

Comparación de superficies cubiertas por agua en el río Paraná en diferentes períodos hidrológicos

Comparison of areas covered by water in the Paraná River in different hydrological periods

Griselda Isabel Saucedo⁵

Félix Ignacio Contreras⁶

Ditmar Bernardo Kurtz⁷

Resumen

Este trabajo buscó cuantificar las superficies cubiertas de agua por el río Paraná en diferentes periodos hidrológicos (húmedo, normal y seco). El cálculo se realizó en el área correspondiente al curso superior sur, el curso medio y el delta superior del río Paraná. Para ello se utilizaron imágenes del satélite Landsat-5 TM, Landsat-8 OLI y Sentinel-2A que fueron procesadas en la plataforma Google Earth Engine, se realizaron los mosaicos y el recorte por el límite del área en estudio. Posteriormente, se calculó el Índice de Agua Normalizado Modificado (MNDWI) a partir del cual se extrajo las superficies cubiertas por agua y se elaboraron los respectivos mapas temáticos para los años 1998, 2013, 2020 y 2021. La información generada es de gran utilidad para la planificación de medidas de adaptación a fenómenos extremos.

Palabras clave:

Bajante histórica, Google Earth Engine, Morfometría.

Abstract:

This work sought to quantify the surfaces covered with water by the Paraná River in different hydrological periods (humid, normal and dry). The calculation was made in the area

⁵ Estación Experimental Corrientes INTA. Grupo Recursos Naturales. E-mail: griseldaisabelsauceado@outlook.com - kurtz.ditmar@gmail.com

⁶ Centro de Ecología Aplicada del Litoral (CECOAL – CONICET/UNNE). Ruta Provincial N° 5, km 2,5, CP 3400, Corrientes, Corrientes, Argentina. E-mail: figcontreras@hotmail.com

⁷ Facultad de Ciencia Exactas y Naturales y Agrimensura (Universidad Nacional del Nordeste).

corresponding to the upper south course, the middle course and the upper delta of the Paraná River. For this, images from the Landsat-5 TM, Landsat-8 OLI and Sentinel-2A satellite were used, which were processed on the Google Earth Engine platform, mosaics were made and the cutout was carried out at the limit of the area under study. Subsequently, the Modified Normalized Water Index (MNDWI) was calculated from which the surfaces covered by water were extracted and the respective thematic maps were prepared for the years 1998, 2013, 2020 and 2021. The information generated is very useful for planning adaptation measures to extreme events.

Keywords:

Historical downspout, Google Earth Engine, Morphometry.

Introducción

La región del noreste argentino (NEA), desde el Chaco húmedo hacia el oriente, se caracteriza por la disponibilidad de agua y en su gran diversidad de humedales, los cuales abarcan desde ambientes lénticos, como ser las lagunas, los lóticos que incluyen desde pequeños arroyos hasta los principales ríos de la Argentina y una gran variedad de ambientes intermedios transicionales, como ser los esteros y cañadas. En este sentido, esta riqueza paisajística, es de gran importancia geográfica, tanto para cuestiones vinculados a la ecología, como así también para el desarrollo social de la región.

Sin embargo, las amenazas más frecuentes que ponen en riesgo a su población, se vinculan principalmente con los riesgos de inundaciones por el desborde de estos ambientes, más que por su escasez o falta de agua (Durante y Dibella 2020). De allí la importancia de estudios que abarquen largas series temporales, a fin de poder determinar la recurrencia de un evento, ya que las obras realizadas para mitigar un riesgo, pueden desencadenar impactos negativos que repercuten en el futuro, y en especial si las condiciones ambientales se invierten, como es el caso de pasar de eventos extremos de inundaciones a sequías (Contreras, et al., 2020). Con relación a la precipitación y el caudal de los ríos, Gulizia et al., (2018) mencionan que se relacionan de forma compleja. Esto se debe a que no todas las señales de precipitación se ven reflejadas en el caudal. En este sentido, la relación entre la variabilidad de ambas magnitudes se ve influenciada también por diversos factores, tales como el tamaño de la cuenca, la pendiente del terreno, el tipo de suelo, entre otros.

En lo que respecta al NEA, desde el 2014 al 2019 se han registrado recurrentes eventos climáticos extremos de inundación, los cuales afectaron al territorio en diferentes escalas, tanto temporales como espaciales, ya que, en muchos casos, la situación tiene un mayor efecto a nivel local (Contreras, et al., 2020). En este sentido, Contreras y Odriozola (2016)

destacan tres tipos de inundaciones para la región, donde la primera y más importante involucra a los grandes ríos Paraná y Paraguay, de gran incertidumbre, dada la rápida respuesta que poseen a las precipitaciones. No obstante, éstos poseen mayor alcance espacial y por lo tanto, los impactos de las fluctuaciones de sus niveles hidrométricos serán mucho mayores en cuanto a la escala espacial, a diferencia de los otros cuya repercusión es más bien temporal.

En todo el litoral argentino tanto los excesos hídricos (Kurtz et al 2015) como los déficits impactan en mayor o menor medida en las actividades agropecuarias. Sin embargo, la expansión y contracción del río Paraná ha sido escasamente calculada y frente a la significativa bajante de los últimos meses, decidimos evaluar la superficie ocupada por el río en cuatro épocas contrastantes. En base a lo expuesto y considerando las extremas sequías que se han manifestado en la cuenca del Plata a finales del 2019 y continúan en el primer semestre del 2021, el objetivo de este trabajo es calcular las superficies cubiertas con agua en el valle aluvial del río Paraná, considerando la bajante histórica registrada por primera vez desde que se disponen de imágenes satelitales.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El río Paraná, forma parte de la denominada “Cuenca del Plata”. La misma es considerada como la cuenca más importante de la República Argentina y la segunda en importancia del continente, ya que abarca cinco países (Brasil, Argentina, Paraguay, Bolivia y Uruguay). La cuenca está compuesta por varios ríos importantes y drena hacia el océano Atlántico aproximadamente 3.100.000 km², casi el 20% del área del continente sudamericano. Según Paira y Drago (2007), la subcuenca del río Paraná abarca 2.600.000 km² de superficie, una longitud de 3.740 km, una descarga anual de 500.000 millones de metros cúbicos, con caudales de crecida que pueden alcanzar 65.000 m³s⁻¹. Es el río más importante del sistema hidrográfico argentino. En su extenso recorrido, recogiendo aportes de la importante red tributaria, el curso principal del Paraná es nuestro límite geográfico con Brasil y Paraguay para después, con la unión del río Paraguay, pasar a ser íntegramente argentino hasta su desembocadura en el Río de La Plata. Desde la desembocadura del río Iguazú, el curso del Paraná su ancho fluctúa desde los 300 m hasta 5.500 m frente a Posadas, producto del embalse de la represa Yacyretá. Aguas abajo de la central hidroeléctrica, el río Paraná ya no escurre por un cauce único, sin meandros, estrecho y profundo, sino que su ancho cauce se diversifica presentando una serie de islas, que determinan la formación de brazos que dividen el escurrimiento fluvial, con una extensión de unos 25 km de ancho por 100 km de largo. A los

687 km de la unión con el río Iguazú, el Paraná se une con el río Paraguay, en un lugar llamado Confluencia, frente a Paso de La Patria, con un cauce de 3.500 m de ancho, sembrado de islas y bancos de arena. Luego de esa unión, el río desciende hacia el Sur, con una anchura que va disminuyendo desde los 4.200 m frente a Corrientes, a 2.600 m frente a Bella Vista, 2.300 m en Santa Fe y 2.000 m en Rosario (Paira y Drago, 2007).

El superior o Alto Paraná

Finaliza en la confluencia con el río Paraguay. Goza de un clima tropical con precipitaciones concentradas en los meses de verano, que establecen el régimen del río hasta su desagüe en el Plata, con predominio de caudales en verano-otoño. Las lluvias de la alta cuenca, que se producen desde diciembre hasta abril, con un máximo en febrero. Discurre por un lecho tortuoso y de ancho variable, que presenta los caracteres de un río de meseta. Responsables de estas variaciones son los mantos de basalto que propician en el lecho la formación de valles relativamente estrechos.

El Paraná medio

Se extiende hasta Diamante, a lo largo de 600 km, aquí las características del río cambian a partir de la confluencia con el río Paraguay por el brusco cambio de rumbo y también debido a los aportes de este último. Su valle es más estrecho al principio y luego se extiende, siendo sujeto a los efectos de las crecientes que invaden las islas y las terrazas fluviales. Recibe escasos afluentes como los de los ríos Santa Lucía, Corrientes y Guayquiraró.

Paraná inferior o deltaico

En este tramo el río Paraná discurre dividido en varios brazos anastomosados entre sí hasta su confluencia con el río Uruguay. Representa la más colosal manifestación de acarreo de sedimentos de la cuenca, influido por las crecidas del río Uruguay, el régimen mareológico y por los procesos atmosféricos de sudestada, que provocan grandes inundaciones sobre el bajo del delta.

Análisis de imágenes satelitales

Para cumplir con los objetivos se procedió en primer lugar, a la digitalización manual del área de estudio, que corresponde al tramo del río Paraná, desde el límite de Misiones hasta el delta medio (Villa Constitución, provincia de Santa Fe), mediante el software Google Earth. Luego, se trabajó en la plataforma Google Earth Engine (GEE) basada en la nube que incluye un amplio catálogo de datos geoespaciales (Landsat, Sentinel, MODIS, entre otros), facilitando la ejecución de algoritmos complejos en extensiones espaciales considerables de manera rápida (Perilla, 2020). Se utilizaron imágenes multiespectrales que fueron seleccionadas

teniendo en cuenta diferentes escenarios hidrológicos: periodo húmedo (1998), periodo normal (2013) y periodo seco (2020 y 2021).

Tabla 1. Resumen de material utilizado.

Fecha	Satélite / Sensor	Resolución (m)	Bandas
mayo-junio de 1998	Landsat-5 TM	30	B2, B3, B4, B5
noviembre de 2013	Landsat-8 OLI	30	B3, B4, B5, B6
septiembre de 2020	Sentinel-2 MSI	20	B3, B4, B8A, B11
junio-julio de 2021	Sentinel-2 MSI	20	B3, B4, B8A, B11

Teniendo en cuenta la extensión del área de estudio, una vez seleccionadas las imágenes se procedió a realizar los mosaicos y el recorte de las mismas.

Posteriormente, para definir la superficie cubierta por agua se aplicó el MNDWI (Xu, 2006) que surgió como respuesta a la incapacidad del Índice de Diferencia de Agua Normalizado (NDWI) para separar áreas urbanizadas del agua. Por este motivo, Xu incorpora una modificación a la propuesta de McFeeters (1996), en la que se sustituye la banda NIR por la de SWIR, quedando definida como:

$$MNDWI = (GREEN-SWIR) / (GREEN+SWIR)$$

Los valores de dicho índice varían entre 1 y -1, donde el agua posee valores positivos que aumentan la respuesta espectral, mientras que la vegetación, el suelo y las construcciones tienen valores cero o negativos que reducen la respuesta (Xu, 2006). La derivación del índice se realiza de acuerdo a las observaciones que se muestran a continuación:

Tabla 2. Fórmulas usadas para el cálculo de los índices.

Satélite	Fórmula
Landsat-5	$MNDWI = (B2 - B5) / (B2 + B5)$
Landsat-8	$MNDWI = (B3 - B6) / (B3 + B6)$
Sentinel-2	$MNDWI = (B3 - B11) / (B3 + B11)$

Una vez obtenido el MNDWI para cada año, se le realizó una máscara para visualizar y calcular las superficies cubiertas por agua. Las máscaras fueron exportadas en formato TIFF y utilizando el software ArcGIS 10.8 se elaboraron las cartografías.

Resultados y discusión

La evidencia satelital indica que, en el año 1998, cuando se desarrolló un fenómeno el Niño fuerte, el período de creciente del río correspondió al otoño (en vez del verano), ocupando más de 1 millón de hectáreas (tabla 3, figuras 1 y 2). El estiaje normal de los meses de agosto y septiembre, indican una reducción de unas 140 mil ha en el 2020 y casi 150 mil ha en 2021. Teniendo en cuenta los valores de los caudales medios mensuales, en años normales, las mayores alturas se registran en el mes de febrero, para ir descendiendo hasta los meses mencionados, sin embargo, durante el mes de junio se registra un breve aumento de caudal, conocido como *repunte del Pejerrey*, el cual se debe al aporte del río Paraguay, cuyas aguas son retenidas en la alta cuenca ubicada en el Pantanal (Soldano, 1947).

Tabla 3. Superficie que ocupa el río Paraná en diferentes momentos, tanto en las márgenes argentinas como paraguayas.

País	Año 1998		Año 2013		Año 2020		Año 2021		2021 respec to 1998 (%)	2021 respec to 2013 (%)
	Ha	%	ha	%	ha	%	ha	%		
Argentina	1.056.512	90,6	398.243	79,2	264.234	74,8	253.980	80,2	-76,0	-36,2
Paraguay	110.019	9,4	104.681	20,8	89.124	25,2	62.527	19,8	-43,2	-40,3
Total	1.166.531	100	502.924	100	353.358	100	316.507	100	-72,9	-37,1

Debido a la situación de sequía extrema en la alta cuenca del río Paraná, las superficies totales con cobertura de agua se han ido reduciendo, abarcando, para el año 2021, el 73% de la superficie de la inundación de 1998 y el 37% cuando se encuentra en aguas normales (tabla 3). Por otra parte, la porción correspondiente al territorio paraguayo disminuyó en un 40%, mientras que el argentino en un 36%. En principio, esta diferencia estaría dada por el mayor desarrollo de llanura aluvial sobre la margen derecha correspondiente al primero mencionado (tabla 3).

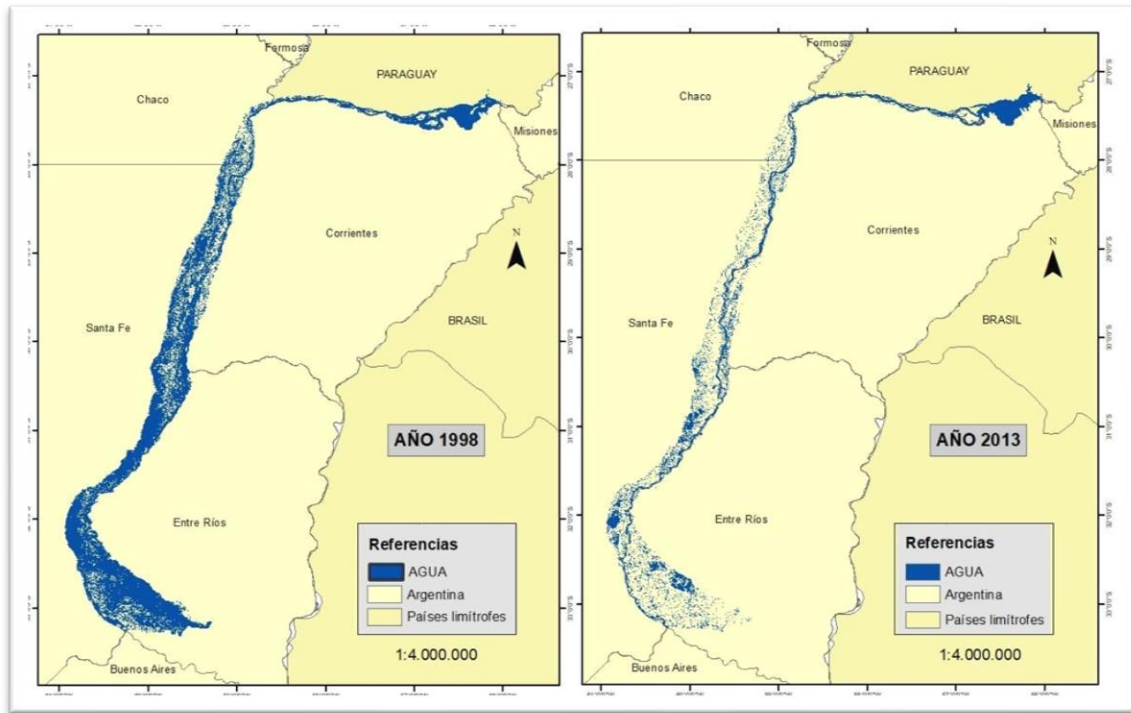


Figura 1. Superficie que ocupa el río Paraná en el otoño de 1998 (durante el fenómeno el Niño) y la primavera de 2013 (condiciones relativamente normales).

Dentro del territorio nacional, las márgenes de mayor afectación por retracción (y expansión cuando ocurren fenómenos de exceso hídricos) del río, considerando los valores absolutos, corresponden a las provincias de Santa Fe y Entre Ríos (tabla 4, figuras 1 y 2). No obstante, es necesario hacer la salvedad de que los límites políticos no deberían enmascarar los resultados, ya que el tramo aluvial correspondiente a la provincia del Chaco, es muy inferior a las restantes. Sin embargo, en términos relativos, la superficie de agua respecto del año normal (2013), aumentó un 63% en 1998 y disminuyó un 55% en 2021, valores que superan incluso al de la provincia de Corrientes (figura 4).

Tabla 4. Superficie que ocupa el río Paraná en diferentes momentos, según las márgenes de las diferentes provincias de la Argentina.

Provincia	Año 1998		Año 2013		Año 2020		Año 2021	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Chaco	29.403	2,8	18.057	4,5	10.167	3,8	8.081	3,2
Corrientes	202.490	19,2	102.151	25,7	94.647	35,8	92.856	36,6
Entre Ríos	375.573	35,5	108.297	27,2	53.156	20,1	63.249	24,9
Santa Fe	449.046	42,5	169.738	42,6	106.264	40,2	89.794	35,4
Total	1.056.512	100,0	398.243	100,0	264.234	100,0	253.980	100,0

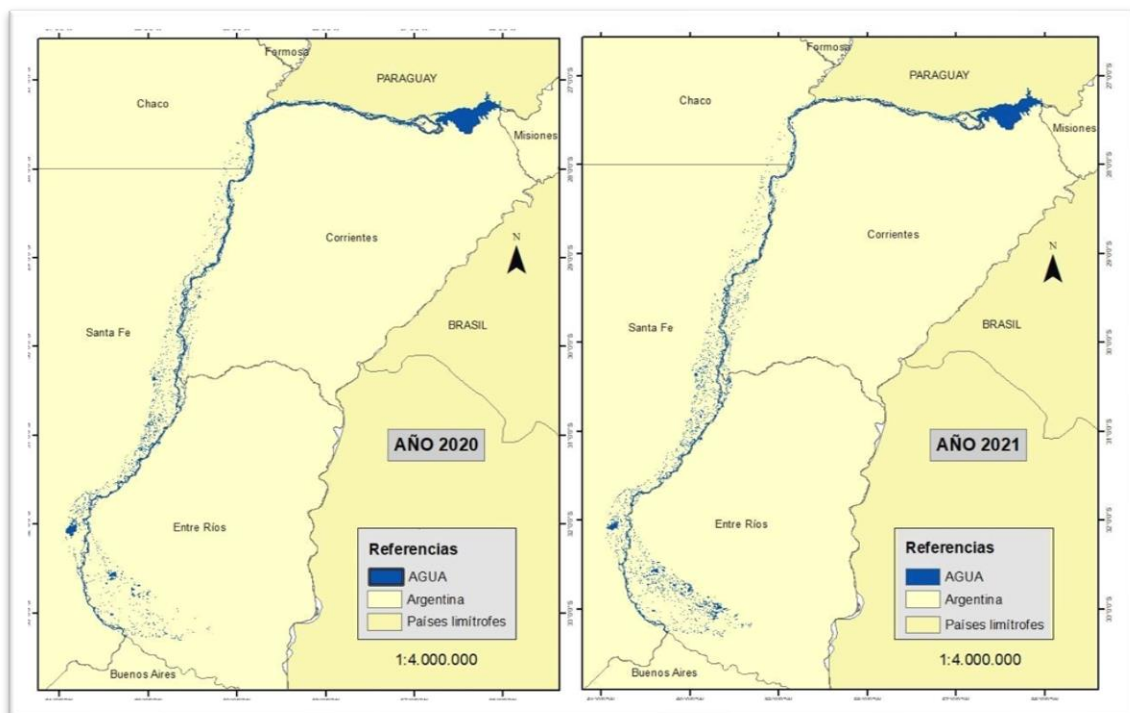


Figura 2. Superficie que ocupa el río Paraná la primavera de 2020 y en el invierno de 2021. Ambas situaciones en que el río está en bajante.

Las grandes diferencias en cuanto a las superficies cubiertas por aguas del río Paraná, en este caso se encuentran íntimamente relacionadas con la geomorfología del valle aluvial del río. Desde su ingreso a la región chaco-paranaense, y al encontrarse la margen correntina y entrerriana sobreelevada por el sistema de fallas, el valle de inundación se encuentra ubicado sobre la margen derecha del río, afectando al territorio paraguayo en primera instancia, para luego hacer lo mismo en las provincias de Chaco y Santa Fe, donde el mismo incluso posee un ancho de hasta 40 km. Es decir que, en aguas altas, el río ocupará dichos sectores, ampliando considerablemente la superficie con agua que, por el contrario; al bajar dichos niveles y desconectarse del curso principal, comienzan a secarse. Se ha descrito que existe un aumento progresivo en dirección Norte-Sur, del área superficial, perímetro, longitud máxima, fetch, anchos máximo y medio, profundidades máxima y relativa, conectividad hidrológica y redondeamiento de las lagunas (Paira y Drago, 2006) de la llanura aluvial. En los tramos Norte y Centro del Paraná hay una marcada presencia de lagunas de espiras de meandros (Contreras y Paira, 2015). Las dos unidades geomorfológicas con mayor superficie lenítica (32%) son la Llanura de Drenaje Impedido y Deltas de Tributarios y la mayor cantidad de lagunas por km², las presentan las unidades de Llanura de Meandros y Depósitos Antiguos con 3 lagunas / km², aproximadamente. En la Llanura de Meandros, el área media de las lagunas es una de las mayores. En los Depósitos Antiguos, las lagunas son de superficies pequeñas, con longitud máxima media de 1,07 km, ancho máximo de 0,33 km y con 1,50 m de profundidad. Por el contrario, la margen derecha posee un reducido valle de inundación y por otra parte, el curso principal del río Paraná se encuentra recostado sobre la misma, lo que en cierta medida garantiza menor variabilidad entre ambas situaciones. No obstante, la bajante histórica ha generado la desconexión del río con diferentes tramos, muchos de ellos conocidos como riachos o brazos, sumado al afloramiento de un gran número de bancos de arena, lo que ha permitido detectar estas diferencias (Figura 3).



Figura 3. Fotografía de un brazo del río Paraná desconectado del curso principal. Fotografía: Edwin Harver (2021).

La provincia de Entre Ríos, por ejemplo, posee un gran desarrollo dentro del río Paraná en su tramo ubicado en el área del Delta, y es allí donde se generan estas diferencias significativas dentro de su territorio. De no existir éste, se presentaría una situación similar a la identificada en la provincia de Corrientes (Figura 4).

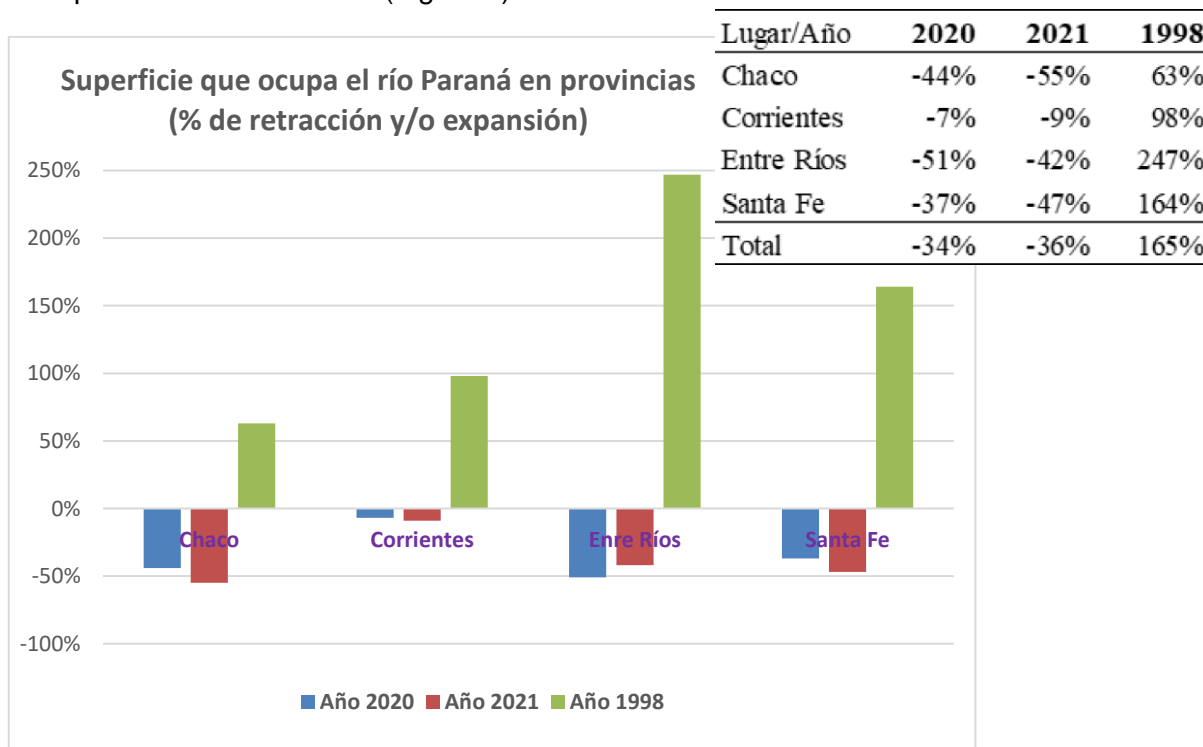


Figura 4. Superficie que ocupa el río Paraná por provincias, y arriba a la derecha el porcentaje de disminución (o expansión del área) con respecto al período relativamente normal del año 2013.

Implicancias de los pulsos hidrosedimentológicos en el valle del río Paraná

Con el incremento del nivel del agua, el río Paraná inunda su valle, reconectándose con una red de humedales asociados, los cuales incluyen, desde cursos secundarios a numerosas lagunas. En este momento, una proporción de las plantas flotantes ubicadas en estos ambientes, es arrastrada hacia el cauce principal en forma directa, produciéndose un reordenamiento de la vegetación (Neiff 1990). Por el contrario, en el período de bajante no hay exportación de la vegetación flotante hacia el canal del río Paraná, dado que el gradiente hidráulico es muy suave y existe además el obstáculo de los bosques de galería (Neiff 1990). En épocas de bajante, como la actual, se produce una colonización de la vegetación fluvial de bancos de arena y riberas (Casco et al., 2005), contribuyendo así a la reconfiguración del paisaje del valle.

Por otro lado, la descomposición de vegetación adaptada al agua, colmata lentamente el sistema lacunar y de escurrimientos someros, dando lugar a los procesos de terrestreización (Paira y Drago, 2007; Contreras y Paira, 2015). No obstante, este proceso puede verse interrumpido cuando ocurren los pulsos hidrosedimentológicos (Neiff 1990), e ir variando la importancia espacial que ocupan las aguas de acuerdo a procesos climáticos, como ENSO; factores que generan un “reseteo” (Sparks et al. 1990), en el cual el ambiente prácticamente seco, vuelve a su estado anterior como laguna.

En cuanto al aspecto social, las bajantes pueden generar una gran variedad de conflictos socioambientales. En primer lugar, podemos destacar la accesibilidad a la toma de agua para su posterior tratamiento de potabilización. Esta situación corre mayor riesgo de suceder en aquellas ciudades donde la captación de agua se realiza en cursos secundarios del río y que pueden quedar desconectado según el grado del estiaje. Para estos casos, se deben realizar obras de relocalización de la bomba o bien obras de dragado que garanticen el aporte de agua. A su vez, por más que se garantice su captación, al disminuir el volumen de agua, sumado a altas temperaturas, puede verse afectada la calidad del agua, ya sea por una mayor concentración de sedimentos o la proliferación de alguna determinada comunidad algal con significativos valores de toxicidad. Según Papaleo y Piedrabuena (2017), en el río Paraná, la dinámica del fitoplancton se encuentra regulada principalmente por el pulso hidrosedimentológico y las variables físicas asociadas al mismo. Por otro lado, respecto a la actividad íctica, Rabuffetti (2018) reafirma el rol central que juegan las condiciones hidroclimáticas sobre las poblaciones ícticas, con la verificación de la disminución notoria en las capturas de peces durante la bajante histórica de 1944.

En lo que respecta a la economía, el descenso del nivel del agua, también puede generar más dificultades de acceso al agua y aumento de costos asociados a la infraestructura de riego de cultivos como el arroz (Figura 5). Por otro lado, la circulación de barcos de gran calado puede verse dificultada o impedida.

En nuestra región, la escasez del agua como recurso es algo sin precedentes para la sociedad actual, relativamente más acostumbrada a las inundaciones. La retracción del río puede afectar la productividad primaria de la vegetación del humedal (Durante y Dibella 2020).



Figura 5. Toma de agua y bomba para riego de arroz sobre el río Paraná. En situación de bajante los productores muchas veces no podrán o será muy difícil adecuarse a la bajante (foto tomada el 28/07/2021 en Empedrado Corrientes).

Conclusiones

Las comparaciones realizadas aquí son una primera aproximación para establecer el área de afectación-retracción del cauce del río Paraná. Porcentualmente la mayor retracción se ha calculado en la provincia del Chaco, pero en superficie es en la provincia de Santa Fe. Si las condiciones de escasas precipitaciones en la alta cuenca del Paraná y por ende la bajante persisten, las áreas expuestas, sin agua en superficie puede aumentar aún más, con implicancias socioeconómicas y ambientales de diversa índole.

El monitoreo permanente del área ocupada por el río permite a su vez inferir la magnitud que podrían presentarse debido a otros posibles impactos negativos, como por ejemplo aquellos debidos a incendios. También por la bajante pueden verse seriamente afectadas otras actividades primarias como por ejemplo el cultivo de arroz regado desde el río, al verse impedido el acceso al agua. Esta información supone un punto de partida para las acciones de prevención y alerta temprana y de trabajos de colaboración con otras instituciones relacionadas.

Agradecimientos

Al proyecto: “Humedales de la República Argentina: distribución, usos y recomendaciones coparticipativas para una producción sustentable” INTA 2019-PD-E2-I506-002 y el PI 20Q001 de la Secretaría General de Ciencia y Técnica – UNNE.

Referencias bibliográficas

- CASCO, S.L., BASTERRA, N.I.B. y NEIFF, J.J. 2005. *La vegetación como indicador de la Geomorfología Fluvial*. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 6(1). 123-136
- CHUVIECO, E. 2002. **Teledetección Ambiental: La Observación de la Tierra Desde el Espacio.**, España: Ariel Ciencia, pp. 17-18.
- CONTRERAS F. I. y PAIRA A. R. 2015. *Comparación morfométrica entre lagunas de la planicie aluvial del río Paraná Medio y la Lomada Norte (Corrientes, Argentina)*. **Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía**. 24 (1): 61-71.
- CONTRERAS, F. I. y 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., FERRELLI, F. y PICCOLO, M.C. 2020. *Impactos de eventos secos y lluviosos sobre cuerpos de agua periurbanos subtropicales: Aporte al ordenamiento del espacio urbano de Corrientes (Argentina)*. **Finisterra**. 55 (114): 3 – 22.
- DURANTE, M., y DI BELLA, C. M. 2020. *A MODIS based tool to assess inundation patterns: an example for the Paraná Delta River*. **RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias**, 46(1), 96-107.
- GULIZIA, C., HANNART, A., y CAMILONI, I. 2018. *Caracterización de la variabilidad temporal de los caudales de los grandes ríos y de la precipitación en la cuenca del Plata*. In **Congreso Argentino de Meteorología**.
- KURTZ, D., PERUCCA, A.R, YBARRA, D.D., FERNANDEZ LOPEZ, C, REY MONTOYA, T.S. y BARRIOS, R.A. 2015. **El Fenómeno El Niño, Comparación de Superficies Afectadas por Excesos Hídricos en Corrientes. Informe técnico y mapas digitales comparativos de superficies afectadas**.
(<https://drive.google.com/file/d/1iVc5PkA6hoyZAP06SISbzRs8bNNwqsDt/view?usp=sharing>)
- MCFEETERS, S.K. 1996. *The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features*. **International Journal of Remote Sensing**, 17, 1425–1432.
- NEIFF, J. J. 1990. *Ideas para la interpretación ecológica del Paraná*. **Interciencia**, 15(6), 424-441.
- PAIRA, A. R. 2021. *Evolución de las lagunas de la llanura aluvial del Río Paraná Medio*. **Huellas**, 25(1), 253-257.
- PAIRA, A.R. y DRAGO, E.C. 2006. *Genetical, morphological and evolutionary relationships of the floodplain lakes in the Middle Paraná River hydrosystem*. **Zeitschrift für Geomorphologie**, 145, 207-228.
- PAIRA, A.R. y DRAGO, E.C. 2007. *Origin, Evolution, and Types of Floodplain Water Bodies*, p. 53-81. En IRIONDO, M.H., PAGGI, J.C. y PARMA, M.J. (eds.), **The Middle Paraná River: Limnology of a Subtropical Wetland**. Springer, Berlín, 382 p.
- PAPALEO, A., y PIEDRABUENA, A. 2017. *Factores reguladores de la biomasa del fitoplancton en lagunas de la llanura aluvial del río paraná medio con actividad ganadera*. **XXI Encuentro de Jóvenes Investigadores de la Universidad Nacional del Litoral**, Santa Fe, Argentina.
- PECH-MAY, F., SÁNCHEZ HERNÁNDEZ, J. V., SÁNCHEZ JACINTO, H. G. y MAGAÑA GOVEA, J. 2020. *Análisis de zonas de cultivo y cuerpos de agua mediante el cálculo de índices radiométricos con imágenes Sentinel-2*. **Lámpsakos**, 24, 48-59.

- PERILLA, G., y MAS, J.-F. 2020. *Google Earth Engine (GEE): una poderosa herramienta que vincula el potencial de los datos masivos y la eficacia del procesamiento en la nube. Investigaciones Geográficas*, 101. <https://doi.org/10.14350/riq.59929>
- RABUFFETTI, A. P., ESPÍNOLA, L. A., ABRIAL, E., AMSLER, M. L., EURICH, M. F., y BLETTLER, M. C. 2021. *The influence of hydro-climatic and anthropogenic effects on the long-term variation of commercial fisheries in a large floodplain river. River Research and Applications*, 37(1), 78-90.
- SOLDANO, F. A. 1947. *Régimen y Aprovechamiento de la RED FLUVIAL ARGENTINA*. Parte 1. **El Río Paraná y sus Tributarios**. Editorial Cimera. Bs. As.
- SPARKS, R.E., PETER B.B., STEVEN L. K. y LEWIS L.O. 1990. *Disturbance and Recovery of Large Floodplain Rivers. Environmental Management*, 14:699-709.
- XU, H. (2006). *Modification of Normalised Difference Water Index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. Int. J. Remote Sens.* 27: 3025-3033. DOI: 10.1080/01431160600589179