

Diversidad de las lagunas del tramo final del Paraná y su delta: una mirada multiescala

Maira Patricia Gayol^{1,2}, *Natalia Soledad Morandeira*^{1,2} y *Patricia Kandus*¹

¹ Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental (3IA), Universidad Nacional de San Martín, Av. 25 de Mayo y Francia, San Martín, Buenos Aires, Argentina.

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Argentina

Mail de contacto: mgayol@unsam.edu.ar

RESUMEN

La presencia de lagunas someras es típica de planicies de inundación de grandes ríos. Los pulsos de inundación del río modifican las características de las lagunas. Los objetivos de este trabajo fueron delimitar las lagunas de la región del complejo fluvio-litoral del río Paraná y analizar la influencia de los patrones de dinámica de coberturas de las lagunas en un pulso de inundación del río sobre los aspectos fisicoquímicos y de composición vegetal. Se identificó una superficie total de lagunas de 1572.6 km². Se eligió un sector de la planicie con alta densidad de lagunas en el que se identificaron cuatro tipos de lagunas. Luego se realizaron censos de vegetación y un muestreo fisicoquímico del agua y los sedimentos en 25 lagunas representativas de los distintos tipos. Finalmente se evaluó la relación entre los tipos de las lagunas, sus características fisicoquímicas y la abundancia de especies.

Palabras claves: lagunas someras, planicies de inundación, teledetección.

ABSTRACT

The presence of shallow lakes is typical of large river floodplains. River flood pulses modify shallow lakes features. The aims of this study were to identify the lakes of the region of the Paraná River fluvial-coastal complex; and to analyze the influence of the shallow lake coverage dynamics during a flood pulse on the physicochemical features and plant composition. A total lake area of 1572.6 km² was identified. A sector of the floodplain with high density of lakes was chosen, in which four types of lakes were identified. Then, vegetation censuses and physicochemical measurements on water and sediments were carried out in 25 representative lakes of the different lake types. Lastly, the relationship between lake types, their physicochemical features and the plant assemblages was evaluated.

Keywords: shallow lakes, floodplain, remote sensing.

Introducción

La presencia de lagunas someras es típica de grandes planicies de inundación (Mertes et al., 1996; Melack et al., 2009; Liu et al., 2017). Las características de las lagunas – área, sólidos en suspensión, contenido de nutrientes, conectividad, cobertura de vegetación, entre otras– son afectadas por los pulsos de inundación del río, determinan el mantenimiento de las funciones ecosistémicas (e.g., regulación de inundaciones, retención y estabilización de sedimentos) y sostienen diversas actividades productivas como la

ganadería de islas, la pesca y la apicultura (Baigún et al., 2008).

Los pulsos de inundación producen distintos efectos en la planicie, ya que la severidad de la inundación, la estructura del suelo, la conectividad a los cursos de agua principales y la vegetación, entre otros factores, difieren de acuerdo al sector de la planicie. Como consecuencia se observa que el pulso produce y mantiene una estructura de hábitats diversa, que a su vez sostiene una alta diversidad de especies (Junk et al., 1989).

Los objetivos de este trabajo fueron delimitar las lagunas de la región del complejo fluvio-litoral del río Paraná y analizar la influencia de los patrones de dinámica de coberturas de las lagunas en un pulso de inundación del río sobre los aspectos fisicoquímicos y de composición vegetal.

Materiales y métodos

El área de trabajo abarca la región del complejo fluvio-litoral del tramo inferior del río Paraná (conocida como Delta del Río Paraná). Está conformada por un mosaico de humedales que integran a la planicie inundada durante las crecidas ordinarias y extraordinarias del río, más las áreas de cotas algo superiores inmersas en tal ambiente y periferia más cercana (Ramonell et al., 2012).

Para delimitar las lagunas en esta zona se utilizó una adaptación de la metodología propuesta por Zhao et al. (2011). Esta metodología utiliza el NDVI (Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada), calculado a partir de escenas satelitales ópticas, para estimar la presencia de agua en cada píxel. Se utilizaron 501 imágenes de la serie de satélites Landsat del período 1987-2017 que cubren toda el área. Para los píxeles de cada imagen se calculó el NDVI, que es la diferencia normalizada entre las reflectancias en el infrarrojo cercano y en el rojo (Tucker, 1979). Luego se promediaron las capas de NDVI resultantes y se obtuvo un mapa de frecuencia de agua a lo largo del tiempo. Finalmente, se eliminaron los cursos de agua y se consideraron lagunas a los píxeles adyacentes que tuvieron un valor de frecuencia de agua mayor o igual a 0,4. Se utilizó el software QGIS (QGIS Development Team, 2018).

Se analizó la distribución de lagunas en cada una de las unidades de paisaje definidas por Kandus et al. (2019). Las unidades de paisaje se diferencian en cuanto a la historia de formación del paisaje, las geoformas presentes, la dinámica hídrica y los tipos de humedales que ocurren.

En un sector de la planicie localizado dentro de la unidad de paisaje "Humedales de

albardones y derrames del Paraná", con una alta densidad de lagunas, se caracterizó la cobertura de las lagunas a lo largo del pulso de inundación del período mayo-noviembre 2017 mediante una clasificación supervisada (algoritmo de máxima verosimilitud) en cinco imágenes Landsat 8-OLI. Se consideraron cinco clases de cobertura: agua libre clara, agua libre con alta turbidez, vegetación verde densa, vegetación verde y agua. Se obtuvo como producto un mapa de cobertura de las lagunas para cada fecha. Para analizar la dinámica de las lagunas en el tiempo, en cada laguna se calculó el porcentaje de cada cobertura para las siete escenas. Según los cambios de los porcentajes de cobertura en el tiempo se definieron tipos de lagunas, para lo que se utilizó el algoritmo k-means.

En 25 lagunas de este sector de la planicie, representativas de los tipos de lagunas obtenidos, se realizaron censos de vegetación, muestreos de agua y sedimentos en el verano del 2018. En los sedimentos se midieron: pH, conductividad eléctrica (CE), contenido de nitrato y fósforo disponible, materia orgánica y textura. En el agua se midieron: pH, CE, turbidez, oxígeno disuelto, potencial redox, sólidos totales disueltos (STD), sólidos suspendidos totales (SST), clorofila *a*, y nutrientes disueltos (NH_4^+ , NO_3^{2-} , PO_4^{3-}).

Para analizar la relación entre los tipos de lagunas y las variables fisicoquímicas realizamos pruebas de ANOVA por permutaciones y comparamos las medias mediante test de Tukey en aquellos ANOVA que resultaron significativos. Además, se ordenaron las 25 lagunas en función de la cobertura de las diferentes especies por medio de Análisis de Componentes Principales (PCA) (Borcard et al., 2011). Luego se analizó si los valores de los sitios en los dos primeros componentes principales (CP) eran significativamente distintos entre los tipos de lagunas, por medio de pruebas de ANOVA y de Tukey. Los análisis se realizaron en el software R Project (R Core Team, 2013).

Para evaluar en qué medida las condiciones ambientales afectan la cobertura y composición de especies de plantas

herbáceas, se utilizó un análisis directo de ordenamiento (RDA). Se eliminaron variables ambientales de una para ver qué conjunto de variables permitían explicar mejor el ordenamiento de los sitios.

Resultados y discusión

La superficie total de lagunas para la región del complejo fluvio-litoral del Río Paraná fue de 1572.6 km², con un total de 6786 lagunas, lo que equivale a un 8% de la superficie total (Fig. 1). La mayor parte de las lagunas son pequeñas (99% tienen un área <1.5 km²). Sin embargo, el 1% restante de las lagunas comprende el 72% de la superficie total de lagunas, por lo que son componentes de gran importancia en la planicie de inundación. Una distribución similar se describió para la planicie de inundación del Amazonas (Sippel et al., 1992). Las unidades de paisaje que tuvieron una mayor superficie de lagunas fueron: "Humedales de las grandes lagunas de Victoria" (28.7% de la superficie de lagunas) y "Humedales de los derrames y lagunas de Sauce Viejo-Coronda" (28.1% de la superficie de lagunas). Las lagunas con mayor tamaño promedio se encuentran también en estas dos unidades, con lagunas de hasta 219 km². La mayor densidad de lagunas (cantidad de lagunas/km²) se encuentra en las unidades "Humedales de los relieves de Ibicuy", donde muchas lagunas pequeñas constituyen las depresiones entre barreras y dunas de arena y en "Humedales de albardones y derrames del Paraná". En esta última unidad el drenaje está impedido ya que permanece aislada de los canales activos por albardones amplios y bien desarrollados, por ello está expuesta sólo al efecto de inundaciones por entrada y desbordes vía canales secundarios (Iriando, 2004).

En la zona de la planicie elegida dentro de la unidad "Humedales de derrames y albardones del Paraná", se delimitaron 303 lagunas. Los tipos de laguna encontrados para

el pulso del año 2017 fueron cuatro (Fig. 2). El tipo A fue el dominante en términos de superficie y número de lagunas (46,2% de las lagunas). En este patrón el "Agua libre con alta turbidez inorgánica" fue la cobertura dominante durante todo el pulso. En el tipo B (17,2% de las lagunas) el "Agua libre clara" fue la cobertura dominante durante todo el pulso. En el tipo C (12.5% de las lagunas) la vegetación fue la cobertura dominante. El tipo D (24,1% de las lagunas) es similar al C, pero con menor cobertura de agua libre y de vegetación seca.

Los valores medios de las variables fisicoquímicas del agua para las lagunas muestreadas se presentan en la Tabla 1. Se observaron diferencias significativas entre tipos de laguna sólo en las siguientes variables: NO₃²⁻, SST, NTU del agua, y fósforo y pH del sedimento. Las lagunas del tipo C tuvieron mayor turbidez (NTU y SST) y contenido de nitratos que las lagunas de los demás tipos. De acuerdo a los resultados del PCA los tipos de laguna no difirieron significativamente en cuanto a los ensambles de especies presentes.

Tabla 1. Variables fisicoquímicas del agua por tipo de laguna. Se informa el valor medio. ORP= Potencial redox, CE = Conductividad eléctrica, NTU= Unidades nefelométricas de turbidez, SST= Sólidos suspendidos totales, STD= Sólidos Totales Disueltos, Chl-*a* (µg/l)= Clorofila-*a*.

Variable	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D
pH	6,70	6,98	7,42	6,52
ORP (mV)	160,6	128,2	113	8,56
CE (ms/cm)	0,11	0,12	0,11	0,11
NTU	89,94 (a)	184,3(ab)	290,17(b)	58,01(a)
O ₂ (mg/l)	5,32	3,22	4,89	2,60
Secchi (cm)	33,32	30,57	20,58	30,28
PO ₄ ²⁻ (mg/l)	0,15	0,09	0,17	0,13
NO ₃ ⁻ (mg/l)	0,13 (a)	0,02 (a)	0,58 (b)	0,02 (a)
NH ₄ ⁺ (mg/l)	0,12	0,18	0,01	0,18
SST (mg/l)	28,88 (a)	34,13(ab)	74,06 (b)	12,78 (a)
STD (mg/l)	77,72	68,36	56,53	59,69
Chl- <i>a</i> (µg/l)	13,41	11,95	3,13	30,95

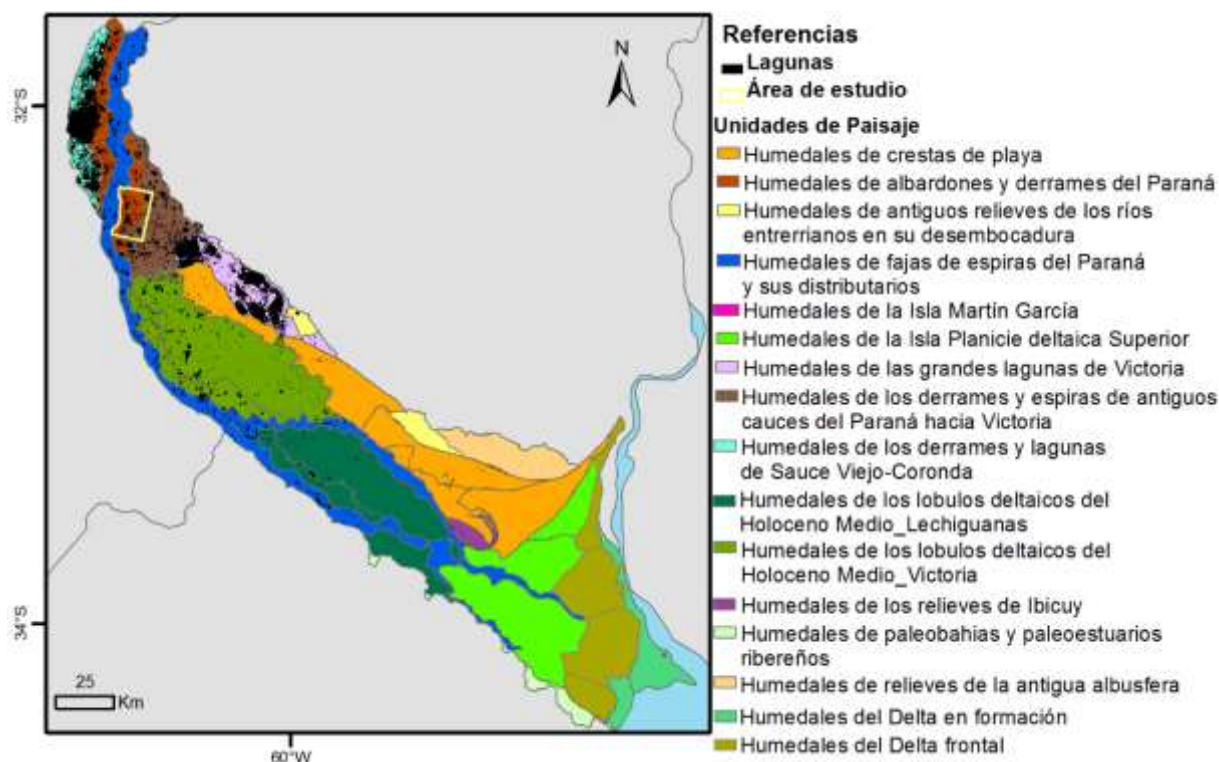


Fig.1. Lagunas sobre las unidades de paisaje del complejo fluvio-litoral del Paraná definidas por Kandus et al. (2019).

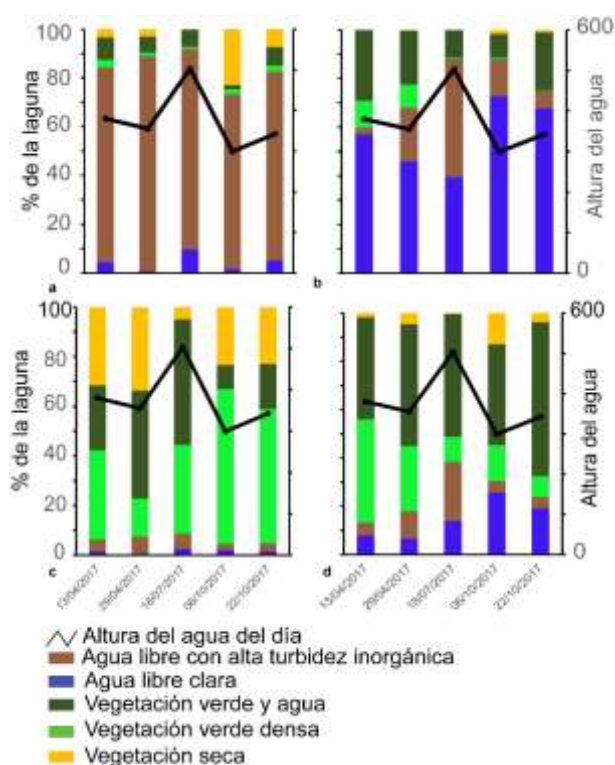


Fig.2. Tipos de laguna definidos para el pulso de inundación del año 2017 a partir de la dinámica temporal de la cobertura de las lagunas.

Las variables que resultaron significativas en el análisis RDA fueron: ORP , NO_3^{2-} y NH_4^+ . El primer eje se encontró asociado positivamente con el contenido de amonio y el segundo eje estuvo asociado positivamente con el contenido de amonio y negativamente con el nitrato del agua y el potencial redox. Las especies de macrófitas tuvieron diferente asociación con estos ejes. *Echinochloa polystachya* fue más abundante en sitios con altos contenidos de NH_4^+ , *Paspalum repens* y *Polygonum punctatum* en cambio fueron más abundantes en sitios con altos contenidos de NO_3^{2-} y alto ORP .

Conclusiones

El uso de datos multitemporales Landsat permitió delimitar las lagunas en el complejo fluvio-litoral del Paraná y reconstruir los patrones temporales de sus coberturas en un sector de la planicie para un pulso de inundación del río. Se observa una dominancia de lagunas pequeñas a lo largo de todo el complejo, excepto en las unidades "Humedales de los derrames y lagunas de

Sauce Viejo-Coronda” y “Humedales de las grandes lagunas de Victoria”.

No se encontró una relación clara entre el patrón temporal de cobertura del pulso anterior al muestreo y las características fisicoquímicas de las lagunas. Sólo un grupo de lagunas, aquellas que permanecieron vegetadas a lo largo de todo el pulso anterior, presentaron condiciones fisicoquímicas diferentes. La vegetación no se diferenció florísticamente entre lagunas con diferente patrón de dinámica de cobertura. Lagunas con el mismo patrón pueden ser colonizadas con diferentes comunidades de vegetación.

Finalmente se encontró que el contenido de amonio en agua, el nitrato y el potencial redox son factores importantes que determinan la composición del ensamble de macrófitas. En particular, los ensambles de pastizales flotantes difirieron de acuerdo a la especie dominante: *Echinochloa polystachya* fue más abundante en sitios con altos contenidos de amonio en agua y *Paspalum repens* en cambio, fue más abundante en sitios con altos contenidos de nitrato y alto potencial redox.

Agradecimientos

Parte del trabajo de campo se realizó en el establecimiento propiedad de Gabriel Manero. Ese trabajo se financió a partir de un Proyecto de Investigación Científica y Tecnológica (PICT) de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (Argentina) [PICT 0824/2014].

Referencias

Baigún, C., Puig, A., Minotti, P.G., Kandus, P., Quintana, R.D., Vicari, R. L., Bó, R. F., Oldani, N. O., Nestler, J. A. 2008. Resource use in the Parana River Delta (Argentina): moving away from an ecohydrological approach? *Ecohydrology & Hydrobiology* 8: 245–262.

Borcard, D., Gillet, F., Legendre, P. 2011. *Numerical ecology with R*. Springer, New York, United States.

Iriondo, M. H. 2004. The littoral complex at the Paraná mouth. *Quaternary International* 114: 143–154.

Junk, W. J., Bayley, P. B., Sparks, R. E. 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 106: 110–127.

Liu, X., Yang, Z., Yuan, S., Wang, H. 2017. A novel methodology for the assessment of water level requirements in shallow lakes. *Ecological Engineering* 102: 31–38.

Melack, J. M., Novo, E. M. L. M., Forsberg, B. R., Piedade, M. T. F., Maurice, L. 2009. *Floodplain Ecosystem Processes Amazonia and Global Change: 525–541*.

Mertes, L. A. K., Dunne, T., Martinelli, L. A. 1996. Channel-floodplain geomorphology along the Solimões-Amazon River, Brazil. *Geological Society of America Bulletin* 108: 1089–1107.

QGIS Development Team. 2018. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project.

R Core Team, 2019. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Ramonell, C. G., Kandus, P., Minotti, P. G., Borro, M. M., Morandeira, N. S. 2012. Nueva interpretación geomorfológica del Complejo Fluvio-litoral del Río Paraná en su desembocadura. V Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología. Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

Sippel, S. J., Hamilton, S. K., & J. M. Melack, 1992. Inundation area and morphometry of lakes on the Amazon River floodplain, Brazil. *Archiv fur Hydrobiologie* 123: 385–400.

Tucker, C. J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment* Elsevier 8: 127–150.