Nº 10, p. 33-47. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=248640>

HIRABAYASHI, Y., MAHENDRAN, R., KOIRALA, S., KONOSHIMA, L., YAMAZAKI, D., WATANABE, S., KIM, H., & KANAE, S. Global flood risk under climate change. *Nature Climate Change*, 2013, Vol. 3, p. 816-821. <https://doi.org/10.1038/nclimate1911>

INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL. Fotogrametría, 2019 (Consulta: 07/02/ 2019). <https://www.ign.gob.ar/category/tem%C3%A1tica/fotogrametr%C3%ADa>

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas del año 2010, 2019. (Consulta: 07/02/2019). <http://www.indec.gob.ar>

JARAÍZ-CABANILLAS, F., MORA-ALISEDA, J., GUTIÉRREZ-GALLEGO, J., & JEONG, S. Comparison of regional planning strategies: Countywide general plans in USA and territorial plans in Spain. *Journal Land Use Policy*, 2013, Vol. 30, N° 1, p. 758-773.

JI, L., ZHANG, L., & WYLIE, B. Analysis of Dynamic Thresholds for the Normalized Difference Water Index. *Journal Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2009, Vol. 75, N° 11, p. 1307-1317.

MADARIAGA, E., & ALCALÁ, L. Lagunas del Gran Resistencia. Santa Fe, Argentina: Edición del autor, 2007.

MARK, O., WEESAKUL, S., APIRUMANEKUL, C., AROONNET, S. B., & DJORDJEVIĆ, S. Potential and limitations of 1D modelling of urban flooding. *Journal of Hydrology*, 2004, Vol. 299, N° 3-4, p. 284-299. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.08.014>

MEZA, J., RAMÍREZ, L., & CONTRERAS, F. 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). *Contribuciones Científicas GAEA*, 2017, Vol. 29, p. 149-164. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/40276/CONICET_Digital_Nro.61608fc7-7fcc-4940-8e8f-fd24a58b-49c8_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y

MONTANÉ, A., BUFFIN-BÉLANGER, T., VINET, F., & VENTO, O. Mapping extreme floods with numerical floodplain models (NFM) in France. *Applied Geography*, 2017, Vol. 80, p. 15-22. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.01.002>

MORELLO, J., & ADÁMOLI, J. Las Grandes unidades de vegetación y ambientes del Chaco argentino. *Serie Fitogeográfica*. 1974, N° 13. <https://www.worldcat.org/title/grandes-unidades-de-vegetacion-y-ambiente-del-chaco-argentina/oclc/224831802>

MUSCAR-BENASAYAG, E., & FRANCHINI, T. Emplazamientos Urbanos en Zonas de Riesgos naturales: el Caso del Gran Resistencia en la Planicie Chaqueña. *Estudios Geográficos*, 1992, p. 481-501. <https://doi.org/10.3989/egeogr.1992.i208.481>

OLCINA, J., SAURÍ, D., HERNÁNDEZ, M., & RIBAS, A. Flood policy in Spain: a review for the period 1983-2013. *Disaster Prevention and Management*, 2016, Vol. 25, N°1, p. 1-20. <https://doi.org/10.1108/DPM-05-2015-0108>

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2019. (Consulta: 15/03/2019). <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>

PACIONE, M. Applied Geography: Principles and Praxis. *Hrvatski geografski glasnik*, 2011, Vol.73, N°1, p. 7-28. <https://hrcak.srce.hr/file/106388>

PLATE, E. J. Flood Risk and Flood Management. *Journal of Hydrology*, 2002, Vol. 267, p. 2-11. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00135-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00135-X)

PUJADAS, R., & FONT, J. Ordenación y Planificación Territorial. Madrid, España: Síntesis, 1998.

RAY, B., & SHAW, R. Developing Water Security Index for Urban Areas. Urban Drought. En: RAY, B., & SHAW, R. (eds). Urban Drought. Disaster Risk Reduction (Methods, Approaches and Practices). Singapore: Springer, 2019, p. 53-68.

REY, W., & LUCCA, A. Aplicación de SIG a Aspectos Socio-Ambientales del Centro de la ciudad de Resistencia 1999. *Serie Geográfica*, 1999, N° 8, p. 137-151. <https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/1072/Aplicaci%C3%B3n%20de%20SIG%20a%20Aspectos%20SocioAmbientales%20del%20Centro%20de%20la%20Ciudad%20de%20Resistencia%201999.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

RIBAS, A., OLCINA, J., & SAURI, D. More exposed but also more vulnerable? Climate change, high intensity precipitation events and flooding in Mediterranean Spain. *Disaster Prevention and Management*, 2020, Vol. 29, N°3, p. 229-248. <https://doi.org/10.1108/DPM-05-2019-0149>

ROCES, C. La ciudad de Resistencia y las Inundaciones. La efectividad del sistema de defensa empleado. En: *XXXIV Encuentro Arquisur 2015 y XIX Congreso de Escuelas y Facultades Públicas de Arquitectura de los países de América del Sur, La Plata*, 2015, p 1 - 15.

ROHRMANN, H., & SCHALLER, O. Experiencias de 20 años de gestión de Línea de Ribera y Zonificación de Riesgo Hídrico, Resistencia, Chaco. En: *Seminario Taller de Riesgo Hídrico y Línea de Ribera, La Plata*, 2016.

SCHMITT, T. G., THOMAS, M., & ETRICH, N. Analysis and modelling of flooding in urban drainage systems. *Journal of Hydrology*, 2004, Vol. 299, N° 3-4, p. 300-311. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.08.012>

SCORNIK, M. Áreas Urbanas Vulnerables. Algunas consideraciones para un sector de Resistencia, Chaco. *Cuaderno Urbano. Espacio, Cultura, Sociedad*, 2007, N° 6, p. 127-150. <https://revistas.unne.edu.ar/index.php/crn/article/view/1033>

TODA, L. L., YOKINGCO, J. C. E., PARINGIT, E. C., & LASCOAD, R. D. A LiDAR-based flood modelling approach for mapping rice cultivation areas in Apalit, Pampanga. *Applied Geography*, 2017, Vol. 80, p. 34-47. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.12.020>

VU, A. T., LE, T. T. H., & NGUYEN, H. Q. Monitoring Urban Surface Water Bodies Changes Using MNDWI Estimated From Pan-sharpened Optical Satellite Images. En: *Proceedings of the FIG Working Week, Hanoi, Vietnam*, 2019, p 22-26.

WU, W., LI, Q., ZHANG, Y., DU, X., & WANG, H. Two-Step Urban Water Index (TSUWI): A New Technique for High-Resolution Mapping of Urban Surface Water. *Remote Sensing*, 2018, Vol. 10, p. 1704. <https://doi.org/10.3390/rs10111704>

XU, H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 2006, Vol. 27, N° 14, p. 3025-3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>

YANG, X., QIN, Q., GRUSSENMEYER, P., & KOEHL, M. Urban surface water body detection with suppressed built-up noise based on water indices from Sentinel-2 MSI imagery. *Remote Sensing of Environment*, 2018, Vol. 219, p. 259-270. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.09.016>