

VALORIZACIÓN ECONÓMICA DEL PRONÓSTICO HIDROLÓGICO INA-INTA EN EL BAJO DELTA DEL RÍO PARANÁ

OLEMBERG, D.^{a,b}; GONZALEZ, A.^{a,c}; SABAROTS, M.^d; FERNANDEZ, M.^a; LEVERONE, L.^e

^aInstituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, ^bUniversidad de Buenos Aires

^cUniversidad Nacional de Luján, ^dInstituto Nacional del Agua, ^eSecretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación

Palabras clave: Evaluación económica, Información climática, Análisis costo-beneficio

Resumen

Esta investigación busca dimensionar el impacto económico del pronóstico de corto plazo (4 días) de nivel hidrométrico en Puerto de San Fernando, Delta del Paraná, desarrollado a partir de un acuerdo de cooperación técnica entre el Instituto Nacional del Agua (INA) y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). El pronóstico está dirigido al sector productivo y tiene múltiples objetivos, lo cual implica que su evaluación económica requiere tipificación y modelización de los principales usos, así como la interpretación de los resultados en forma relativa al sesgo hacia la dimensión económica, y su necesario carácter de parcial. Se ha seleccionado para modelar particularmente el caso del drenaje predial forzado mecánicamente en eventos de inundación por exceso de acumulación de precipitaciones pluviales. En este caso avanzamos en la valoración económica del pronóstico mediante la estimación del ahorro potencial que los productores modales del Bajo Delta del Río Paraná pueden obtener mediante su uso en caso de manifestarse eventos extremos. La no implementación de prácticas de drenaje adecuadas redundaría en eventos de inundaciones, que pueden ser una importante fuente de pérdidas económicas, y el costo de dichas prácticas es un componente significativo dentro de la estructura económica de las principales actividades primarias de la región (forestación, ganadería y mimbres, entre otras). La evaluación económica es una práctica novedosa en este contexto interinstitucional, y nuestros resultados presentan múltiples potencialidades de expansión y profundización, así como hallazgos secundarios útiles para la aproximación a la gestión del riesgo hidrológico en la región.

Abstract

This research aims to assess the economic impact of the short-term (4-day) hydrometric level forecast at the Port of San Fernando, located in the Paraná Delta. The forecast was developed through a technical cooperation agreement between the National Water Institute (INA) and the National Agricultural Technology Institute (INTA). Aimed at the productive sector, the forecast serves multiple purposes, which means its economic evaluation requires the classification and modeling of its main uses, as well as interpreting the results in relation to the inherent bias toward the economic dimension and its necessarily partial nature. The study focuses specifically on the case of mechanically forced on-farm drainage during flood events caused by excessive rainfall.

accumulation. In this context, we advance the economic valuation of the forecast by estimating the potential savings that typical producers in the Lower Paraná Delta could achieve by using the forecast during extreme events. The absence of appropriate drainage practices often results in flooding events, which can be a significant source of economic loss. Moreover, the cost of such drainage practices represents a substantial component of the economic structure of the region's main primary activities—forestry, livestock, and wicker cultivation, among others. Economic evaluation is a novel practice in this inter-institutional context, and our results reveal multiple opportunities for expansion and deepening, along with secondary findings that are useful for approaching hydroclimatic risk management in the region.

Introducción

En nuestra época, en la que los consensos sociales del siglo XX y comienzos del XXI en cuanto al carácter necesario y/o prioritario de un conjunto de bienes públicos se pone sistemáticamente en cuestión -tanto en nuestro país como mundialmente-, las políticas públicas son cada vez más observadas mediante una óptica unilateralmente economicista. La sociedad actual demanda evaluaciones basadas en evidencia, y especialmente cuantitativas y monetarias, desde un punto de vista mercantil, para la priorización y financiamiento público de actividades y productos que exceden a la órbita estrictamente privada. En este marco, justificar mediante este tipo de instrumentos la continuidad de las políticas, desde obras de infraestructura, hasta el mantenimiento de sistemas científico-tecnológicos nacionales se ha venido transformando rápidamente en una necesidad y una tarea adicional para los científicos y técnicos involucrados para obtener financiamiento y no perder el apoyo social¹.

Esta investigación está motivada por la necesidad de dimensionar el impacto económico de una herramienta técnica pública, de libre acceso, surgida a partir de demandas territoriales e implementada por la cooperación de dos instituciones del Estado Nacional en Argentina, el Instituto Nacional del Agua (INA) y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Se trata de un pronóstico de corto plazo (4 días) de nivel hidrométrico sobre el puerto de San Fernando, Buenos Aires, que se obtiene a partir de un modelo computacional, vinculando la toma de datos de sensores hidrométricos automáticos en diferentes sitios del Delta, con datos del modelo de tormenta para el Río de la Plata del Servicio Meteorológico Nacional (SMN)². El pronóstico permite anticipar extremos hídricos, lo cual lo torna una herramienta clave para la toma de decisiones productivas y reducción de riesgos. Al momento tiene alta aceptación, uso y distribución ampliada excediendo la región del bajo Delta.

El pronóstico tiene múltiples objetivos, entre los cuales se destaca el impacto sobre decisiones productivas primarias, de transporte, logísticas de índole particular (no productivas, educación, salud), recreativas y otras como fines educativos y de investigación. El ejercicio de valorización de esta herramienta presenta la complejidad de, por un lado, tener múltiples dimensiones de impacto por la naturaleza de sus usos, y por otro, la dificultad de medir *ex post* el impacto económico de decisiones alimentadas por información pronóstica, con un resultado cuyo efecto es parte de un manejo productivo complejo y prolongado en el tiempo, cuyos efectos económicos no son inmediatos ni medibles instantáneamente. Esto implica que la evaluación económica del

¹ Saltelli & Giampietro, 2017; Strassheim & Kettunen, 2014; Lemos, 2015; Kirchhoff et al., 2013.

² Sabarots Gerbec et al., 2023; Guizzardi et al., 2022.

pronóstico requiere tipificación y modelización de los principales usos, así como la interpretación de los resultados en forma relativa al sesgo hacia la dimensión económica, y su necesario carácter de parcial³.

En este caso avanzamos en el ejercicio de valoración económica del pronóstico mediante la estimación de tan solo una parte de su uso. Tomamos como caso a analizar el ahorro que los productores modales del Bajo Delta del Río Paraná pueden obtener mediante el uso del pronóstico, ante las necesidades de drenaje del predio productivo⁴.

Cuando hay una acumulación excesiva de lluvias locales, se requiere drenar los predios productivos para no perjudicar los cultivos (forestales, mimbres, forraje para el ganado, otros) así como minimizar el deterioro de los caminos internos, y para poder mantener la agenda de labores prevista con el menor desvío posible. Para realizar este drenaje efectivamente, sobre la base de una infraestructura predial adecuada y en buenas condiciones, hay dos alternativas: facilitar la salida de agua al río (mediante la apertura de compuertas, en caso de corresponder) por simple efecto gravitatorio, y forzar la salida mecánicamente mediante bombas. La primera no conlleva costos especiales significativos, pero requiere que el nivel del río sea lo suficientemente bajo como para absorber naturalmente el exceso de agua de los sectores más bajos de los campos (centros de isla). Mientras, la segunda alternativa presenta la posibilidad de forzar el drenaje en cualquier situación hídrica fluvial, pero con un costo principalmente energético⁵.

Mediante el uso del pronóstico hidrológico, ante una situación de necesidad de drenaje, los productores pueden evaluar con un grado de certeza suficiente la conveniencia de bombear o esperar el drenaje natural, en función de los niveles hídricos esperados a corto plazo. Entonces, disponer del pronóstico de altura del río a corto plazo puede significar *a priori* un ahorro monetario concreto y medible para un conjunto determinado de productores en la región. El objetivo de este trabajo es realizar la estimación de ese ahorro, como forma de avanzar en el conocimiento parcial del impacto económico del instrumento bajo análisis.

Metodología

La hipótesis de partida es que con la información provista por el pronóstico de altura del río a 4 días, los productores pueden aprovechar las bajantes para

³ Cfr. World Meteorological Organization, 2015; Meza et al., 2008; Hansen et al., 2019.

⁴ Para ampliar acerca de los sistemas productivos del Delta del Paraná: González, 2015; Olemberg, 2015, Quintana et al., 2014.

⁵ Para ampliar acerca de las condiciones de manejo hídrico en el Delta del Paraná, ver Marsán, 1973.

evitar utilizar bombas de drenaje, ahorrando así su consumo energético en días de anegamientos que implican riesgos o pérdidas para la producción predial. La valoración del pronóstico se construye entonces como el resultado económico diferencial entre un escenario de aprovechamiento del pronóstico y un escenario base sin este instrumento⁶. Esto equivale al ahorro potencial resultante del costo de bombeo en que los productores incurrirían en caso de no disponer del pronóstico bajo análisis. Para obtener este valor se debe tomar un supuesto acerca de la conducta de los productores tanto si disponen de este instrumento como si no. Al respecto, simplificamos el conjunto de posibilidades suponiendo que los productores siempre actúan de forma perfectamente racional y con el objetivo de evitar pérdidas productivas como decisión primaria. Tomamos entonces los siguientes dos escenarios diferentes, para estudiar el rango de análisis relevante:

Escenario sin pronóstico (ESP): Ante la ausencia de un pronóstico suficientemente confiable, los productores bombean para drenar los predios en un 100 % de los eventos de inundación. Asumen el costo máximo de bombeo, y tienen pérdidas productivas nulas.

Escenario con pronóstico (ECP): Disponiendo de un pronóstico suficientemente confiable, los productores no bombean para drenar los predios en los eventos de inundación coincidentes con bajantes del río que permiten el drenaje natural⁷. Solo lo hacen en los casos donde no se dan las condiciones hídricas correspondientes. Tienen nulo costo de bombeo en esos eventos de posible drenaje natural, y tienen pérdidas productivas nulas.

Entonces, el resultado económico diferencial entre ambos escenarios para cada evento de exceso de acumulación de precipitaciones (suponiendo una acumulación constante) para un productor típico se puede modelar como:

donde E es la esperanza matemática del resultado económico diferencial ($\$/\text{ha}^{-1}$), C es el costo efectivo de bombear ($\$/\text{ha}^{-1}$), y D es una variable dicotómica que toma el valor unitario si se dan las condiciones de drenaje natural dado el evento de exceso hídrico predial de origen pluvial.

Para aportar a la valoración económica del pronóstico, aplicamos este cálculo de considerando el cantidad anual esperada de eventos de inundación y el área aproximada de impacto de estas decisiones de gestión hídrica predial.

⁶ Cfr. análisis costo-beneficio en WMO, 2015.

⁷ Suponemos que la adopción del instrumento es total e irrestricta, a fin de valorar su potencial.

En consecuencia, los parámetros clave que determinan cuantitativamente los resultados son: la precipitación acumulada mínima que detona un evento de exceso hídrico predial, la altura hidrométrica mínima diaria máxima que permite el drenaje, y el costo efectivo típico de bombear dado un evento de exceso hídrico. Estos valores fueron calibrados en función de pruebas de campo registradas por el equipo de especialistas y experiencia territorial coconstruida con los actores locales, interactivamente, incluyendo técnicos, productores e instituciones, de modo de representar y modelar una situación típica que pueda ser considerada promedial para la región⁸. Si bien se espera que los parámetros puedan presentar variaciones en horizontes temporales suficientes como para registrar efectos de cambio climático, para el período considerado resulta adecuado considerar estos parámetros constantes.

Los resultados que se presentan a continuación surgen del procesamiento de las series de datos de altura hidrométrica horaria en el Puerto de San Fernando (INA) y precipitaciones acumuladas diarias en la estación meteorológica INTA - E.E.A. Delta del Paraná (INTA) en Islas de Campana, Buenos Aires, desde mayo 2015 hasta mayo 2025. Los costos fueron estimados en pesos (AR\$) a valores corrientes con precios vigentes en mayo 2025.

Resultados

A partir de los datos procesados y los parámetros técnicos definidos⁹, en toda la serie de 10 años de precipitaciones se identificaron 35 eventos únicos de inundación comprendiendo 61 días de inundación. En la serie de altura hidrométrica, el 66 % de las lecturas mínimas diarias resultó compatible con el drenaje natural, independientemente de toda otra condición. Calculando la interacción entre variables para toda la serie, de los 61 días de inundación de origen pluvial, 44 (72 %) fueron drenables en forma natural combinando el mismo día con el siguiente, que es la práctica más cercana a la realidad productiva.

Para analizar la sensibilidad de estos resultados ante cambios en los valores límite, se recalculó iterativamente el número de eventos de drenaje y su proporción respecto de los eventos de inundación (Tabla 1) en función de la variación combinada de los límites en la precipitación acumulada cada 30 días (pa_30) y en la altura mínima (hSF_min). En la última fila de la tabla se indica el

⁸ El conjunto de productores rurales del Bajo Delta es heterogéneo en escalas, infraestructura predial y capacidades tecnológicas entre otras dimensiones (Olemborg, 2015). Sin embargo, aquí se simplifica mediante la figura del productor modal a fin de modelar el impacto potencial global.

⁹ El valor límite de precipitaciones acumuladas móviles cada 30 días se estableció en 130mm, y el valor límite de nivel hidrométrico en San Fernando para posibilitar el drenaje se fijó en 0,70m.

total de eventos diarios de inundación resultantes para cada valor límite de pa_{30} .

Tabla 1. Proporción de eventos de drenaje (%) en función de los valores límite de precipitación acumulada (pa30) y altura del río (hsf_min).

		pa_30								
%		70	80	90	100	110	120	130	140	150
hsf_min	0,60	57	56	59	60	55	59	61	58	56
	0,65	67	63	67	70	65	66	69	67	66
	0,70	71	69	72	72	72	69	72	71	70
	0,75	74	71	75	76	79	74	77	75	76
	0,80	77	78	82	83	84	83	87	83	84
N		111	105	96	83	75	70	61	52	50

Según muestran los resultados extendidos en cuanto a la variación de los parámetros, la proporción de eventos de drenaje sobre los eventos de exceso hídrico es relativamente estable en el rango de interés, por lo que como estimación de la probabilidad de drenaje, puede considerarse un resultado confiable. Si pa_30 fuera 150 mm en lugar de 130 mm, se podrían drenar el 70 % de los eventos en lugar del 72 %; Si hsf_min fuera 65 cm en lugar de 70 cm, dicha proporción sería 69 %. Para obtener alejamientos operativamente significativos de la proporción, el parámetro hsf_min debería bajar hasta 60 cm, lo cual ya excede el rango de límites prediales reales observado.

El costo de bombear se estimó en $28,38 \$\text{mm}^{-1}\text{ha}^{-1}$, lo que para un evento pluvial típico¹⁰ de 200mm suma $5.676 \$\text{ha}^{-1}$. En el ESP el productor modelado se hace cargo de la totalidad de este gasto, mientras que en el ECP, el costo a afrontar esperado resulta de multiplicar dicho valor por la probabilidad de no poder drenar naturalmente el predio (28 %), lo cual resulta en $1.589 \$\text{ha}^{-1}$, siendo la diferencia la ganancia potencial derivada del uso del pronóstico. En términos de flujo temporal, la valoración resultante de aplicar la esperanza matemática de eventos de inundación por año (3,5) es de $14.329 \$\text{ha}^{-1}\text{año}^{-1}$. Si consideramos una superficie productiva susceptible de daños por inundación se estimada entre 40.000 y 50.000 ha (Minotti, 2019; Dirección de Desarrollo Forestoindustrial, 2025), la valoración que estamos buscando asciende a entre \$573 y 716 millones al año, en concepto de costos evitados por ahorro energético¹¹.

¹⁰ El promedio de precipitación acumulada eventual varía según el límite definido como parámetro. Para el valor de 130mm aquí considerado, la precipitación acumulada eventual promedio de toda la serie es de 207mm.

¹¹ Solo se imputa el consumo energético del bombeo, sin otros componentes de costo como amortizaciones, mantenimiento ni trabajo operativo.

Conclusiones

Este trabajo aporta a la valoración económica parcial del pronóstico hidrológico INA-INTA, mediante el potencial de ahorro derivado de su uso. Se visualiza la importancia de los resultados obtenidos producto de la cooperación técnica público-público y público-privada. También se aporta al análisis de los costos de producción vinculados con la gestión del agua en los sistemas productivos, y el costo de oportunidad de este tipo de productos. Esta información no solo contribuye a analizar potenciales impactos económicos, sino que además contribuye a la conservación de los servicios ecosistémicos y la incorporación de medidas de adaptación para enfrentar potenciales eventos extremos. Este trabajo constituye un ejercicio novedoso, y presenta múltiples potencialidades de expansión, profundización, así como hallazgos secundarios útiles para la gestión del riesgo hidrológico en la región.

Referencias bibliográficas

Dirección de Desarrollo Forestoindustrial. (2025). Tablero de plantaciones forestales. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca.

<https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/desarrollo-foresto-industrial/inventarios/tablero.php> . Consultado el 1/8/2025.

González, Adrián. (2015). La persistencia de las unidades de producción familiar en el bajo delta del Paraná: estrategias desplegadas en el contexto de las transformaciones recientes. Tesis de Maestría. Buenos Aires: FLACSO.

Hansen, J., Hellin, J., Rosenstock, T., Fisher, E., Cairns, J., Stirling, C., Lamanna, C., van Etten, J., Rose, A & Campbell, B. (2019). Climate risk management and rural poverty reduction. *Agricultural Systems*, 172, 28-46.

Kirchhoff, C. J., Carmen Lemos, M., & Dessai, S. (2013). Actionable knowledge for environmental decision making: broadening the usability of climate science. *Annual review of environment and resources*, 38(1), 393-414.

Lemos, Maria Carmen (2015). Usable climate knowledge for adaptive and co-managed water governance, *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 12, 48-52.

Marsán, Raúl. (1973). Endicamientos en el Delta. Aspectos físicos y económicos —Manejo del agua—. Ciclo de conferencias 1973. Buenos Aires: Asociación Forestal Argentina.

Meza, Francisco & Hansen, James & Osgood, Daniel. (2008). Economic Value of Seasonal Climate Forecasts for Agriculture: Review of Ex-Ante Assessments and Recommendations for Future Research. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 47. 1269-1286. 10.1175/2007JAMC1540.1.

Guizzardi, Santiago; Juan Bianchi, Julián Evaristo Cortese, Marcelo Uriburu Quirno and Martin Sabarots Gerbec. 2022. Forecast System Implementation in the Paraná Delta. Proceedings of the 39th IAHR World Congress. Granada: International Association for Hydro-Environment Engineering and Research.

Minotti, Priscilla. (2019). Actualización y profundización del mapa de endicamientos y terraplenes de la región del Delta del Paraná. Programa Corredor Azul. Buenos Aires: Fundación para la Conservación y el Uso Sustentable de los Humedales / Wetlands International.

Olemborg, Demián. (2015). Formas actuales de organización de la producción forestal en el Bajo Delta del Río Paraná. Tesis de doctorado. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba.

Quintana, Rubén; Roberto Bó; Elizabeth Astrada; Cecilia Reeves. (2014). Lineamientos para una ganadería ambientalmente sustentable en el Delta del Paraná. Buenos Aires: Fundación para la Conservación y el Uso Sustentable de los Humedales.

Sabarots Gerbec, Martín; Santiago Guizzardi, Juan Bianchi, Ardían González, Mauro Fernández, Victorio Dieta. (2023). Impacto de la instalación de una red de sensores para el monitoreo y previsión de niveles de agua. XXVII Congreso Nacional del Agua. Buenos Aires: Instituto Nacional del Agua.

Saltelli, Andrea; Mario Giampietro. (2017). What is wrong with evidence based policy, and how can it be improved?, Futures 91: 62-71.

Strassheim, Holger; Pekka Kettunen. (2014). When does evidence-based policy turn into policy-based evidence? Configurations, contexts and mechanisms, Evidence & Policy: A Journal of Research, Debate and Practice, 10(2): 259-277.

World Meteorological Organization (WMO). (2015). Valuing Weather and Climate: Economic Assessment of Meteorological and Hydrological Services. WMO-No. 1153.