



Determinación de áreas con amenazas de inundación por la expansión urbana de Santo Tomé, Provincia de Corrientes (1990-2020)

GOMEZ, Laura Fabiana¹; SMICHOWSKI, Humberto²

¹ Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). Facultad de Ciencias Exactas, Naturales y Agrimensura (FaCENA). Departamento de Agrimensura.

² Centro de Ecología Aplicada del Litoral (CONICET – UNNE).

laura.f.gomez@gmail.com

RESUMEN

El presente trabajo explora la generación de cartografía temática que exponga las áreas urbanas bajo amenazas de inundación en la ciudad de Santo Tomé, Provincia de Corrientes, considerando para su construcción el proceso de expansión urbana que ha experimentado dicha ciudad entre los años 1990 y 2020. Para concretar este objetivo, se utilizaron imágenes satelitales de las misiones Landsat 5 y 8 para cada uno de los momentos mencionados para determinar, mediante un proceso de clasificación supervisada, la distribución espacial de las áreas urbanas. Se utilizó el MDE-Ar con resolución espacial de 30 m provisto por el IGN, al cual se le superpuso las clasificaciones generadas y se trazaron curvas de nivel para determinar el cauce del río Uruguay. Los resultados obtenidos permitieron delimitar las áreas urbanizadas vulnerables de sufrir inundaciones y destacar la detección del avance de la ciudad en sectores anegadizos potencialmente inundables.

Palabras Clave: Expansión Urbana, Inundación, Riesgo.

Urban expansion between 1990 and 2020 and determination of areas of flood threats in the city of Santo Tomé, Province of Corrientes

ABSTRACT

The present work pursues the generation of thematic cartography that exposes the urban areas under flood threats in the city of Santo Tomé, Province of Corrientes, considering for its construction the urban expansion process that said city has experienced between the years 1990 and 2020. To achieve this objective, satellite images from the Landsat 5 and 8 missions were used for each of the mentioned moments, which served to determine, with a supervised classification process, the spatial distribution of urban areas. On the other hand, the DEM-Ar with spatial resolution of 30 m provided by the IGN was used, it was superimposed with the classifications generated and contour lines were drawn to determine the channel of the Uruguay River. The results made it possible to delimit the urbanized areas vulnerable to flooding and to highlight the detection of the advance of the city in potentially flood-prone areas.

Key Words: Urban expansion, Flood, Risk.

Introducción

La responsabilidad de preservación y conservación del medio en que vivimos, de la biodiversidad y de la necesidad de avanzar en el crecimiento económico y en la equidad social que garanticen el desarrollo sostenible son consideradas una condición suficiente para resaltar la importancia de la planificación y ordenamiento del territorio, pues toda acción humana sobre el medio provoca en mayor o menor medida algún tipo de alteración del mismo. En tal sentido, la Nueva Agenda Urbana (NAU) (ONU-Hábitat, 2016) promueve una ciudad que planifica su futuro medioambiental, social y económico a través de soluciones innovadoras que, a la vez que generan prosperidad respetan los recursos naturales (Martínez Gaete, 2016). En otras palabras:

“a la hora de pensar en la expansión del suelo urbano y la planificación territorial, se deberán contemplar aspectos económicos, ecológicos y ambientales, a fin de proveer a los ciudadanos (de la generación actual y la futura) un lugar para vivir, una alta calidad de vida,

segura y saludable, garantizando el cuidado del ambiente, el uso equilibrado del territorio y la conservación del suelo y el paisaje” (Gómez, 2021:72).

Como lo mencionan Vidal y Romero (2010:01):

“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”.

Por su parte, entre los Objetivos de Desarrollo Sostenible propuestos por las Naciones Unidas, en el N° 11 (UN, 2015) se plantea la necesidad de “lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles” y, entre sus metas, (a lograr en el lapso de 15 años a partir del año 2015) destacamos las señaladas a continuación pues consideramos que el presente trabajo podría aportar conocimientos importantes que abonen a la concreción de las mismas :

- *“De aquí a 2030, aumentar la urbanización inclusiva y sostenible y la capacidad para la planificación y la gestión participativas, integradas y sostenibles de los asentamientos humanos en todos los países”.*
- *“Redoblar los esfuerzos para proteger y salvaguardar el patrimonio cultural y natural del mundo”.*
- *“De aquí a 2030, reducir significativamente el número de muertes causadas por los desastres, incluidos los relacionados con el agua, y de personas afectadas por ellos, y reducir considerablemente las pérdidas económicas directas provocadas por los desastres en comparación con el producto interno bruto mundial, haciendo especial hincapié en la protección de los pobres y las personas en situaciones de vulnerabilidad”.*

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituyen una herramienta de análisis de gran potencial que nos permiten acercarnos a nuestro objeto de estudio creando conocimientos más integrales al involucrar conjuntamente información espacial desde diferentes ópticas. En ellos los Modelos Digitales de Elevación (MDE) proporcionan datos sumamente valiosos para tal acercamiento y la representación cartográfica y los análisis pertinentes constituyen un aporte fundamental para la planificación y gestión integral del riesgo, 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”.

La provincia de Corrientes se caracteriza por una gran distribución de ríos, esteros, cañadas y lagunas y 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 y por tanto, luego de lluvias intensas, aumentan la exposición de la población a pérdidas materiales, difíciles o imposibles accesos para facilitar la movilidad y, en algunos casos, la carencia de servicios básicos. Ante los hechos mencionados, Contreras y Odriozola (2016) distinguieron tres tipos de riesgos relacionados con las inundaciones y anegamientos: Riesgo Tipo 1, debido a inundaciones por desborde de los ríos Paraná y Uruguay (principales cursos de agua); Riesgo Tipo 2, debido a inundaciones y anegamientos de cursos autóctonos tributarios de los anteriormente mencionados; por último, Riesgo Tipo 3, debido a anegamientos de áreas deprimidas correspondientes a paleocauces, esteros, cañadas, lagunas, etc.

Ante lo expuesto, el objetivo general de este trabajo es aplicar los MDE, para generar una cartografía de amenazas de inundación y anegamientos en la ciudad de Santo Tomé (Provincia de Corrientes), a fin de generar información que sirva de insumo para los tomadores de decisiones referidas al ordenamiento y planificación del territorio. Para ello se determina la expansión del área urbanizada en el periodo de estudio y se relaciona dicha expansión con los MDE, a modo de obtener datos cuantitativos que evidencien el impacto del crecimiento espontáneo de la ciudad sobre sectores

ambientalmente críticos y establecer áreas críticas que exponen a la población frente a posibles eventos futuros de inundación y anegamiento.

Área de estudio

La localidad de Santo Tomé (cabecera del Departamento homónimo) se localiza a 387 km de la capital correntina, a la vera del río Uruguay que la separa de la ciudad brasilera de Sao Borja (Fig. 1). Se destaca la presencia del Puente Internacional de la Integración, importante obra vial que une ambas ciudades por su lugar estratégico que contribuye a intensificar el intercambio comercial entre los países del MERCOSUR.

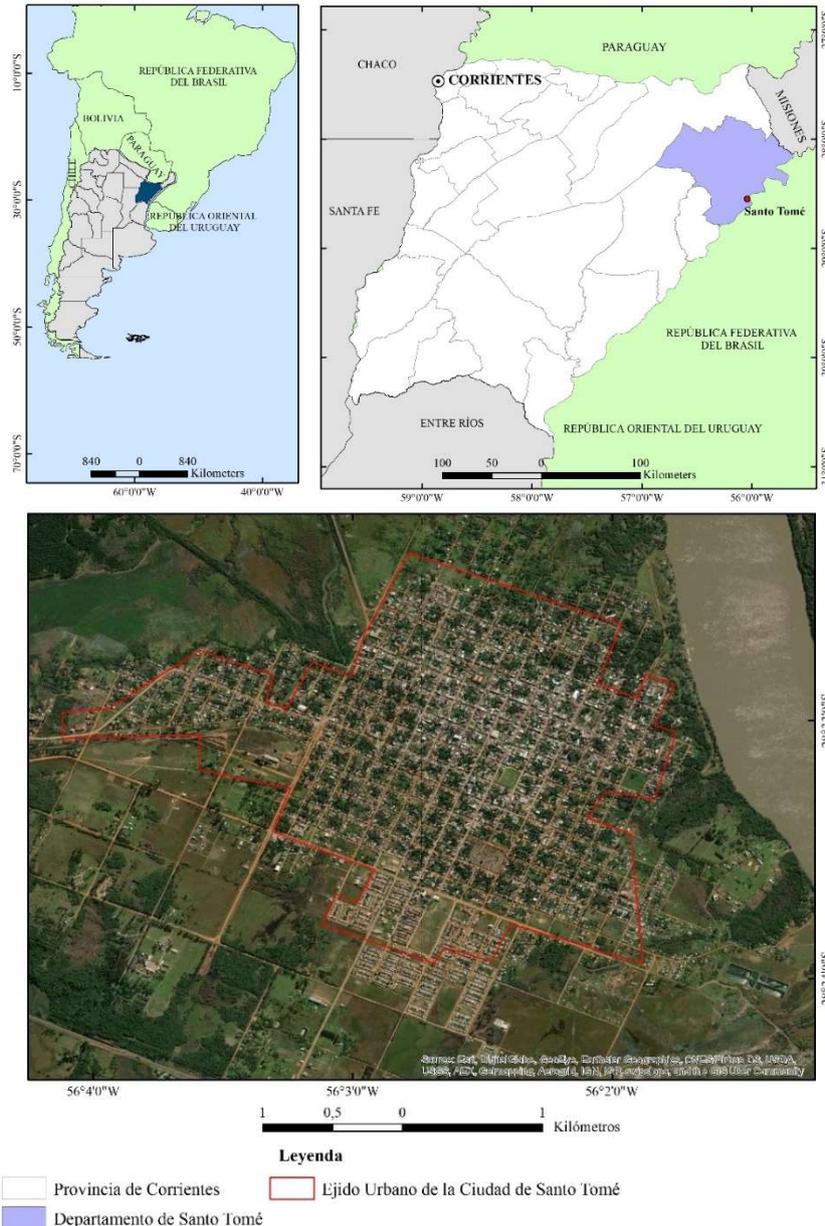


Fig. 1: Localización del área de Estudio. Fuente: Elaboración Propia en base archivos vectoriales del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Tal como lo expresa la Ordenanza Municipal N° 336/2011 del Honorable Concejo Deliberante de Santo Tomé –Corrientes, que persigue la necesidad de proteger la biodiversidad de la flora y la fauna sobre el Río Uruguay, existen antecedentes que evidencian el impacto sobre el ambiente en la zona aledaña al mencionado curso de agua dadas las usurpaciones de predios y las intervenciones sobre los mismos.

Materiales y métodos

Para analizar la expansión urbana se utilizaron imágenes satelitales de las misiones Landsat 5 sensor TM (Thematic Mapper) y Landsat 8 sensor OLI (Operational Land Imager) (en función de las fechas consideradas para el estudio), dada su continuidad en el tiempo y su disponibilidad de forma gratuita. Las mismas poseen una resolución espacial de 30 m y permiten abordar de forma idónea estudios urbanos de las características del presente trabajo. Fueron descargadas del servidor del Servicio Geológico de los Estados Unidos (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). Se usaron imágenes correspondientes al path/row 224/080 de las fechas 16/06/1990 y 03/06/2020. Se realizó el recorte y obtención del subset del ejido urbano de la ciudad y sus alrededores para ambas fechas. Para lograr esta delimitación se utilizó una máscara basada en el polígono urbano provisto por el Instituto Geográfico Nacional (www.ign.gob.ar), y con el fin de evitar que en el segundo momento analizado la mancha urbana exceda la extensión delimitada por el IGN, se la amplió en 2 km utilizando para ello un buffer de polígono.

Para el mejoramiento visual de las imágenes se experimentaron varias composiciones de bandas con el objeto de lograr la mejor discriminación posible del área urbana y las coberturas con agua. Se adoptaron las composiciones 4-3-2 y 5-4-3 para los años 1990 y 2020 respectivamente.

En un paso posterior se realizó una clasificación del área de estudio de tipo supervisada mediante la que se distinguieron las categorías que permitieran visualizar la localización de los sectores anegadizos e inundables, las áreas urbanas y las no urbanas: Urbanizado, No Urbanizado y Cobertura con Agua sin distinción del tipo de humedal. Se adquirieron las muestras necesarias para el trazado de firmas espectrales y se utilizó el criterio de máxima probabilidad. Se debe tener en cuenta que “el problema de clasificar imágenes para la obtención de áreas urbanas es la mezcla de elementos que dentro de ella se encuentran y la confusión de firmas espectrales que de ellos se deriva” (López Vázquez y Plata Rocha, 2009: 90). Por este motivo, este paso se realizó en reiteradas oportunidades hasta alcanzar un resultado que reflejara de la mejor manera posible la realidad analizada. En esta fase se utilizaron como apoyo imágenes de Google Earth de mayor resolución espacial, las cuales constituyeron una herramienta auxiliar a la hora de discriminar las clases informacionales al momento de recoger las muestras.

A partir de los mapas temáticos generados y mediante una tabulación cruzada se determinó la superficie de cada clase en cada momento de análisis y se obtuvieron los movimientos ocurridos entre las clases. Este paso se realizó con el Modelador de Cambios del terreno (Land Change Modeler) incluido en el software TerrSet, que permite la salida de información gráfica y cartográfica.

Para la generación de la cartografía de zonas de amenazas, se descargó de la página web del IGN el Modelo Digital de Elevación MDE-Ar v2.1 con resolución espacial de 30 m y precisión vertical de 2 m aproximadamente. Con la herramienta Análisis Espacial, Superficie, Contorno se generaron curvas de nivel con una equidistancia de 1 metro a fin de poder delimitar el cauce del río Uruguay.

En una etapa siguiente se superpusieron los resultados cartográficos obtenidos hasta el momento (MDE y cartografía temática), lo que permitió determinar el avance de la mancha urbana en cada zona de riesgo.

En un último paso se generó cartografía temática de riesgos por inundación para la ciudad objeto de este estudio.

Cabe mencionar que los materiales mencionados fueron tratados con Sistemas de Información Geográfica (SIG) que “(...) han generado importantes posibilidades al análisis espacial, a tal punto que pueden ser considerados como la tecnología geográfica más importante desde la aparición del mapa” (Chorley, 1987, cit. en Buzai et. al, 2016:18).

Resultados y discusión

Un primer análisis visual de las imágenes obtenidas luego de realizar composiciones falso color para los años 1990 y 2020 (Fig. 2) muestra la expansión de la ciudad en todas las direcciones.

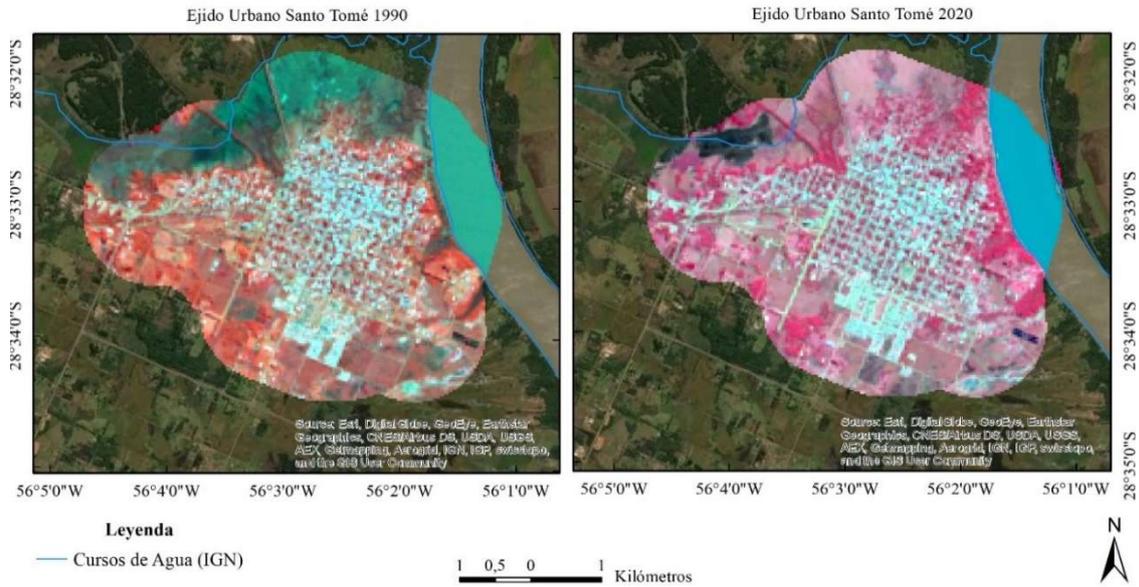


Fig. 2: Ejido urbano de la ciudad de Santo Tomé en los años 1990 y 2020. Imágenes Landsat 5 composición 4-3-2 y Landsat 8 composición 5-4-3. Fuente: Elaboración Propia

Este resultado se acompañó con las clasificaciones supervisadas obtenidas, a las que se aplicó, en una etapa de posproceso, un filtrado de paso bajo (de orden 3x3) para mejorar su visualización (Fig. 3). Es posible afirmar una fuerte consolidación del área central de la ciudad y la disminución de la superficie clasificada como Cobertura con Agua, sin distinción del tipo de humedal, al norte de la ciudad.

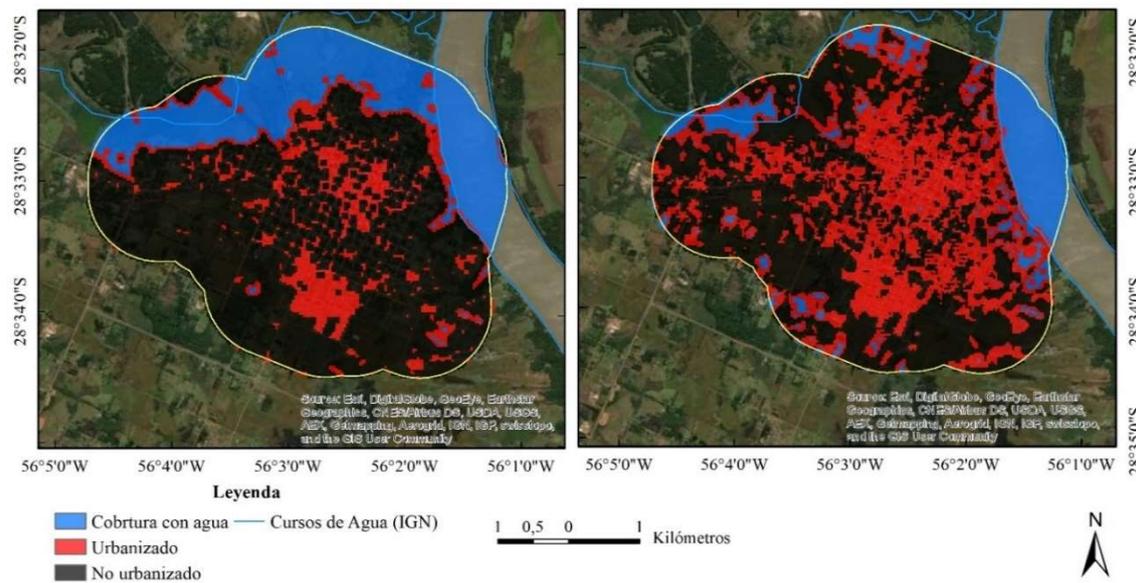


Fig. 3. Clasificación supervisada. Santo Tomé en 1990 y 2020. Fuente: Elaboración Propia

La Tabla 1 presenta en los llamados “Totales” los valores de superficie final de cada clase definida en cada momento de análisis. Al respecto, es posible destacar el aumento de la superficie final de la clase Cobertura con agua y el descenso de las clases Urbanizado y No Urbanizado de superficie en la cobertura con agua. Estos valores a su vez se ven reflejados en la Tabla 2 que presenta los porcentajes en relación a la superficie total de cada una de las clases definidas en este estudio y para cada momento de análisis.

En la diagonal principal de la Tabla 1 se muestran los valores de superficie para cada clase que no han sido modificados, los que se muestran superiores a aquellos que se encuentran fuera de tal diagonal y evidencian la permanencia de las clases en ambos momentos. Por su parte, los valores fuera de la diagonal de la matriz expresan valores que han sido clasificados dentro de una categoría en un momento (1990), y en otra para el momento posterior (2020). Al respecto es interesante resaltar que en 30 años aproximadamente, 153 ha urbanizadas pasaron a clasificarse como Cubiertas con Agua, lo que podría estar mostrando la localización de urbanizaciones en sectores anegadizos o inundables. En sentido contrario solo 7 ha han sido clasificadas como urbanizadas cuando en el primer momento de análisis correspondían a la cobertura con agua.

Tabla 1: Tabulación Cruzada. Santo Tomé en 1990 y 2020. Valores expresados en Hectáreas

		2020			
		Cobertura con Agua	Urbanizado	No urbanizado	TOTAL
1990	Cobertura con Agua	359,9	7,6	260,7	628,2
	Urbanizado	152,9	400,9	89,2	643,0
	No urbanizado	236,1	53,5	531,5	821,1
	TOTAL	748,9	461,9	881,5	2092,2

Tabla 2: Porcentajes de cada clase definida en la ciudad de Santo Tomé en los años 1990 y 2020.

	1990%	2020%	Diferencia
Cobertura con Agua	30,02	35,79	5,77
Urbanizado	30,73	22,08	-8,65
No Urbanizado	39,24	42,13	2,89

La superposición del DEM provisto por el IGN con la cartografía generada (Fig. 4) permite visualizar que el centro de la ciudad (1990) se sitúa sobre las alturas mayores, las que van en disminución de forma paulatina hacia el sur y de manera más abrupta hacia el norte. En dirección noroeste se evidencia el descenso paulatino de las alturas tomando valores intermedios dentro del rango de variación de las mismas. En dirección oeste se conserva un comportamiento similar que, en este caso, llegan a un punto crítico y comienzan a aumentar nuevamente.

Relacionando este análisis con la expansión urbana experimentada para el año 2020 podemos afirmar que los extremos noroeste, sureste y sur de la ciudad se han asentado en los sectores de altura intermedia. En el sector norte se aprecia el avance de la ciudad sobre alturas menores según lo manifestado por el DEM usado. Esta situación constituye una evidencia importante para considerar tomar medidas de ordenamiento urbano ya que muestra la situación actual y el avance de la ciudad en sectores no propicios, en tal sentido se podrán prevenir situaciones negativas tanto para los ciudadanos como para el ambiente que los circunda. Por último, la ciudad muestra su menor avance en dirección oeste a pesar de presentar, luego de un descenso paulatino, el aumento de sus alturas. Los motivos pueden ser varios tales como la ausencia o ineficiencia de infraestructura, la distancia al centro de la ciudad, cuestiones dominiales de los terrenos, entre otras. Este comportamiento podría ser útil con miras a la toma de decisiones expuestas en el párrafo anterior y el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS).

El tratamiento conjunto del DEM, la cartografía temática generada (que refleja la expansión urbana) y el trazado de curvas de nivel con equidistancia de 1 m permitió la delimitación de las áreas del ejido urbano de la localidad de Santo Tomé según el tipo de amenaza y con las cuales se ha confeccionado la cartografía de riesgo (Fig. 5).

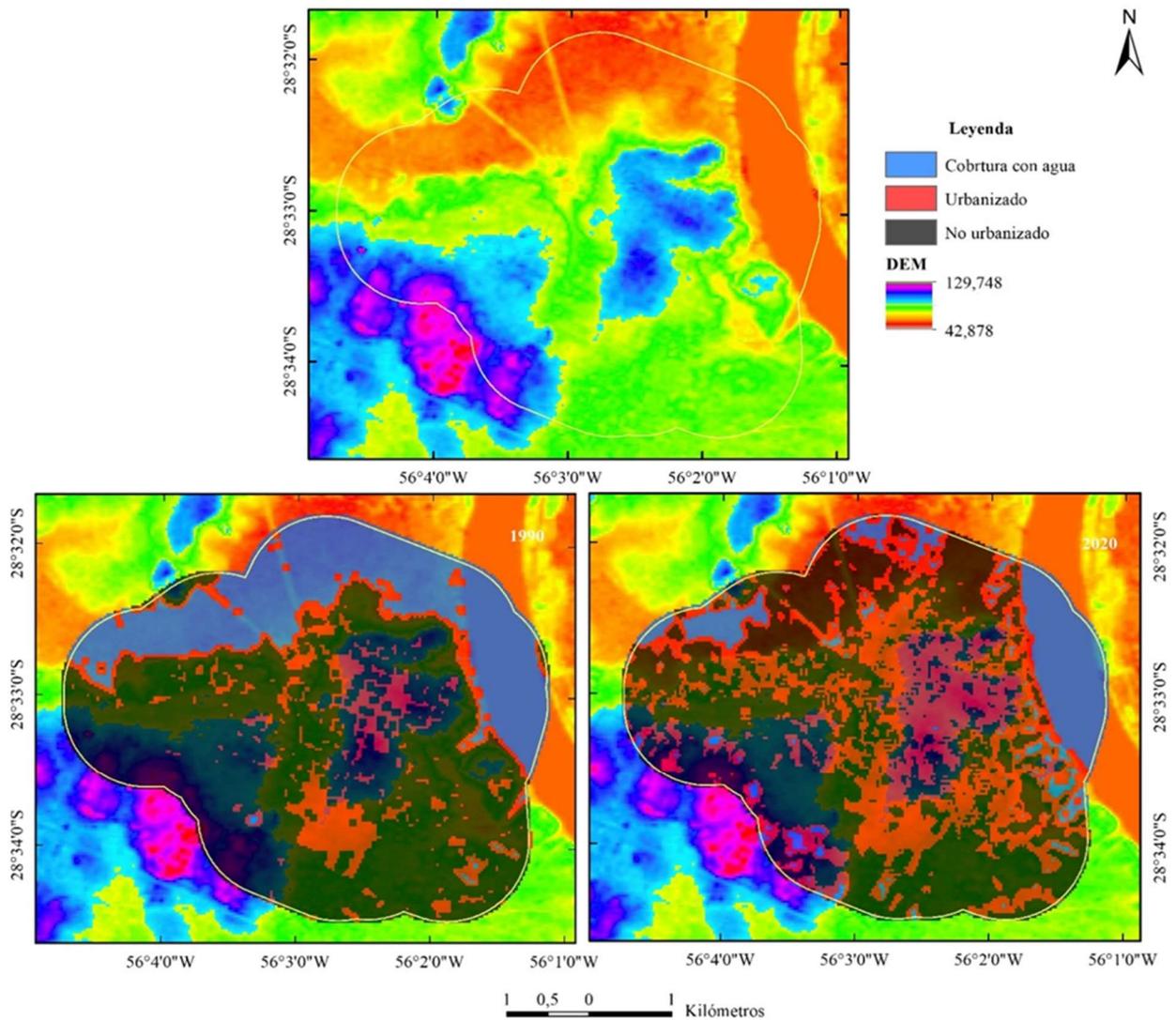


Fig. 4: Superposición del DEM (IGN) con cartografía temática generada para el área de estudio en los años 1990 y 2020.

Al igual que gran parte de las localidades ribereñas del Nordeste Argentino, este ejido urbano presenta amenazas asociadas a desbordes del río Uruguay como curso principal que responden a eventos de variabilidad climática ubicados sobre su alta cuenta. No obstante, al norte y dentro del ejido urbano se pueden detectar áreas con amenazas de inundación y anegamientos vinculadas a precipitaciones locales de gran incertidumbre ya que, por el momento, no se puede predecir con exactitud los montos caídos y la rápida respuesta del paisaje por tratarse de cuencas muy reducidas, aumentado consigo la peligrosidad del evento. Es por ello que en Contreras y Paruzzo, (2020) se menciona que el riesgo Tipo 2 y 3 son los causantes de los principales conflictos socioambientales durante eventos extremos de inundación en la provincia de Corrientes.

Conclusiones

La ciudad de Santo Tomé ha experimentado un proceso de expansión urbana desde el año 1990. El uso de los MDE permitió, en un análisis detallado, establecer orientaciones para una expansión ordenada a los fines de evitar asentamientos en áreas con posibles problemas de escurrimiento de tipo pluvial y fluvial. El uso de los mismos permite determinar las áreas con mayores posibilidades de anegamiento y que resultan críticas para el escurrimiento citado.

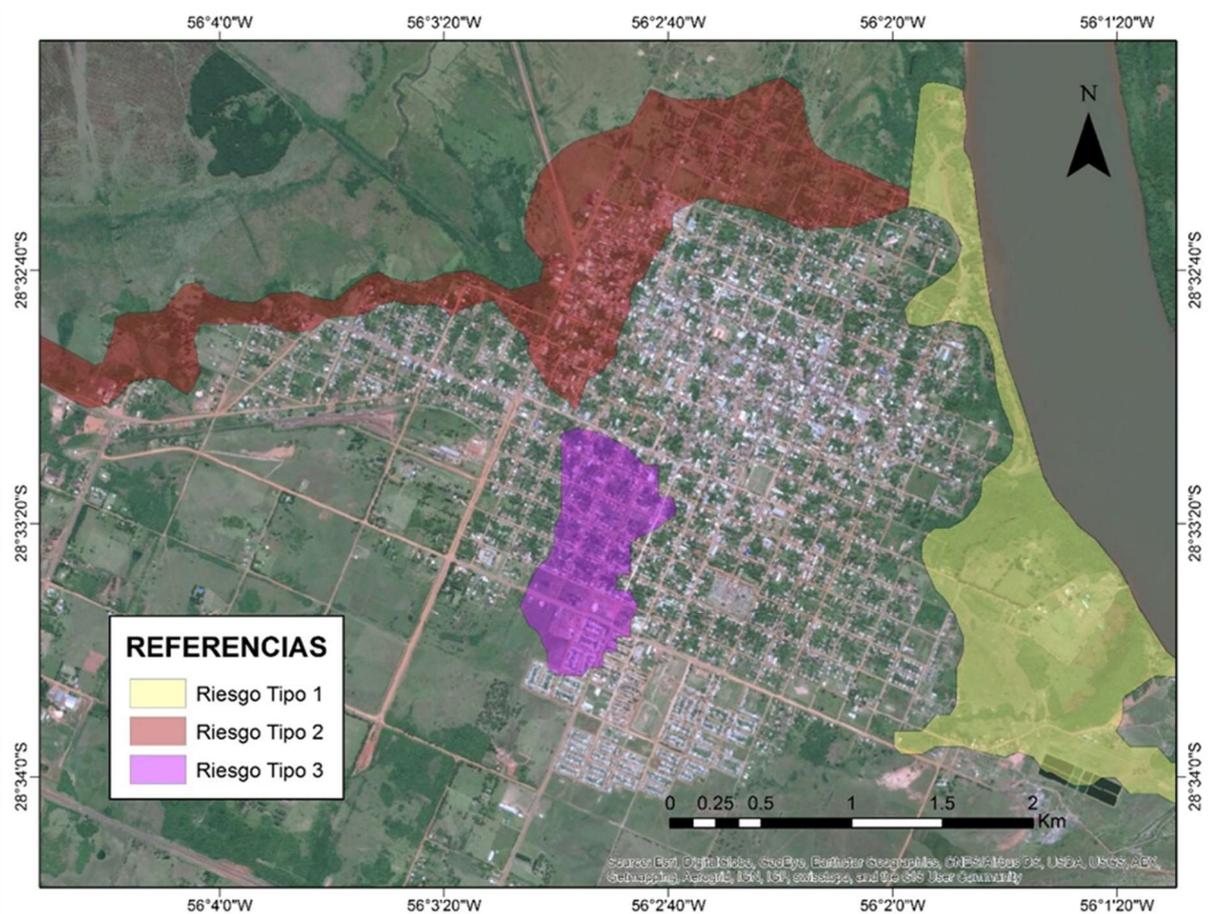


Fig. 5: Cartografía temática de tipos de riesgos de inundación y anegamiento en la localidad de Santo Tomé (Corrientes).

Las resoluciones espaciales bajas, como las utilizadas con la escala de trabajo de esta contribución, permiten aportar información temática de gran valor para los tomadores de las decisiones relativas al ordenamiento y planificación de la ciudad.

Con el uso de las herramientas de análisis espacial de los Sistemas de Información Geográfica se delimitaron tres sectores que exponen a la población frente a la amenaza de inundaciones y anegamientos: a) el sector asociado al desborde del río Uruguay al este del ejido urbano; b) el asociado a inundaciones y anegamientos por el desborde de cursos autóctonos al norte y c) el sector de riesgo de anegamientos en áreas deprimidas, ubicado en el interior de la ciudad.

Como en toda gestión y alerta temprana del riesgo, en este caso las inundaciones, la generación de este tipo información debe estar disponible para los tomadores de decisiones, quienes deberán de usarla con insumo para generar mecanismos de mitigación de estas amenazas, las cuales deben ser funcionales a las dinámicas naturales, propias del paisaje en el cual se desarrolla la ciudad. No obstante, la población local deberá tomar conocimiento de la misma, ya que son los actores principales en este tipo de conflicto socio-ambiental porque de no existir población, no existiría el riesgo.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado parcialmente por los Proyectos PI: 19Q002 y PI: 20Q001 de la SGCyT – UNNE y PICT 2018 – 636.

Referencias

- Buzai, G., Baxendale, C., Humacata, L. y Principi, N. (2016). *Sistemas de Información Geográfica. Cartografía temática y análisis espacial*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Lugar Editorial. 152 p.
- Contreras, F. y Fantín, M. A. (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.
- Contreras, F. y Odriozola, M. (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 GAEA* 28, 83-94.
- Contreras, F. y Paruzzo, Y. (2020). Validation of SRTM 3 Arc/seg images in the generation of flood threats cartography: case of San Luis del Palmar, Corrientes, Argentina. *Revista Geográfica Venezolana* 61, no 2, 302 - 313.
- Gómez, L. (2021). *Detección de Cambios de Usos del Suelo y Simulación de Escenarios Futuros en Ciudades Intermedias de Corrientes*. Tesis Doctoral. Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Catamarca. URL: <http://repositorios.tecno.unca.edu.ar:8080/xmlui/handle/RIAAFTYCAUNCA/191>
- López Vázquez, V. y Plata Rocha, W. (2009). Análisis de los cambios de cobertura de suelo derivados de la expansión urbana de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 1990-2000. *Investigaciones Geográficas (UNAM)* 68, 85-101.
- Martínez Gaete, C. (2016). Esta es la Nueva Agenda Urbana promulgada en Hábitat III. URL: http://www.plataformaurbana.cl/archive/2016/10/21/habitat-iiipromulga-la-nueva-agenda-urbana-que-guiara-el-desarrollo-urbano-hasta2036/?fbclid=IwARoePBpTwmAcXyuOrPKOI7tOm7eN9wsfjok3Jy1VDyB7nqVLomoZ_hpAeg
- Meza, J., Ramírez, M. y Contreras, F. (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 GAEA* 29, 149 - 164.
- ONU – Hábitat (2016). Nueva Agenda Urbana. URL: <http://habitat3.org/wpcontent/uploads/NUA-Spanish.pdf>
- Vidal, C. y Romero, H. (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 Pérez, L. e Hidalgo, R. (Eds.). *Concepción metropolitano (AMC). Planes, procesos y proyectos*. Serie Geolibros, Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile. URL: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/118084> acceso 10/03/2016
- UN, 2015. Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible Objetivos de desarrollo sostenible 17 objetivos para transformar nuestro mundo. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>
- Servicio Geológico de los Estados Unidos, (s.f.). URL: <http://earthexplorer.usgs.gov/>

Cronología:

Recibido: 10 de noviembre de 2021 ; Aceptado: 31 de diciembre de 2021

Como citar este artículo:

Gómez, L.; Smichowski, H. (2021). Determinación de áreas con amenazas de inundación por la expansión urbana de Santo Tomé. *Contribuciones Científicas GAEA* 33, 50-59.