
Validación de imágenes

SRTM 3 Arc/seg para generación de cartografía de amenazas por inundaciones: caso de San Luis del Palmar, Corrientes, Argentina

Validation of SRTM 3 Arc/seg images in the generation
of flood threats cartography: case of San Luis del Palmar,
Corrientes, Argentina

Félix Ignacio Contreras^{1,2}

Yoel Aníbal Paruzzo¹

¹ Universidad Nacional del Nordeste, Centro de Ecología Aplicada del Litoral (CONICET/UNNE)

² Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura, Corrientes, Argentina
figcontreras@hotmail.com; yoelparuzzo@gmail.com

Resumen

La gestión y alerta temprana de riesgo de las amenazas por inundaciones implica una planificación urbana que debe ser llevada a cabo, a partir de un ordenamiento territorial integral, que sintetice los procesos de ocupación de nuevos espacios en áreas periféricas, como también los conocimientos sobre las dinámicas del paisaje en el cual se insertan. En este sentido, los sistemas de información geográfica constituyen una herramienta fundamental a la hora de generar cartografías temáticas que actúan de base en las futuras tomas de decisiones. Sin embargo, si bien los modelos son representaciones de la realidad, la falta de precisión de los mismos puede desestimar la información resultante. Frente a este contexto, el objetivo de este trabajo fue validar el uso de modelos digitales de elevación (MDE) generados a partir de imágenes SRTM de 3 Arc/seg, cuyo píxel es de 90m, comparando sus resultados con los MDE generados a partir de la nivelación en campo.

PALABRAS CLAVE: modelos digitales de elevación; cartografía de amenazas; inundaciones; planificación urbana; ordenamiento territorial.

Abstract

The management and early risk warning system for floods imply an urban planning that must be performed on the basis of an integral territorial ordinance plan that synthesizes the processes of occupation of new spaces in peripheral areas, as well as the knowledge about the dynamics of the landscape in which they are inserted. In this sense, Geographic Information Systems constitute an important tool for the generation of thematic cartographies that will be the basis for future decision-making processes. Although the models are representations of reality, their imprecision can lead to dismissing the resulting information. On this basis, the objective of this work is to validate the use of Digital Elevation Models (DEM) in the preparation of flood risk cartographies. To do this, we compared DEM obtained from the SRTM images of 3 Arc/sec, whose pixel is 90m, with the DEM based on the data generated in the field.

KEY WORDS: Digital Elevation Models; threats mapping; floods; urban planning; territorial development.

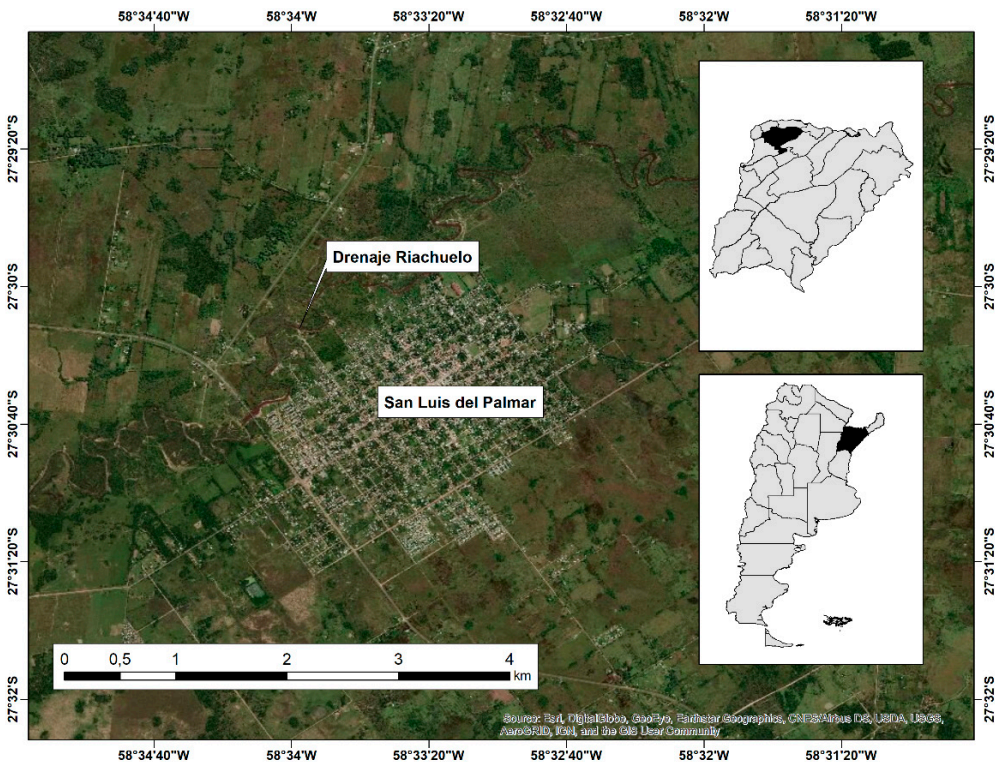
1. Introducción

San Luis del Palmar, correspondiente al departamento homónimo, se ubica a 25km, al este de la ciudad capital de la provincia de Corrientes (Argentina). Se emplaza sobre la margen izquierda del arroyo o dren Riachuelo y se desarrolla en un interfluvio formado entre el recientemente mencionado y el arroyo Riachuelito, los cuales confluyen a pocos kilómetros al SO de la localidad (FIGURA 1).

En esta porción de la provincia de Corrientes, la amplitud del relieve es muy baja (unos 60m entre sus cotas extremas: 70 y 45m), en los extremos NE y SO respectivamente y una energía de relieve también baja a muy baja, predominando el aspecto de extensas planicies en el oeste y suaves colinas en el este (Popolizio, 1986).

El área del sistema hidrológico del arroyo Riachuelo posee una cuenca de 338.760km² y al igual que los demás ríos autóctonos que desembocan en el río Paraná nacen en esteros, los cuales son grandes áreas deprimidas de lento escurrimiento laminar hasta que logran encauzarse y actuar como un ambiente lótico propiamente dicho. La importancia que posee el paisaje de esteros es su rol como amortiguadores hídricos, retardando los tiempos entre el momento del ingreso del agua mediante las precipitaciones y el escurrimiento superficial como río propiamente dicho. Un ejemplo de ello se da en el Pantanal (Brasil), donde las lluvias de verano recién se ven reflejadas en el caudal del río Paraguay en el mes de junio y es conocido en el río Paraná como 'repunte del Pejerrey'. Sin embargo, el arroyo Riachuelo posee una cuenca reducida y su

FIGURA 1 Área de estudio



capacidad de amortiguación hídrica es casi nula. Como consecuencia de ello, sus alturas pueden incrementarse en pocas horas luego de intensas precipitaciones que pueden superar los 100mm.

Desde comienzos del año 2014, la localidad de San Luis del Palmar ha sufrido inundaciones de manera recurrente, teniendo que ser evacuadas 10.000 personas en el año 2017. Según Contreras y Odriozola (2016), la provincia de Corrientes posee tres tipos de riesgo de inundaciones y/o anegamientos en función del drenaje que genera la amenaza. Según los autores, esta localidad posee Riesgo Tipo 2: por el desborde de cursos de agua autóctonos, los cuales constituyen los mayores peligros para la región, debido a la rápida respuesta del incremento del nivel de sus aguas luego de abundantes precipitaciones.

Para Andrade *et al.* (2012) y más adelante Meza *et al.* (2017) la recurrencia de inundaciones y anegamientos en un determinado espacio se debe a factores naturales y antrópicos. Entre los primeros se destacan: el régimen de precipitaciones, la topografía plana del terreno de muy baja pendiente y los suelos hidromorfos con baja permeabilidad. Entre los factores antrópicos más significativos pueden citarse: la pérdida de la capacidad de captar y almacenar agua de lluvia de los suelos por deterioro físico, el diseño de una red vial que condiciona el escurrimiento superficial, la construcción de canales de manera anárquica y el aumento de la urbanización sin un conocimiento integral sobre el funcionamiento hidrológico de la región. En áreas urbanas este fenómeno se ve agudizado por la falta de una planificación que tenga en cuenta las necesidades de evacuación del agua acumulada ante la creciente impermeabilización de los suelos.

La provincia de Corrientes posee antecedentes relacionados con el crecimiento del ejido urbano sobre cursos autóctonos y áreas anegables que,

según Contreras y Fantín (2015), al no presentar lugares propicios para su extensión en todas las direcciones, conlleva a que, aquellos sitios más favorables sean muy demandados y, en consecuencia, aumente el valor de la tierra asociado a la especulación inmobiliaria. A partir de allí se ocupan espacios que naturalmente son anegables, aumentando la exposición de la población luego de lluvias intensas, frente a: riesgos de pérdidas materiales, difíciles o imposibles accesos para facilitar la movilidad y, en algunos casos, la carencia de servicios básicos. En el espacio urbano, los desastres se manifiestan aparentemente de forma sorpresiva, pero en realidad son el resultado natural de la forma en que es socializada la naturaleza (Ríos, 2009).

“Si existiera una planificación y gestión de los espacios urbanos bajo reales conceptos de sustentabilidad, serían resguardados los lechos y bordes de ríos, esteros, canales y humedales, debido a los innumerables bienes y servicios ambientales que ofrecen a la sociedad y para proteger a las poblaciones ribereñas.” (Vidal y Romero, 2010: 1).

En este contexto, Contreras y Odriozola (2016) propusieron una metodología de análisis y generación de cartografía de riesgo de inundaciones, mediante la creación de un modelo digital de elevaciones (MDE) y la superposición de este con el *World Imagery*, que permitía delimitar las áreas de riesgo de San Luis del Palmar. Sin embargo, dicho trabajo no contaba con una constatación en campo que permitiera validar los resultados obtenidos de manera digital. Es por ello que el objetivo de este trabajo fue determinar cuán precisas son las imágenes SRTM de 90m a la hora de confeccionar cartografías de riesgo de inundación a gran escala.

Es importante señalar que *“Los mapas de riesgo de daños por inundación son una herramienta insustituible para detectar las áreas y los elementos sometidos a riesgo y así poder distribuir los esfuerzos*

proporcionalmente a los niveles de afectación. Es decir, conocer el nivel potencial de impacto de la inundación sobre los diversos elementos distribuidos en el territorio ayuda a analizar, a tomar decisiones y a desarrollar medidas de gestión.” Ribera Masgrau (2004: 159).

Los conocimientos alusivos a la topografía del lugar constituyen la base de toda investigación referida al estudio, ya sea directa o indirectamente, de los paisajes, sus dinámicas y evolución, con lo cual esta información puede resultar de interés a diversas ciencias y no exclusivamente a la geografía (Contreras, 2011).

2. Materiales y métodos

Para validar los MDE a partir del uso de imágenes *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) 3 Arc/seg, se han comparado los resultados con los creados a partir de un MDE generado con base en datos altimétricos obtenidos en campo.

En la generación de los MDE se utilizó el software *Global Mapper* 15.1, con una imagen SRTM de 3 arcos por segundo (resolución de 90m) de la localidad de San Luis del Palmar. Posteriormente fue exportada como un archivo ráster en formato *GeoTIFF*, para luego ser analizado mediante las herramientas de análisis espacial del software *ArcGIS* 10.5. A continuación, con la herramienta Análisis Espacial, Superficie, Contorno se generaron curvas de nivel con una equidistancia de 1m a fin de poder delimitar el valle de inundación del arroyo Riachuelo.

La selección de la localidad de San Luis del Palmar se fundamenta en lo trabajado por Contreras y Odriozola (2016), quienes han empleado la metodología de superponer las imágenes de alta definición suministradas por el *World Imagery*, permitiendo discriminar aquellos sectores de la localidad de San Luis del Palmar que estaban bajo riesgo de inundación y/o anegamiento por encontrarse dentro del valle de inundación.

Para la generación del MDE a partir de la nivelación, se han utilizado un Nivel Nikon AX-25 con 20x de aumento, precisión de $\pm 2,5$ mm y un error medio de $\pm 2,0$ mm/km; un Nivel Topcon AT-B4A con 24x de aumento, una precisión de $\pm 2,0$ mm y un error medio de $\pm 2,0$ mm/km y, por último un GPS *Topcon* GR-3. Los circuitos realizados y los puntos generados se pueden observar en la FIGURA 2.

En un siguiente paso y a modo de comparación de resultados, se han confeccionado perfiles topográficos. En una última instancia y según la metodología de confección de cartografías de riesgo de inundaciones propuesta en Contreras y Odriozola (2016), se generaron en *ArcGIS* 10.5 las cartografías temáticas indicando las áreas más vulnerables de la localidad de San Luis del Palmar (Corrientes, Argentina), en función de las alturas históricas del arroyo Riachuelo, según la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación Argentina, las cuales se clasificaron de la siguiente manera de acuerdo a su recurrencia:

1. Zona de Amenaza Alta: las inundaciones ocurren la mayoría de los meses, todos los años.
2. Zona de Amenaza Media: las inundaciones se presentan sólo en algunos meses.
3. Zona de Amenaza Baja: la cual se presenta solo en los registros de los años 2011 y 2017.

3. Resultados y discusión

Con base en los resultados de la nivelación se pudo establecer la cota de 49,98m para el 0 del hidrómetro, a la que sumando la máxima lectura del hidrómetro del arroyo Riachuelo de 5,30m, la cota de máxima inundación de la localidad de San Luis del Palmar resultó ser de 55,28 m (FIGURA 3). A diferencia del MDE observado en la FIGURA 4, donde se puede observar que existen un gran número de manzanas del ejido urbano de la localidad por debajo de ese nivel, al generar la

FIGURA 2 Circuitos y puntos tomados para la generación del MDE a partir de la nivelación

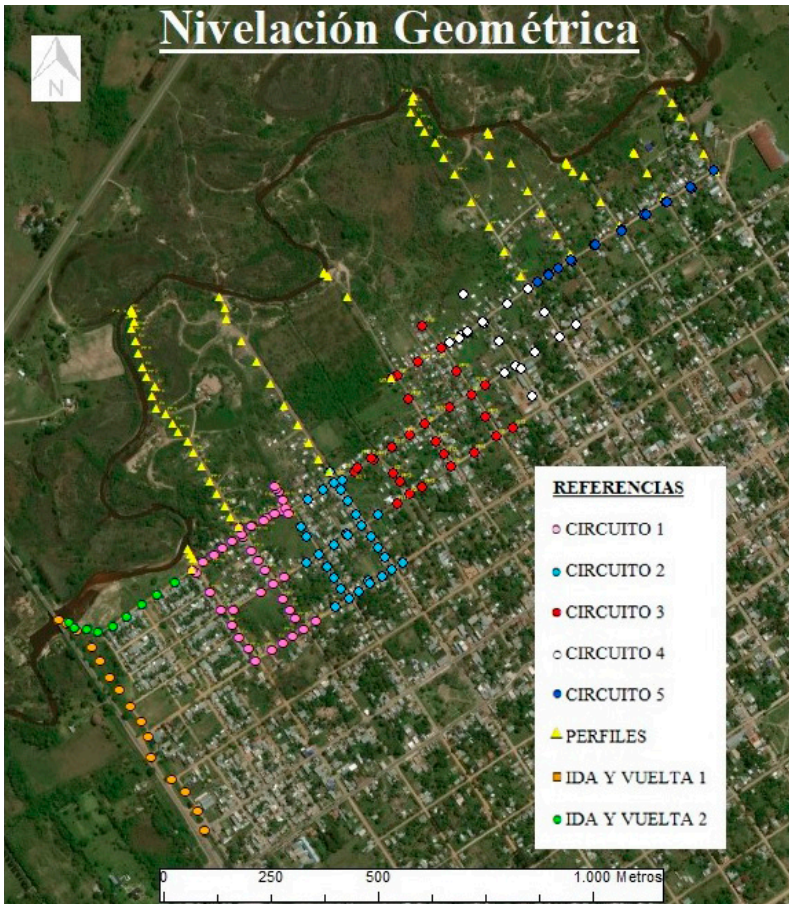


FIGURA 3 MDE creados a partir de puntos altimétricos generados en campo

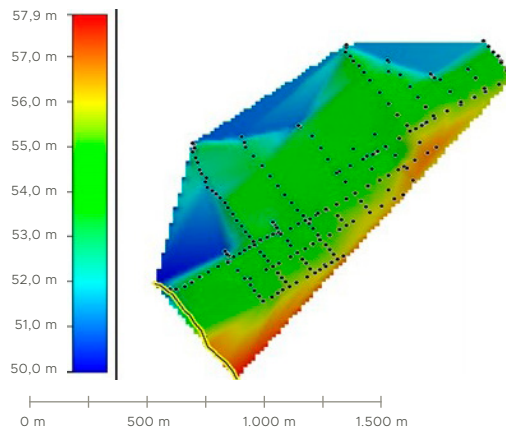
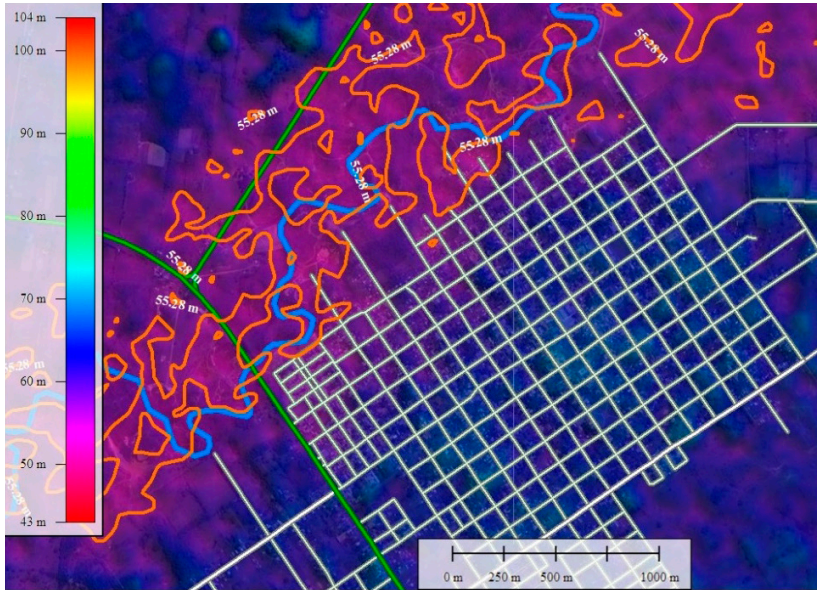


FIGURA 4 MDE generado a partir de una imagen SRTM 3 Arc/seg



curva de nivel correspondiente a la cota 55,28 m en el MDE de imágenes SRTM, las mismas se encuentran fuera del mismo.

La diferencia significativa mencionada se debe a que los datos obtenidos en campo poseen su 0 msnm utilizado por la República Argentina, mientras que las imágenes SRTM poseen una escala global. Por esto motivo es importante hacer una corrección o ajuste de los valores de esta última o bien mantener los valores haciendo la salvedad correspondiente, indicando estrictamente que los valores mencionados no son los mismos que los utilizados por los organismos competentes de un determinado lugar. Este punto es clave, ya que considerar los valores de la imagen SRTM como válidos, la localidad de San Luis del Palmar estaría completamente fuera de peligro o de la amenaza hidrológica.

Con la confección de perfiles topográficos las diferencias se hacen más evidentes. Para el perfil longitudinal obtenido de la nivelación (FIGURA 5), existe un gradiente de 3m, mientras que para el

perfil de la imagen SRTM (FIGURA 6) es de 4m. Por otra parte, mientras que en el primero la pendiente es casi continua, en el segundo presenta mayores cambios más pronunciados, posiblemente debido a errores producidos por la vegetación arbórea o a casas ubicadas en el lugar. Sin embargo, hay que destacar que la escala de trabajo es muy alta y exponiendo al límite la resolución de la imagen SRTM. Es decir, los resultados difícilmente se asemejen, cuando esta última da un valor de altura cada 90m. Por tal motivo, si bien el perfil topográfico de la imagen SRTM no es del todo preciso, si permite tener una idea a priori del paisaje, con lo cual se puede tener en cuenta a la hora de establecer determinados límites de una inundación.

En definitiva, a partir de la nivelación, se pudo confeccionar un MDE de mayor precisión y de tal manera, tener una visión más exacta de la margen izquierda de la localidad de San Luis del Palmar y del porqué de sus reiteradas inundaciones (FIGURA 7).

FIGURA 5 Perfil topográfico a partir de datos obtenidos de la nivelación

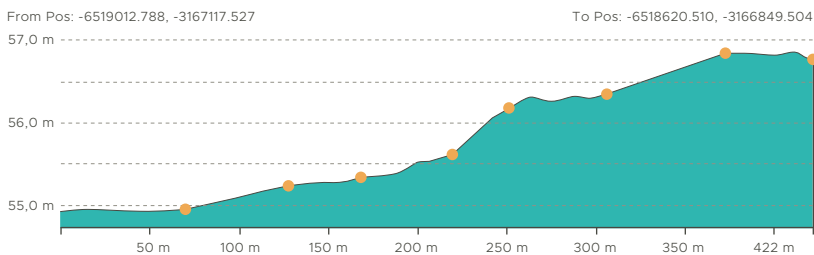


FIGURA 6 Perfil topográfico generado a partir de imágenes STRM

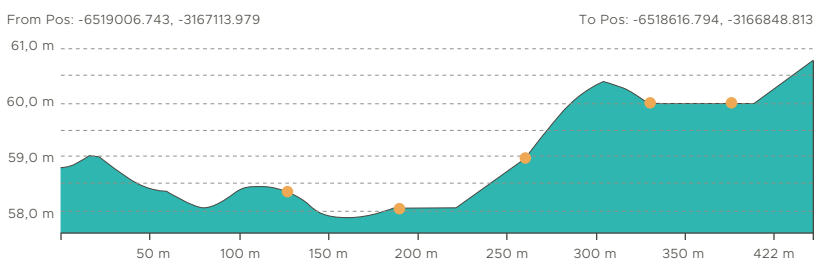
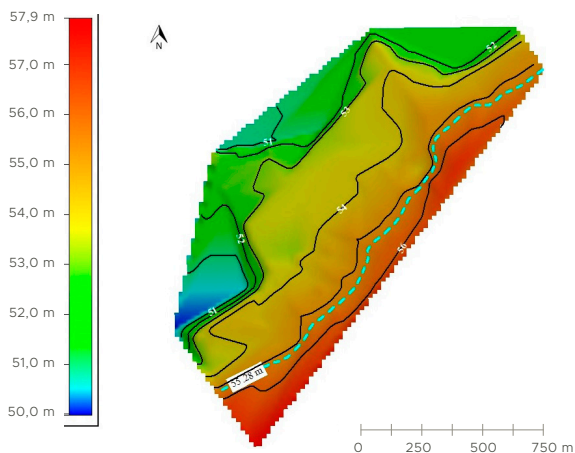


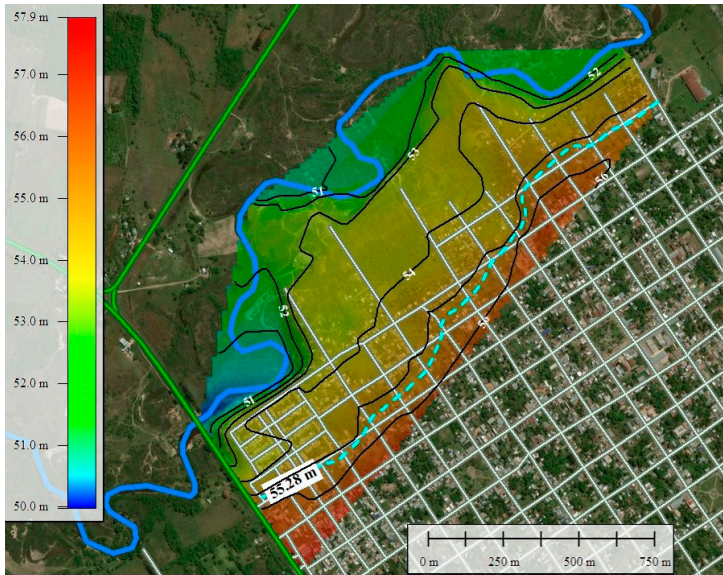
FIGURA 7 MDE resultante de la nivelación geométrica y curva de nivel de máxima inundación (color Celeste)



Continuando con la propuesta de Contreras y Odriozola (2016), la FIGURA 8 muestra la superposición del MDE con el *World Imagery*, permitiendo visualizar la totalidad de casas y manzanas que se encuentran afectadas por las inundaciones.

En una segunda instancia se calculó en 1,5 m el valor medio de alturas leídas sobre el hidrómetro desde el año 2009 hasta el 2018, según los datos de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación. Es importante destacar que dicha altura

FIGURA 8 Superposición del MDE obtenidos de la nivelación y el *World Imagery*



del dren Riachuelo no expone a la población de San Luis del Palmar.

Para establecer el grado de exposición o de amenaza de inundación se ha tenido en cuenta el tiempo de recurrencia de determinadas alturas y la cantidad de veces que se registran en el tiempo.

Las cotas de las curvas de nivel que nos definen las zonas de amenazas se deben al tiempo de recurrencia (cada cuántos años se dan ciertos registros). En este sentido, la zona de Amenaza Alta se alcanza con mucha frecuencia, es decir, en la mayoría de los meses, todos los años. La frecuencia con la que se alcanza la zona de Amenaza Media disminuye presentándose sólo en algunos meses. El tercer caso es el de zona de Amenaza Baja, la cual presenta registros solo en los años 2011 y 2017.

Para determinar la línea de Amenaza Alta, se estableció un tope de 2,27m por encima del promedio (es decir 3,77m a partir del 0 del hidrómetro dando una cota de 53,75m), debido a que se contabilizaron 1.037 registros contenidos en el intervalo 1,50 - 3,77m, es decir que el drenaje alcanza dicha

altura frecuentemente. Para la línea de Amenaza Media, se consideraron 90cm más (4,67m a partir del 0 del hidrómetro dando una cota de 54,65m), debido a la frecuencia de registros incluidos en el intervalo 3,77 - 4,67m, el cual presenta un total de 97 registros, representando casos de crecidas que pueden ocurrir en algunos meses del año. El límite superior de la zona de Amenaza Baja coincide con la línea de máxima inundación (cota 55,28, es decir 5,30m desde el 0 del hidrómetro), encontrando 12 registros dentro del intervalo 4,67- 5,30m. Este es un caso de crecidas extraordinarias.

Teniendo en cuenta las tres zonas de amenaza, se generó la FIGURA 9, con la cartografía de manchas de inundación según su frecuencia de ocurrencia.

- ALTA ($51,33\text{m} < \text{Cota} < 53,75\text{m}$; 1,50m; 3,77m de lectura al hidrómetro local).
- MEDIA ($53,75\text{m} < \text{Cota} < 54,65\text{m}$; 3,77m; 4,67m de lectura al hidrómetro local).
- BAJA ($54,65\text{m} < \text{Cota} < 55,28\text{m}$; 4,67m; 5,30m de lectura al hidrómetro local).

La representación cartográfica y los análisis pertinentes, como lo destacan Meza *et al.* (2017: 160), “*intentan contribuir al conocimiento de las áreas vulnerables, a la vez que pueden ser utilizadas para concientizar a los diversos actores locales a tomar medidas orientadas a la prevención y mitigación del riesgo. La determinación de áreas inundables en*

áreas urbanas”, constituyen un aporte fundamental para la planificación y gestión integral del riesgo.

En lo que respecta a los nueve centros de evacuación existentes (FIGURA 10), se puede decir que uno de ellos se encuentra en el área de amenaza media, encontrándose expuesto, y con probabilidades de que no pueda desempeñarse como tal.

FIGURA 9 Zonas de Amenazas por inundación en World Imagery. (Imágenes satelitales)

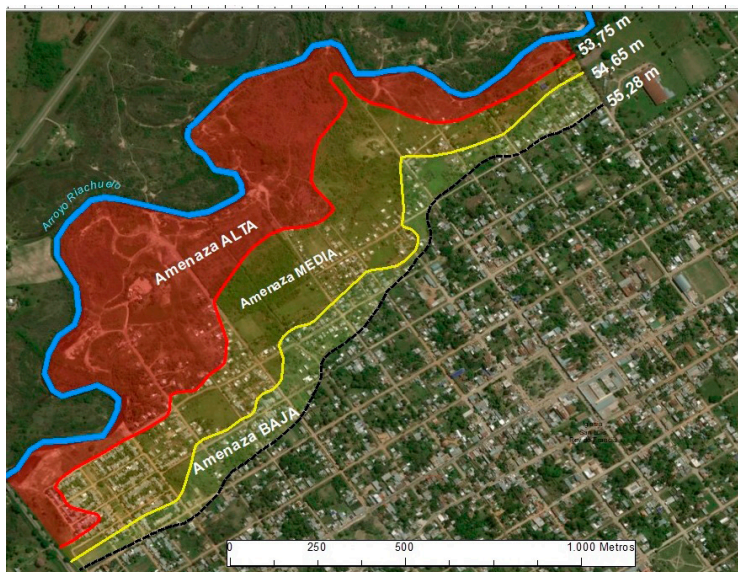
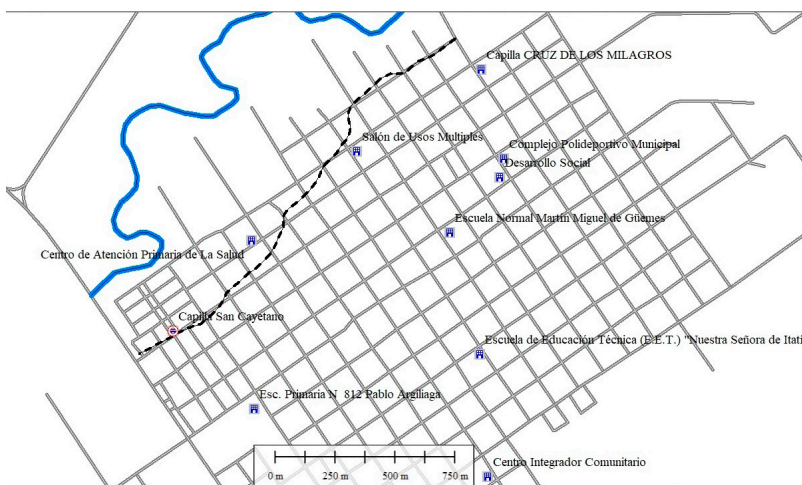


FIGURA 10 Ubicación de los centros de evacuación



4. Conclusiones

No cabe duda de que los sistemas de información geográfica constituyen una herramienta de análisis de gran potencial; no obstante, la generación de modelos implica validar los resultados obtenidos en campo y más si los mismos contribuyen con la gestión y alerta temprana de riesgos, como en este caso son las inundaciones. En este sentido, los modelos digitales de elevación son sumamente valiosos para el conocimiento del terreno sin necesidad de estar en el lugar; pero trabajar con resoluciones bajas como en el caso de las imágenes SRTM de 90m de píxel, podría generar errores graves, al punto de agravar una situación más que resolverla. Un ejemplo claro es la diferencia en metros entre la escala global que utiliza el MDE y las alturas oficiales con la cual se rige un lugar. Para el caso de San Luis del Palmar, esta diferencia es de entre 4 a 5m; sin embargo, la cota establecida por los antecedentes, cuyo valor fue obtenido digitalmente, no ha sido muy diferente al generado mediante la nivelación en campo, ya que para el primer caso, la línea de ribera sería la

cota de 60m, mientras que en el segundo caso la cota es de 56m, pero ambas curvas se encuentran separadas por poca distancia.

Pero la nivelación en campo sumado a las recurrencias de los niveles altimétricos del Riachuelo, han permitido generar una cartografía de amenazas por inundación, zonificando áreas en alta, media y baja.

Ahora bien, una resolución de 90m va a ser más irregular que una nivelación en campo, cuya resolución es inferior al metro, pero las imágenes SRTM han generado MDE válidos para la comprensión de la situación de San Luis del Palmar, demostrando que son de gran utilidad a la hora de conocer el contexto ambiental en el cual un centro urbano se desarrolla. En definitiva, en este trabajo no sólo se ha podido validar el uso de estas imágenes en la confección de cartografías de amenazas por inundación, sino que además se han ajustado los límites de riesgo de inundación teniendo en cuenta la altimetría del lugar, así como también la recurrencia de las crecidas del arroyo Riachuelo.

5. Agradecimientos

El presente trabajo ha sido parcialmente financiado por el Proyecto PI 17Q004 de la Secretaría General de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional del Nordeste.

6. Referencias citadas

- ANDRADE, M.; LUCIONI, N. y L. IEZZI. 2012. Factores de riesgo hídrico en el Gran La Plata, Argentina. *IX Jornadas Nacionales de Geografía Física*. pp.14-24. Bahía Blanca, Argentina. (19 al 21 de abril).
- CONTRERAS, F. I. 2011. "Evolución de las lagunas de la Lomada Norte (Corrientes, Argentina) en función de la pendiente". *Terra Nueva Etapa*. XXVII, 42:146-163. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72121706007>.
- CONTRERAS, F. I. y M. A. FANTÍN. 2015. "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 (Argentina)". *Folia Histórica del Nordeste*, 23: 97-112. Disponible en: <https://iighi.conicet.gov.ar/wp-content/uploads/sites/29/2015/12/FHDN23-03-04.pdf>.

- CONTRERAS, F. I. y M. P. ODRIOZOLA. 2016. "Aplicación de modelos de elevación digital para la delimitación de áreas de riesgo por inundaciones. San Luis del Palmar, Corrientes, Rca. Argentina". *Contribuciones Científicas*, 28: 83-94. Disponible en: http://gaea.org.ar/contribuciones/CONTRIBUCIONES2016/11_CONTRERAS_FELIX-ODRIOZOLA_MARIANA.pdf
- MEZA, J. C.; RAMÍREZ, M. L. y F. I. CONTRERAS. 2017. "Cartografía de áreas de riesgo a inundaciones y anegamientos a partir de modelos digitales de elevación de General José de San Martín, (Chaco, República Argentina)". *Contribuciones Científicas*, 29: 149-164. Disponible en http://gaea.org.ar/contribuciones/CONTRIBUCIONES2017/CONTRERAS_MEZA_OJEDA_CONTRERAS.pdf
- POPOLIZIO, E. 1986. "Influencia del sistema geomorfológico en las crecientes e inundaciones del nordeste argentino". *Geociencias*, 14: 3-33.
- RIBERA MASGRAU, L. 2004. "Los mapas de riesgo de inundaciones: representación de la vulnerabilidad y aportación de las innovaciones tecnológicas". *Documento Anales de Geografía*, 43: 153-151.
- RÍOS, D. 2009. "Espacio urbano y riesgo de desastres: La expansión de las urbanizaciones cerradas sobre áreas inundables de Tigre (Argentina)". *Ambiente e Sociedade*, XII(1): 99-114. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/asoc/v12n1/v12n1a08>.
- VIDAL, C. y H. ROMERO. 2010. "Efectos ambientales de la urbanización de las cuencas de los ríos Biobío y Andalién sobre los riesgos de inundación y anegamiento de la ciudad de Concepción". En: L. PÉREZ e R. HIDALGO (Eds.). *Concepción metropolitana (AMC). Planes, procesos y proyectos*. Serie Geolibros, Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile. URL: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/118084>. [Consulta: febrero, 2019].