



IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES DEL PARQUE PROVINCIAL SAN CAYETANO (CORRIENTES, ARGENTINA)

Laura Fabiana Gómez¹
Félix Ignacio Contreras²
Morel David Ezequiel³
Morel Joaquín Emanuel⁴

(Manuscrito recibido el 18 de abril de 2024, en versión final 01 de agosto de 2024)

Para citar este documento

Gómez, L. F., Contreras, F. I., Morel, D. E. & Morel, J. E. (2024). Identificación de Áreas Inundables del Parque Provincial San Cayetano (Corrientes, Argentina). *Boletín geográfico*, 46, <http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s2313903x/ds4az666a>.

Resumen

La localidad de San Cayetano y particularmente el Parque Provincial San Cayetano, presenta recurrentes casos de inundaciones en períodos húmedos, principalmente luego de intensas precipitaciones, dada la respuesta casi inmediata del caudal del río a las inclemencias del tiempo debido a su cuenca muy reducida. El objetivo principal del trabajo es generar un Modelo Digital de Elevación de alta resolución espacial y precisión vertical del Parque a partir de un vuelo con Drone y la utilización de Tecnologías de la Información Geográfica. Para concretar este objetivo se realizaron en primera instancia mediciones de Puntos de Apoyo Fotogramétricos (PAF) con un receptor GNSS geodésico South Galaxy G1 para otorgar mayor confiabilidad a los resultados generados en la etapa de postproceso y

¹ Instituto de Investigación para el Desarrollo Territorial y el Hábitat Humano (IIDTHH). Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). Las Heras 727. Tel: (379) 4016457. E-mail: agrimlauragomez@gmail.com

² Centro de Ecología Aplicada del Litoral (CECOAL) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Ruta Provincial 5 km 2,5, y Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura. Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). Avda. Libertad 5470. Tel: (379) 4335265
E-mail: ignaciocontreras@exa.unne.edu.ar

³ Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura. Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). 9 de Julio 1449. Tel: (379) 4 338352. E-mail: Davideze13@gmail.com

⁴ Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura. Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). 9 de Julio 1449. Tel: (3743)513393. E-mail: Jm810648@gmail.com

se sobrevoló el Parque San Cayetano con un Drone modelo Mavic 2 pro de la firma DJI, que cuenta con un sensor CMOS de 1" y resolución de 20 megapíxeles, lo que permitió la obtención de fotografías aéreas con características necesarias para la generación de un MDE. Posteriormente, con el uso de software específico se procesaron dichas fotografías, y se generó un MDE de alta resolución espacial. A partir de este producto, y con ayuda de Sistemas de Información Geográfica, se generaron cartografías que muestran diferentes posibles escenarios de amenaza en determinadas cotas de inundación a partir del avance del agua sobre el área de estudio y de esta forma contribuir a la gestión y la alerta temprana de estos sucesos.

Palabras clave: Cartografía de riesgo, inundaciones, modelos digitales de elevación, Drone, Tecnologías de la Información Geográfica.

IDENTIFICATION OF FLOOD-PRONE AREAS IN SAN CAYETANO PROVINCIAL PARK (CORRIENTES, ARGENTINA)

Abstract

The town of San Cayetano and particularly the Provincial Park San Cayetano, presents recurring cases of flooding in wet periods, mainly after intense rainfall given the almost immediate response of the river flow to inclement weather due to its very small basin. The main objective of the work is to generate a Digital Elevation Model of high spatial resolution and vertical precision of the Park from a drone flight and the use of Geographic Information Technologies. To achieve this objective, measurements of Photogrammetric Support Points (PAF) were first carried out with a South Galaxy G1 geodesic receptor GNSS, which will provide greater reliability to the results generated in the post-processing stage, and San Cayetano Park was flown over with a Mavic 2 pro model drone. from the DJI firm, which has a 1" CMOS sensor and 20-megapixel resolution, which made it possible to obtain aerial photographs with the characteristics necessary for the generation of an DEM. Subsequently, with the use of specific software, these photographs were processed, and a high spatial resolution DEM was generated. From this product, and with the help of Geographic Information Systems, maps were generated that show different possible threat scenarios at certain flood levels based on the advance of water over the study area and in this way contribute to the management and early warning of these events.

Keywords: Risk mapping, floods, Digital elevation models, Drone, Geographic Information Technologies

Introducción

El análisis de las amenazas de inundación se posiciona como un aspecto clave a considerar toda vez que se persiga la protección de la naturaleza, la biodiversidad y la población circundante, enmarcados en el cumplimiento de los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) (ONU, 2024). A su vez, la manifestación de este desastre natural puede generar graves consecuencias, especialmente en economías más vulnerables (Mejía-Coca, Ruilova-Cueva & Mendiburu-Rojas, 2023).

En tal sentido, el conocimiento de la topografía del lugar constituye la base de toda investigación referida a esta temática de estudio, ya sea directa o indirectamente, de los paisajes, su dinámica y evolución (Contreras & Contreras, 2017). Para ello es necesario contar con información altimétrica, cuya resolución permita identificar los potenciales sectores afectados y, en este caso, un modelo digital de elevaciones puede presentarse como alternativa de insumo ante la falta de datos altimétricos de precisión por parte de organismos competentes. En Meza (2020) se destaca la importancia de los DEMs para la determinación de áreas bajo amenaza de inundaciones, a partir de la comparación de dos DEMs disponibles para el área que estudia. Yamazaki *et al.*, (2014) enfatiza sobre la utilidad de los DEMs en la gestión de inundaciones a nivel global, demostrando cómo estos mejoran la comprensión de los flujos de agua a través de áreas con diversa cobertura del terreno.

En la actualidad, se puede acceder a los MDE de forma gratuita y brindados por organismos oficiales como ser el Instituto Geográfico Nacional (Ramallo & Ostapoff, 2023), pero dependiendo del área de estudio, estos no poseen la precisión suficiente que permitan analizar la topografía de lugares con diferencias de relieve tan cortas. Es decir, dependiendo de los objetivos propuestos pueden ser de gran utilidad o, por el contrario, ser ineficientes (Portilla, Leiva, Luna & González, 2023).

En este marco, en Contreras, Saucedo y Smichowski (2022) se ha trabajado con una resolución espacial de 30 m, haciendo la aclaración que la misma generaba un margen de error importante, siendo ineficaz para las actividades de gestión y control del riesgo. Se precisa aumentar la eficiencia en las operaciones de prevención ante la ocurrencia de un determinado fenómeno (en este caso, una inundación), presentar alternativas de actuación y, en el peor de los casos, minimizar pérdidas (Bates & De Roo, 2000; Merwade, Cook, & Coonrod, 2008).

En función de la gran distribución de ríos, esteros, cañadas y lagunas que posee la provincia de Corrientes se pueden distinguir tres tipos de amenazas propuestas en Contreras y Odriozola (2016), las que se relacionan con las inundaciones y anegamientos. En primer lugar, las inundaciones por desborde de los ríos Paraná y Uruguay (Tipo 1); en segundo lugar, las amenazas de inundaciones y anegamientos de cursos autóctonos (Tipo 2), que son tributarios de los anteriormente mencionados y, por último, el anegamiento de áreas deprimidas (Tipo 3) correspondientes a paleocauces, esteros, cañadas, lagunas, etc.

La presente contribución se centra en el Parque Provincial San Cayetano (PPSC), provincia de Corrientes, al noreste de la República Argentina (Figura 1). Según Popolizio (1989), la provincia de Corrientes tiene muy baja amplitud de relieve (unos 200m entre sus cotas extremas: 220m y 20m), en los extremos noreste

y suroeste respectivamente, predominando el aspecto de extensas planicies en el oeste y suaves colinas en el este. La red hídrica posee escaso desarrollo y se desdibuja hacia las cabeceras dificultando el trazado de la divisoria topográfica debido a la presencia de paisajes anegadizos de bañados, esteros y lagunas que recién hacia sus desembocaduras se canalizan y forman arroyos con los que se relacionan (Contreras & Odriozola, 2016).

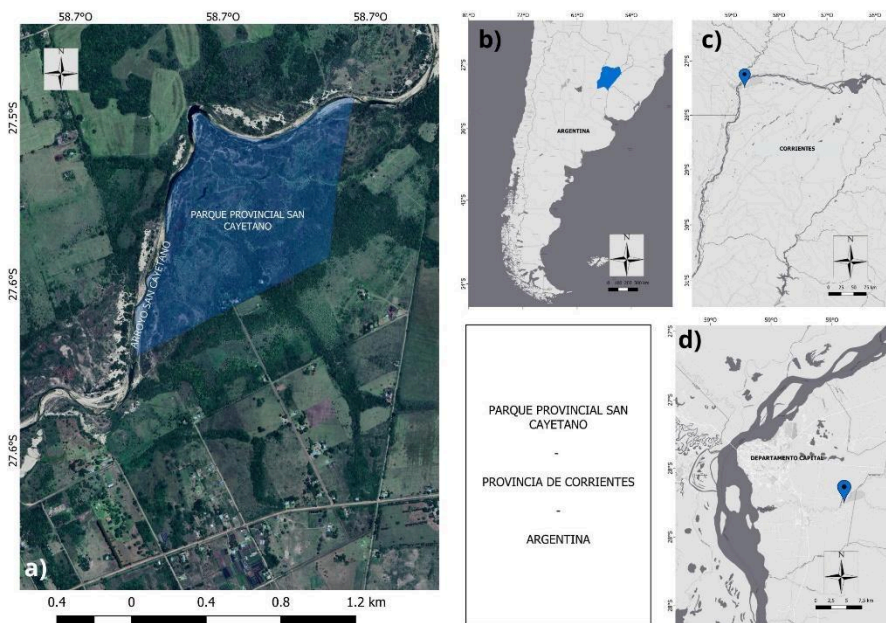


Figura 1. a) Parque Provincial San Cayetano localizado sobre la margen izquierda del Riachuelo. b) Localización de la provincia de Corrientes en la República Argentina. c) y d) Localización del Parque Provincial San Cayetano en la Provincia de Corrientes y en relación al Departamento Capital de la Provincia. Fuente: Elaboración Propia

Dada su ubicación, el área de estudio se encuentra expuesta a inundaciones, por lo que es preciso que gestores y administradores, tanto del territorio como del parque en sí, cuenten con herramientas que colaboren con la alerta temprana de amenazas, a fin de mitigar sus consecuencias. Es por lo que, en este trabajo, se busca contribuir con herramientas para la gestión y alerta temprana de inundaciones mediante la generación de un MDE de alta precisión del PPSC y con ello generar una cartografía de riesgo.

Área de estudio

San Cayetano se ubica a 21,0 km al sur de la ciudad de Corrientes, sobre la margen izquierda del Riachuelo. Esta localidad presenta recurrentes casos de inundaciones en períodos húmedos, principalmente luego de intensas precipitaciones dada la respuesta casi inmediata del caudal del río, que oscila entre 29,0 a 50,0 m³/s (Contreras & Odriozola, 2016), a las inclemencias del tiempo debido a su cuenca muy reducida.

A pocos kilómetros hacia el este se encuentra el PPSC, creado por Ley Provincial N°6.360 del año 2015, con una superficie aproximada de 76 has, con la finalidad de conservar la flora y fauna autóctona, la diversidad biológica y sus servicios ecosistémicos asociados al arroyo Riachuelo. Por otro lado, en él se encuentra la Estación Biológica Corrientes EBCo, un centro de investigación dependiente del Consejo Nacional Científico y Tecnológico (CONICET) y la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE) cuyo objetivo es el desarrollo científico, educativo y académico, colaborando con la Dirección de Parques y Reserva de la provincia de Corrientes en los aspectos turísticos bajo reglas estrictas de preservación y conservación.

Particularmente, para el caso del PPSC que estaría bajo las amenazas de Tipo 1 y 3 (up supra), Contreras *et al.* (2022) constataron que el mismo se encuentra susceptible de inundarse permanentemente al encontrarse en su totalidad dentro de la llanura aluvial (Figura 2). No obstante, la delimitación de estas áreas inundables posee un margen de error elevado ya que para sus determinaciones, los autores trabajaron con un MDE teniendo como base las imágenes SRTM de 30,0 m de resolución espacial y 2,0 m de precisión vertical provistas por el IGN.

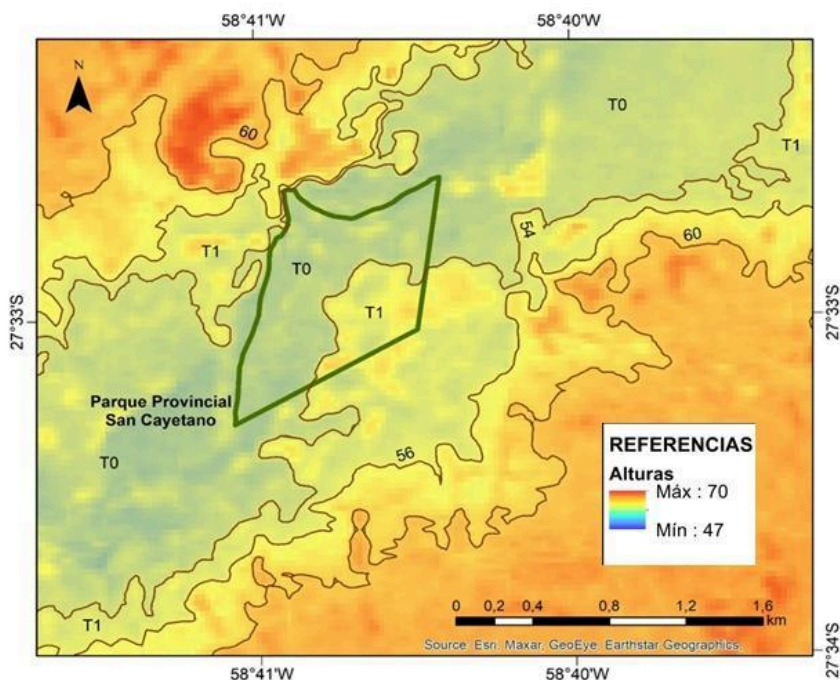


Figura 2. Ubicación de las terrazas fluviales del arroyo Riachuelo en el Parque Provincial San Cayetano (Corrientes, Argentina). T0: Terraza de inundación frecuente. T1: terraza de inundación extrema. Los valores de 54 m y 56 m corresponden a las alturas estimadas por Contreras *et al.*, (2022) para indicar los límites de la T0 y T1 respectivamente. Fuente: Contreras *et al.*, 2022.

Metodología

Para generar el MDE, se hizo uso por un lado de un receptor GNSS geodésico marca SOUTH modelo Galaxy G1 que permite realizar levantamientos cinemáticos en tiempo real (RTK), metodología adoptada en la presente contribución, con precisión horizontal de 8,0 mm + 1ppm y precisión vertical de 15,0 mm + 1ppm, en condiciones ideales; por otro lado, se utilizó un Drone modelo Mavic 2 Pro de la firma DJI que cuenta con un sensor CMOS de 1" y resolución de 20 megapíxeles; por último se realizó el procesamiento de las fotografías aéreas con el software Pix4D versión 4.5.6. La generación de un MDE de alta precisión se logró luego de la concreción de una secuencia de etapas o fases que a continuación se detallan.

Primera Fase: Planificación del Vuelo. Antes de ir a terreno se definieron los siguientes parámetros:

- Altura de vuelo: 140,0 m
- Solape frontal: 80 %
- Solape lateral: 50%

- Resolución espacial de las imágenes a obtener: 3,4 cm/px
- Velocidad promedio de vuelo: 30,0 km/h
- Fecha del vuelo: 12 de agosto de 2023. Este mes fue seleccionado ya que es cuando el Riachuelo se encuentra en aguas bajas, con una profundidad que no supera los 50,0 cm. Por otra parte, es cuando se registran las menores temperaturas locales, evitando así el sobrecalentamiento del dron (considerando el tiempo de vuelo) y la presencia de nubes o neblina que disminuyan la calidad de las fotografías tomadas.

Segunda Fase: Consistió en la medición e instalación de los Puntos de Apoyo Fotogramétricos (PAF). Ya en terreno se realizó una inspección visual previa para detectar áreas de acceso y los posibles problemas que podrían afectar a la medición de los PAF con GNSS, como ser la presencia de árboles. Identificados estos factores, se marcaron y midieron 14 PAF en el sistema de coordenadas POSGAR 2007/Argentina 5.

Tercera Fase: Corresponde al vuelo y captura de fotografías aéreas, cuya duración fue de 34 minutos y para lo que se utilizaron dos baterías del equipo.

Cuarta Fase: Corresponde al posproceso que incluye desde la descarga de las imágenes obtenidas durante el vuelo hasta la generación del MDE. Luego de la importación de las imágenes en el Software, se realizó el ajuste y el cosido de las imágenes, para luego avanzar en la generación del MDE mediante el método de interpolación basado en la ponderación de distancia inversa que supone que los puntos más cercanos están más relacionados que otros mediante su función.

Durante esta etapa además se consideró la posibilidad de generar un Modelo Digital de Terreno (MDT) que permitiera un análisis más detallado y enriquecedor de la dinámica de inundaciones en el PPSC, sin embargo, debido a la gran diversidad de ambientes presentes en el área de estudio, la generación de un MDT con la resolución espacial con la que se desarrolló el MDE implicaría la realización de monitoreos en campo para corroborar la confianza de los resultados como así también la necesidad de contar con procesadores que permitan trabajar de forma cómoda en relación a los tiempos de procesamiento. Por otra parte, los MDE ofrecen una visión más detallada de la superficie al identificar la presencia de árboles como en este caso y con ello generar modelos de escurrimientos que tengan en cuenta dichos obstáculos (Werner, Hunter, & Bates, 2005; Felder & Weschsler, 2007).

Quinta Fase: La generación de cartografías se realizó mediante herramientas incluidas en Sistemas de información Geográfica (SIG), lo que permite, en un primer análisis, visualizar los diferentes sectores del PPSC afectados a determinadas cotas de inundación y de esta forma contribuir a la gestión y la alerta temprana de estos sucesos.

En síntesis, la Figura 3 resume el esquema metodológico respetado:

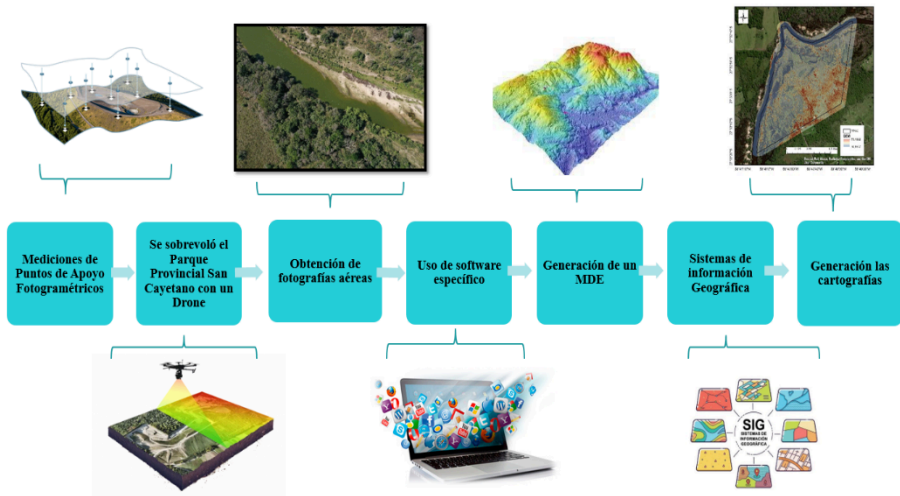


Figura 3. Esquema metodológico. Fuente: Elaboración propia.

Resultados y Discusión

Con relación a la generación del MDE, el informe de calidad generado por el software revela que se han detectado 71.595 puntos clave por imagen y que se calibraron el 100 % de las imágenes capturadas (596), es decir, que fueron usadas para la reconstrucción del modelo todas las imágenes. Respecto de los parámetros de optimización internos de la cámara, el informe arroja un valor del 2,6%, lo que se considera aceptable para la lente de perspectiva de la cámara. Este valor representa el porcentaje de diferencia entre la distancia focal inicial y la optimizada y se considera aceptable cuando es menor al 5%.

Por otro lado, la mediana de coincidencias por imagen calibrada resultó un valor aceptable, como así también la georreferenciación usando 15 puntos de control con un error medio cuadrático de 6mm.

La resolución espacial generada es de 3,6 cm/píxel. A partir del MDE generado (Figura 4) se evidencia que las alturas presentes en el PPSC varían entre 40,0 m y 73,0 m aproximadamente. Cabe aclarar que el punto más bajo se localiza sobre el curso del Riachuelo y sus lagunas aluviales asociadas, mientras que los más altos a las copas de los árboles, que a su vez se ubican en los lugares topográficamente más elevados.

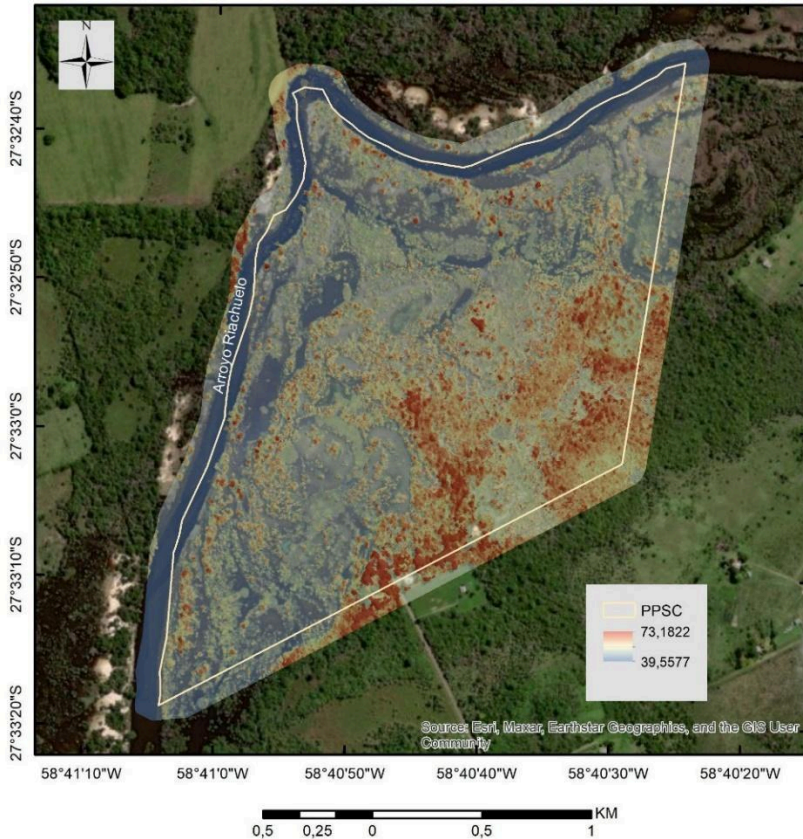


Figura 4. Modelo Digital de Elevación del Parque Provincial San Cayetano generado a partir del vuelo con Drone. Fuente: Elaboración Propia

A partir de la interpretación de este MDE se discriminaron por cada metro, las superficies que resultarían afectadas por el avance del agua (Figura 5). Con ello se pudo establecer el límite de 47,0 m de altura para identificar las aguas permanentes del Riachuelo, y que, si el nivel de agua alcanza la altura de 63,0 m, el PPSC se vería afectado en su totalidad.

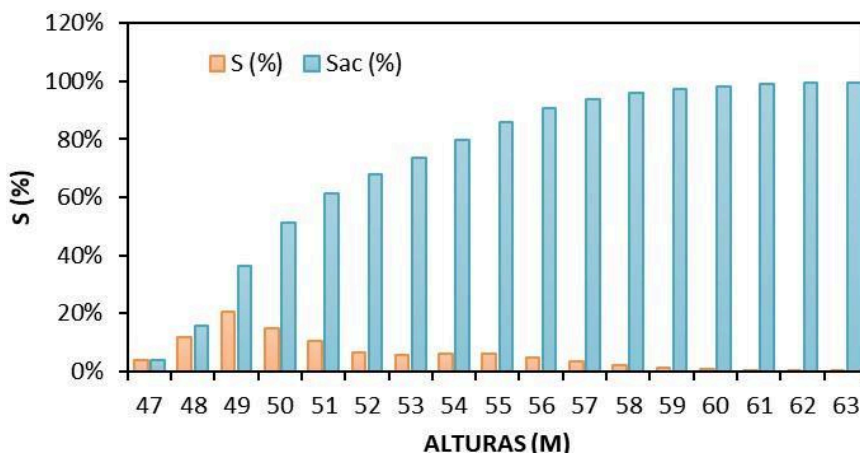


Figura 5. Superficies afectadas (S, %) y superficie acumulada (S_{ac} , %) según la elevación por el avance del agua. Fuente: Elaboración Propia

Las herramientas incluidas en los SIG permiten, además, la generación de cartografías de amenazas de inundación para el PPSC, y a partir de ellas, determinar la localización espacial de las áreas afectadas en la medida que el nivel hidrométrico de la inundación se incrementa por metro. En la Figura 6 se observa la cartografía de inundaciones del PPSC teniendo en cuenta las alturas de 47,0 m, 48,0 m y 49,0 m. Este rango altimétrico es de gran importancia porque el mismo se encuentra en la T0 indicadas en Contreras *et al.* (2022), es decir son las alturas con mayor recurrencia de inundaciones. En este sector, la susceptibilidad de inundación es muy alta, períodos de retorno entre 2 y 10 años, por lo tanto, los riesgos a generar daños materiales son menores precisamente por ser un lugar afectado con frecuencia (Garnica Peña & Alcántara Ayala, 2004). Cabe aclarar en este punto que, si bien las instalaciones existentes son pocas, son las únicas con las que cuenta el parque, y durante la ocurrencia de una inundación importante, no solo vuelve intransitable e inhabilita el mismo, sino que también ocurren pérdidas materiales de la administración del parque y sobre todo, de los laboratorios de investigación de la EBCo (CONICET-UNNE).

Una vez superada en la T1, y considerando la recurrencia muy baja de inundación para este sector (Contreras *et al.*, 2022), la amenaza de inundación disminuye considerablemente. No obstante, la localización del área administrativa se encuentra en un área factible a inundarse desde el oeste en el caso de saturarse el valle aluvial del Riachuelo, o por el este, en el caso de desbordarse y comunicar el paleocauce que cruza por este sector en sentido NE-SW.

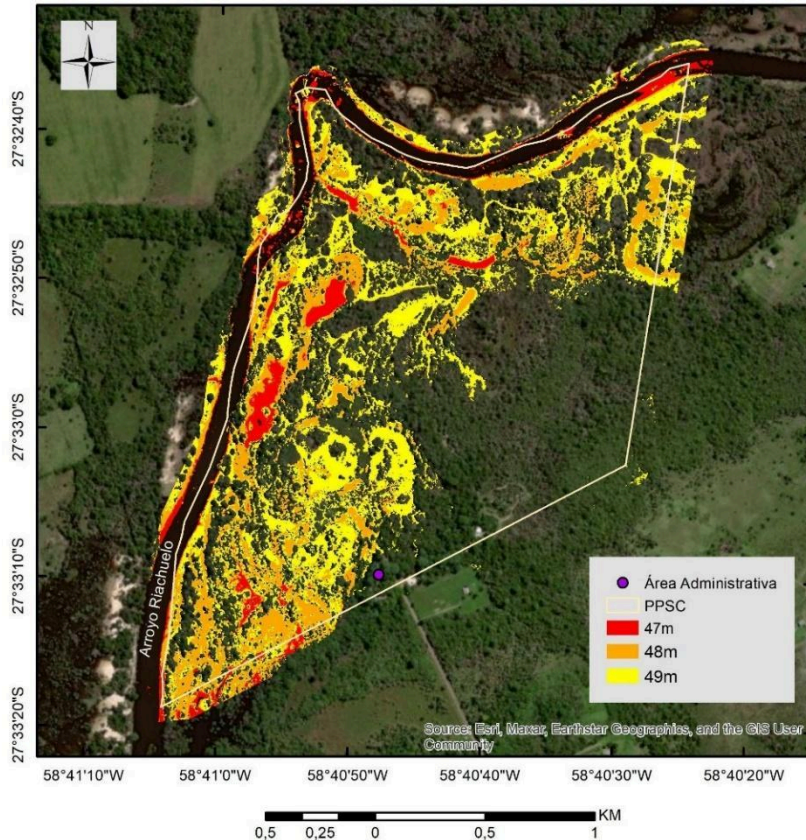


Figura 6. Áreas afectadas por inundación según altura en el Parque Provincial San Cayetano. Fuente: Elaboración Propia

El conocimiento de las áreas afectadas en diferentes alturas es clave para la gestión y administración del PPSC, ya que si bien es un ambiente fluvial y sus dinámicas naturales responden a éste, se debe tener en cuenta que el visitante/turista es un actor importante (Wood & Armitage, 1997; Perry, Xiao & Nettles, 2021). En este sentido, los senderos son el principal atractivo turístico, los cuales tienen una dirección S-N en un primer tramo, topográficamente más elevado, cambiando a E-O dentro de la llanura aluvial del Riachuelo. Por lo tanto, y dependiendo de los niveles altimétricos del Riachuelo, el recorrido por el PPSC puede quedar de parcial a casi totalmente paralizado.

En la Figura 7 se muestra cuáles son los tramos que quedarían bajo agua según el nivel hidrométrico del arroyo que estaría dado por las cotas de 48m, 49m y 50m respectivamente. No obstante, y sin bien se pueden observar sectores sin afectar en

cada caso, se debe comprender que, si estos quedan parcialmente intransitables, el resto quedará inaccesible.

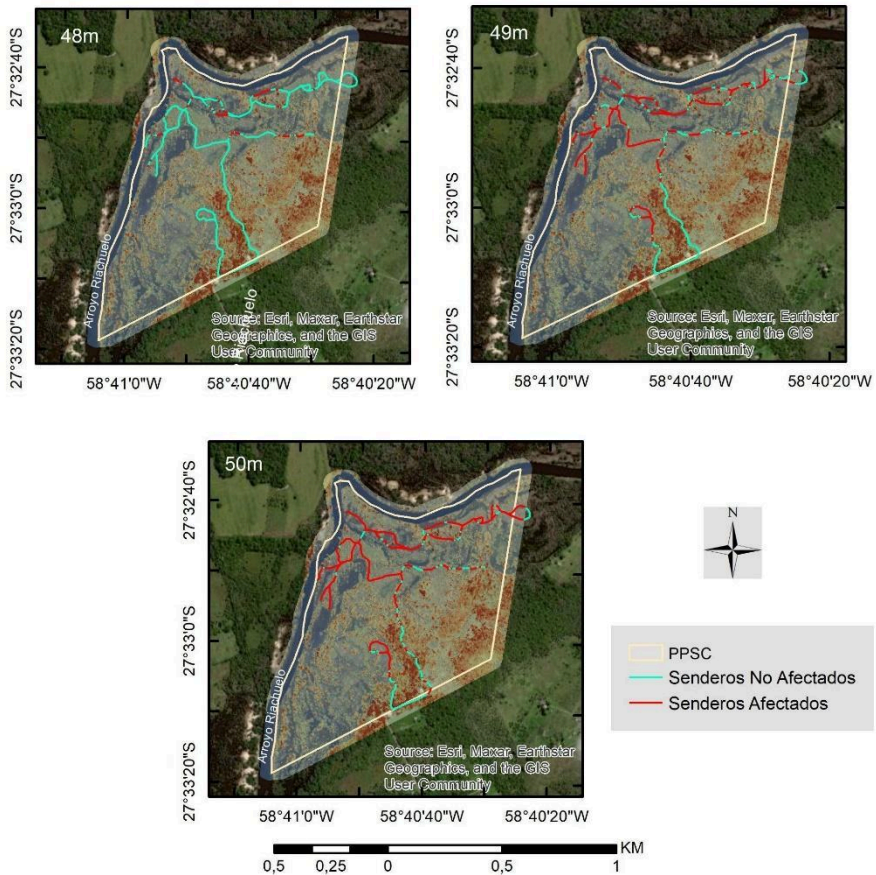


Figura 7. Senderos afectados por inundación según elevación en el Parque Provincial San Cayetano. Fuente: Elaboración Propia

Para McCreary, Seekamp, Larson, Smith y Davenport (2024), los diferentes tipos de visitantes responden al cambio climático en destinos turísticos basados en la naturaleza, resaltando la necesidad de adaptaciones en la gestión de los parques para satisfacer tanto la conservación como las expectativas de los turistas. Una alternativa posible sería generar senderos con dirección O-E sobre la T1, pero hacerlo implicaría la transformación o segmentación de áreas que actualmente no están intervenidas y que en definitiva deberían de mantenerse, como un sector intangible. En otras palabras, si bien es cierto que generar nuevos senderos permitiría mantener abierto en momentos de inundaciones más frecuentes, desde un punto de vista

ecológico, mantener lugares prístinos y sin segmentación de espacios permitiría el desplazamiento de la fauna local, que busca resguardarse del evento extremo. Manifestación de un desastre desencadena otros latentes y, como lo mencionan Reiter, Knittel, Bachner y Hochrainer-Stigler (2022), se espera que estas tendencias continúen en el futuro debido al cambio climático y estructuras socioeconómicas cambiantes.

Por lo tanto, y desde los aportes realizados en este trabajo, se sugiere que el sector oriental del PPSC que se encuentra sin intervención o senderos al público general se mantenga en dicho estado. Esto no solo permitiría generar un lugar de resguardo, sino a su vez se evitaría generar situaciones de conflictos socioambientales, como ser ataques de la fauna nativa al turista o viceversa.

Conclusiones

Para el nordeste argentino, las inundaciones constituyen la mayor amenaza natural vinculada con eventos climáticos extremos. En este contexto, es necesario que los tomadores de decisiones puedan responder ante la manifestación de un desastre, pero sobre todo poder anticiparse a éste de manera funcional, y para eso es clave contar herramientas de acción eficaces.

En este marco, y si bien existen numerosos insumos y plataformas de libre acceso para generar y delimitar áreas bajo amenazas, como en este caso de inundaciones, es fundamental tener en claro que, dependiendo de la escala de trabajo/interés, éstas pueden resultar ineficaces por los errores que traen aparejados, ya sea por su resolución espacial, como temporal. En este trabajo, y con la generación de modelos digitales de elevación de alta precisión, se pudo suplir los errores altimétricos por las imágenes SRTM de 30 m, que, si bien a escala de paisaje es de gran utilidad, a la hora de determinar con precisión áreas afectadas o senderos intransitables por el aumento hidrométrico del Riachuelo, no serían suficiente para la gestión y administración del PPSC.

Los resultados permitieron dar cuenta de un área de mayor altitud en el SE del PPSC, en el cual se podrían generar senderos alternativos en el caso de inundación. Sin embargo, y desde una perspectiva ecológica, es importante mantener ese espacio como intangible, debido a que, en momentos extremos de inundación, puede ser un lugar de concentración de la fauna local. Por otro lado, se han podido delimitar los tramos de los senderos con mayor y menor exposición, no obstante, y por más que un tramo no se vea afectado por un desborde de tres metros, su acceso pondría en riesgo al potencial turista, como al personal del parque. En definitiva, es de esperar que la información generada en este trabajo pueda contribuir con la alerta temprana de las amenazas de inundaciones en el PPSC.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado parcialmente por la beca estímulo a la investigación científica y desarrollo tecnológico de la Facultad de Cs. Exactas y Naturales y

Agrimensura de la Universidad Nacional del Nordeste, la Línea PROFIN y el PI 20Q001, ambos de la SGCYT-UNNE.

Referencias

- Bates, P. D., & De Roo, A. P. J. (2000). A Simple Raster-Based Model for Flood Inundation Simulation. *Journal of Hydrology*, 236(1-2), 54-77.
- Contreras, F. I. & Contreras, S. A. (2017). La Incidencia de la Pendiente en la Distribución de las Morfologías de las Lagunas sobre Lomadas Arenosas (Corrientes, Argentina). *Anuário do Instituto de Geociencias – UFRJ*. 40 (1), 15-25.
- Contreras, F. I. & Odriozola, M. P. (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. I., Saucedo, G. I. & Smichowski, H. (2022). Análisis de la frecuencia de inundaciones en el Parque Provincial San Cayetano (Corrientes, Argentina). *ScientiAmericana*. Vol. 9, N°1, 35-46. <http://dx.doi.org/10.30545/scientiamericana>
- Felder, G., & Wechsler, S. (2007). The use of DEMs in flood modeling: Comparison of LiDAR and SRTM derived elevation data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 73(2), 163-169.
- Garnica Peña, R. J., & Alcántara Ayala, I. (2004). Riesgos por inundación asociados a eventos de precipitación **extraordinaria** en el curso bajo del río Tecolutla, Veracruz. *Investigaciones geográficas*, (55), 23-45.
- McCreary, A., Seekamp, E., Larson, L. R., Smith, J., & Davenport, M. A. (2024). Climate change and nature-based tourism: How do different types of visitors respond? *Tourism Planning & Development*, 21(1), 1-19.
- Mejía-Coca, M. E., Ruilova-Cueva, M. B. & Mendiburu-Rojas, F. A. (2023). Plan de gestión de riesgos y su impacto en la prevención de desastres naturales en el cantón Montalvo. *Journal of Science and Research*, 8(3), 176-191. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.8148505>
- Merwade, V., Cook, A., & Coonrod, J. (2008). GIS Techniques for Creating River Terrain Models for Hydrodynamic Modeling and Flood Inundation Mapping. *Environmental Modelling & Software*, 23(10-11), 1300-1311.
- Meza, J. C. (2020). Análisis comparativo de los modelos digitales de elevaciones SRTM y MDE-Ar 2.0 para la identificación de áreas de peligrosidad por inundaciones y anegamientos en un área urbana de llanura. *Geográfica Digital*, 17(33), 44–60. <https://doi.org/10.30972/geo.17334015>
- ONU (2024). Objetivos del Desarrollo Sostenible. Recuperado de: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/> (12/4/2024)
- Perry, E.E., Xiao, X., Nettles & J.M. (2021). Park Visitors' Place Attachment and Climate Change-related Displacement: Potential Shifts in Who, Where, and When. *Environmental Management*, 68, 73–86. <https://doi.org/10.1007/s00267-021-01480-z>

- Popolizio, E. 1989. Algunos elementos geomorfológicos condicionantes de la organización espacial y las actividades del NEA. *Geociencias*, 17, 3-12.
- Portilla, O., Leiva, C., Luna, M., & González, I. (2023). Evaluación de los modelos digitales de terreno y geopotenciales en el Ecuador. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 38(2), 59-81.
- Ramallo, E. D., & Ostapoff, A. J. (2023). La obtención de información topográfica de un terreno en base a datos de libre acceso y software de código abierto. *tecYt*, (9), 16-22.
- Reiter, K., Knittel, N., Bachner G., & Hochrainer-Stigler, S. (2022). Barriers and Ways Forward to Climate Risk Management against Indirect Effects of Natural Disasters: A Case Study on Flood Risk in Austria. *Climate Risk Management*. 36:100431. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2022.100431>
- Werner, M. G. F., Hunter, N. M., & Bates, P. D. (2005). Identifiability of distributed floodplain roughness values in flood extent estimation. *Journal of Hydrology*, 314(1-4), 139-157.
- Wood, P. J., & Armitage, P. D. (1997). Biological Effects of Fine Sediment in the Lotic Environment. *Environmental Management*, 21(2), 203-217.
- Yamazaki, D., O'Loughlin, F., Trigg, M. A., Miller, Z. F., Pavelsky, T. M., & Bates, P. D. (2014). Development of the global width database for large rivers. *Water Resources Research*, 50(5), 3467-3480.