

INDICADORES DE DESEMPEÑO DE RIEGO EN ARROZ EN SANTA FE Y ENTRE RÍOS

R. P. Marano¹; H. J., Pirchi²; E. L. Díaz³; L. A., Gregori²; O. C., Duarte³; J., Ayala⁴

¹ICiAgro Litoral, UNL, CONICET, Fac. Cs. Agrarias (UNL) Kreder 2805, Esperanza, Santa Fe rpmarano@gmail.com;

²INTA Concepción del Uruguay, Ruta Provincial 39 Km 143,5 (3260), Concepción del Uruguay, Entre Ríos pirchi.hector@inta.gob.ar, gregori.leonardo@inta.gob.ar ;

³Fac. de Cs. Agropecuarias (UNER) ruta 11 km 10,5 Oro verde, Entre Ríos, eduardo.diaz@fca.uner.edu.ar, oduarte312@gmail.com; Agencia de Extensión INTA San Javier ayala.jorge@inta.gob.ar

RESUMEN

El arroz es la mayor fuente de alimentación de la población mundial, produciéndose 520 millones de toneladas. El riego por inundación tradicional (Ic) dura aproximadamente 110 días, e insume diferentes volúmenes de agua según las regiones, en función de la textura del suelo, relieve, sistematización y proximidades a una vía de drenaje regional, entre otras. Una práctica que permite el ahorro de agua se denomina Control Parcial de Flujo de Agua (CPFA) y consiste en alternar, en el período vegetativo, ciclos de inundación con ciclos de infiltración. Las ventajas de estas técnicas son: ahorro de agua y energía, aprovechamiento de las lluvias y reducción de metano, uno de los principales gases de efecto invernadero. Con el objetivo de optimizar el uso del agua y la energía se compararon dos manejos de riego, seleccionando y cuantificando indicadores de desempeño de riego en los agroecosistemas Terraza (Tza) y Bajo Tendido (BT) en Santa Fe y en la principal región productiva de arroz de Entre Ríos. Se utilizó un balance hídrico a nivel parcelario con paso de tiempo diario, siendo sus principales componentes: evapotranspiración del cultivo, precipitación, escorrentía superficial, pérdidas por percolación y flujo subsuperficial, dosis neta y dosis bruta. También se determinó la dosis bruta a nivel de establecimiento con una metodología novedosa analizando datos de facturación eléctrica. Los indicadores utilizados fueron: Eficiencia de aplicación de irrigación (EFa); Eficiencia total del agua (EFt); Eficiencia de bombeo (EFb); Productividad del agua azul (Paz); Huella Hídrica azul (HHa), verde (HHv) y total (HHt). El ahorro de agua aplicada (azul) en todo el período de riego, entre los manejos Ic y CPFA, fue 390, 2.480 y 3.932 m³ ha⁻¹ para BT, Tza y Entre Ríos respectivamente, dependiendo fundamentalmente de las pérdidas por percolación y flujo subsuperficial. Para el manejo Ic, los valores medios de EFa y EFt fueron, respectivamente: 81 y 55 % (agroecosistema BT), 33 y 23% (agroecosistema Tza), 55 y 45% (Entre Ríos). En el manejo CPFA, EFa resultó igual que EFt en el agroecosistema BT (86%), en tanto para el agroecosistema Tza y para Entre Ríos, los valores de EFa y EFt fueron 41 y 34%; 65 y 55% respectivamente. Los promedios de HHt fueron 1008 y 857 m³ Mg⁻¹ para Santa Fe y Entre Ríos respectivamente, en tanto los valores medios de HHa para los agroecosistemas BT, Tza y Entre Ríos fueron, respectivamente: 694, 575, 534 m³ Mg⁻¹ y de HHv: 314, 433 y 323 m³ Mg⁻¹. El valor medio de EFb (75%) de Entre Ríos fue mayor que los promedios de Santa Fe (31 y 57%) para los agroecosistemas BT y Tza respectivamente. También fue mayor la productividad regional de arroz cáscara en Entre Ríos (7.677 kg ha⁻¹) respecto a Santa Fe (5.850 kg ha⁻¹). Con estos resultados se consiguió el objetivo propuesto dado que se optimizó el uso del agua (azul y verde) con el manejo de riego alternativo (CPFA), reduciendo las pérdidas por percolación y flujo subsuperficial

sin cambios en la productividad. Los indicadores que incluyen las dosis aplicadas, tienen mejor desempeño con el manejo CPFA y la Huella Hídrica demuestra la ventaja comparativa del manejo CPFA en relación al manejo Ic, ya que permite un mayor aprovechamiento de la precipitación (HHV) respecto del agua azul (HHa). Para condiciones de alta productividad, el indicador Paz es el más apropiado para comparar manejos de riego. La Huella Hídrica total del cultivo de arroz podría disminuir a la mitad si se redujera la brecha entre la productividad obtenida en condiciones controladas en relación al manejo real de campo. Se pudo estimar la dotación de riego y eficiencia de bombeo de un establecimiento a través de la facturación de energía eléctrica, posibilitando así elaborar programas que incluyan, entre otros aspectos, tarifa eléctrica, eficiencia de bombas y motores, o también adecuación de sitios para tomas de agua desde el río.

Palabras clave: inundación continua, control parcial de flujo de agua, eficiencias, huella hídrica, productividad

SUMMARY

Performance indicators for irrigated rice in Santa Fe and Entre Ríos

Rice is the largest source of food for the world population, producing 520 million tons. The irrigation traditional, continuous flood (CF), lasts approximately 110 days, and consumes different volumes of water depending on the region, depending on the soil texture, topography, systematization and proximity to the river, among others. A practice that allows water saving is called Water Flow Partial Control (WFPC) and consists of alternating, in the vegetative period, flood cycles with infiltration cycles. The advantages of these techniques are: water and energy savings, use of rain and reduction of methane, one of the main greenhouse gases. In order to optimize the use of water and energy, different irrigation management were compared, selecting and quantifying irrigation performance indicators in the Terraza (Tza) and Bajo Tendido (BT) agroecosystems in Santa Fe and in the main productive region of rice from Entre Ríos. A water balance was used at the plot level with a daily passage of time, its main components being: crop evapotranspiration, precipitation, surface runoff, losses due to percolation and seepage, net and gross depth. The gross depth at the establishment level was also determined with a novel methodology analysing electricity billing data. The indicators used were: Application efficiency (AF); Total water efficiency (TWE); Pumping efficiency (PE); Blue water productivity (BWP); Blue (WFb), green (WFG) and total (WFT) Water Footprint. The saving of applied water (blue) throughout the irrigation period, between the CF and WFPC managements, was 390, 2,480 and 3,932 m³ ha⁻¹ for BT, Tza and Entre Ríos respectively, depending fundamentally on losses due to percolation and seepage. For the CF management, the mean values of AF and TWE were, respectively: 81 and 55 % (BT agroecosystem), 33 and 23% (Tza agroecosystem), 55 and 45% (Entre Ríos). In the WFPC management, AF was the same as TWE in the BT agroecosystem (86%) resulting, respectively: 41 and 34% (Tza agroecosystem), 65 and 55% (Entre Ríos). The WFT averages were 1008 and 857 m³ Mg⁻¹ for Santa Fe and Entre Ríos, respectively, while the average WFb values for the BT, Tza and Entre Ríos agroecosystems were, respectively: 694, 575, 534 m³ Mg⁻¹ and for WFG: 314, 433 and 323 m³ Mg⁻¹. The mean PE (75%) of Entre Ríos was higher than the averages of Santa Fe (31 and 57%) for the BT and Tza agroecosystems, respectively. The regional yield of paddy rice was also higher in Entre Ríos (7,677 kg ha⁻¹) compared to Santa Fe (5,850 kg ha⁻¹). With these results, the proposed objective was achieved since the use of water (blue and green) was optimized with alternative irrigation management (WFPC), reducing losses due to percolation and seepage and without changes in the yields. The

indicators that include the applied depth, have better performance with the WFPC management and the Water Footprint demonstrates the comparative advantage of the WFPC management in relation to the CF management, since it allow a greater capacity to take advantage of precipitation (WFg) with respect to blue (WFb). For conditions of high productivity, the BWP indicator is the most appropriate to compare irrigation management. The Total Water Footprint of rice cultivation could be halved if the gap between the yield obtained under controlled conditions in relation to real field management were reduced. It was possible to estimate the amount of irrigation and pumping efficiency of an establishment through the billing of electricity, thus making it possible to develop programs that include, among other aspects, electricity rates, efficiency of pumps and motors, or also adaptation of sites for water intakes from the river.

Keywords: continue floods, water flow partial control, efficiency, water footprints, yields

Introducción

El arroz (*Oryza sativa* L.) es la mayor fuente de alimentación de la población mundial, produciéndose 520 millones de toneladas. En Argentina se cultiva en las provincias de Corrientes, Entre Ríos, Santa Fe, Chaco y Formosa, mediante inundación continua y utilizando fuentes de agua superficial y subterránea (Marano y Filippi, 2015). En Santa Fe se cultiva en los departamentos Garay y San Javier, sobre la margen derecha del río homónimo (dirección Norte-Sur), con un recorrido total de 220 km, extendiéndose en dirección Este-Oeste aproximadamente 20 km. La superficie sembrada y cosechada en la década 2010-2020 oscila entre 28.900 a 48.500 ha (Bolsa de Comercio de Santa Fe, 2022), dependiendo de la rentabilidad, costos de producción y, fundamentalmente, debido al incremento de malezas resistentes a herbicidas, que restringe o directamente impide continuar con el cultivo. En Entre Ríos la producción de arroz se realiza en los departamentos Villaguay, Federación, San Salvador, Feliciano, La Paz, Federal, Colon, Uruguay, Concordia y Gualeguaychu con una superficie sembrada que oscila entre 50.000 y 100.000 ha (Bolsa de Cereales de Entre Ríos, 2022).

El arroz de tierras bajas (lowland) utiliza riego por inundación y la cantidad aplicada

es variable dado que la utiliza no solo para la evapotranspiración sino también para diversas prácticas de manejo, tales como: i) preparar el suelo para trasplante y semillas pregerminadas (trasplante manual o baja mecanización); ii) saturar el suelo y lograr una altura de agua en superficie (siembra mecanizada en seco); iii) control de malezas, acción de herbicidas y fertilizantes y iv) control de temperaturas máximas y mínimas (Marano, 2014). En Mississippi y Arkansas (USA) se utilizan dosis brutas de riego de 1.034 mm con inundación continua (Smith *et al.*, 2007). En Uruguay, con igual método de riego, Roel (1999) determinó valores entre 840 mm a 1.340 mm mientras que en Tacuarembó se determinaron valores de evapotranspiración y dosis bruta de riego de 630 mm y 1.073 mm respectivamente (INIA, 2005). En San Javier se estimaron dosis brutas de riego con inundación continua entre 1.100 (Villón y Marano, 2022) hasta 2.280 (Muzio y Marano, 2011), por lo que las cantidades totales de agua aplicadas para regar los cultivos de arroz pueden ser dos o tres veces superiores a las necesarias para satisfacer la evapotranspiración.

Existen prácticas para promover el ahorro de agua, denominada Control Parcial de Flujo de Agua en Entre Ríos (CPFA), Riego Intermitente (IN) en Santa Fe y Wetting and

Drying en Asia (Bouman *et al.*, 2007). Se caracterizan por alternar, durante el ciclo vegetativo, momentos con agua inundando los lotes y otros con suelo saturado o próximo a saturación. Esta práctica de riego fue comparada con Ic en 529 estudios de caso mediante meta-análisis, concluyendo que se puede ahorrar 23% de agua y sólo con déficit de riego severo hay pérdidas importantes de productividad (Carijo *et al.*, 2017). La economía de agua a nivel parcelario entre diferentes manejos de riego depende de los siguientes factores (Marano *et al.*, 2014): a) pérdidas por percolación, escorrentía superficial y subsuperficial; b) aprovechamiento de las precipitaciones; c) sistematización del suelo; d) dispositivos hidráulicos (mangas, compuertas, vertederos) y e) capacitación de los operarios que manejan el riego. Un menor consumo de agua también implica ahorro energético cuando se requiere bombear el agua (Filippi *et al.*, 2013), mayor aprovechamiento de las lluvias (de Avila *et al.*, 2015) y reducción de metano, uno de los principales gases de efecto invernadero (Islam *et al.*, 2020).

Existen diversos indicadores para evaluar el desempeño de diferentes cultivos y métodos de riego. Los indicadores de eficiencia son adimensionales (mm/mm o m^3/m^3) y relacionan la proporción de agua retenida en el suelo (Grassi, 1987) o evapotranspirada (Fernández *et al.*, 2020) respecto al agua aplicada, ya sea en la parcela o en el punto de abastecimiento (río, perforación o represa) considerando las eficiencias en cadena (Hsiao *et al.*, 2007). Para el cultivo de arroz, Rowshon *et al.* (2016) definen el suministro relativo de agua de arroz (RRWS por su sigla en inglés) y suministro relativo de agua acumulado de arroz (CRRWS por su sigla en inglés) para caracterizar el desempeño de la entrega de agua de riego. Otro indicador es la productividad del agua (kg/m^3), considerada en general como la relación entre la productividad del arroz cáscara con humedad comercial respecto al volumen de agua consumida por el cultivo (Bouman *et al.*, 2007). Definida de este modo, no se distingue

el agua de riego aplicada (dosis bruta) de la evapotranspiración (ETc). De tal modo que, para poder compararse entre regiones, debe especificarse en el denominador si es agua evapotranspirada, agua aplicada en el riego o la suma de riego más precipitaciones (Bouman *et al.*, 2007; Fernández *et al.*, 2020). La Huella Hídrica es un indicador que relaciona ETc respecto a la productividad de un cultivo para una región o un país (Hoekstra *et al.*, 2011) y fue utilizada para comparar el cultivo de arroz en diferentes países (Chapagain y Hoekstra, 2011) o regiones (Marano y Filippi, 2015). Por otra parte, combinar en un único índice global al conjunto de indicadores específicos permite comparar distintas regiones irrigadas (Muema *et al.*, 2018).

Para consolidar las prácticas de ahorro de agua de riego en el cultivo de arroz, deben utilizarse indicadores específicos que incluyan diversos componentes del balance hídrico (evapotranspiración, dosis, percolación, flujo subsuperficial, escorrentía superficial) y también productividad potencial y regional. Si bien se han cuantificado algunos indicadores de desempeño de arroz irrigado, no se encuentran trabajos que relacionen eficiencias, productividad y huellas hídricas. Con el objetivo de optimizar el uso del agua y la energía se compararon dos manejos de riego, seleccionando y cuantificando indicadores de desempeño de arroz irrigado en las regiones productivas de Santa Fe y Entre Ríos.

Materiales y Métodos

Regiones de estudio- Características edafoclimáticas

El área arrocerá de Santa Fe incluye dos agroecosistemas (Marano, 2014): a) Bajos Tendidos (BT): superficie aproximada de 120.000 ha ubicada entre el río San Javier (Este) y A° Saladillo Dulce (Oeste) (Figura 1), relieve subnormal plano cóncavo (grado de pendiente entre 0,00005 a 0,0001 m m^{-1}), presencia de esteros y cañadas con agua permanente y dirección Noroeste-Sudeste, predominio de Alfisoles (textura fina, altos contenidos de Na^+ , baja capacidad de infiltración y drenaje impedido). Debido a la

escasa pendiente, el escurrimiento superficial es mantiforme y, en períodos de lluvias extraordinarias, se conduce a través de los esteros y cañadas; en tanto la freática está próxima a la superficie del suelo gran parte del año y b) Terraza (Tza), con una superficie aproximada de 37.000 ha, extendida de Norte a Sur en la margen derecha del río San Javier. Forma parte de un campo de longitudinales formadas por acción eólica (Ramonell *et al.*, 2013) y, aun cuando desde el punto de vista geomorfológico no sea estrictamente de origen fluvial, se la denomina comúnmente "Albardón Costero Santafesino". Predominan Entisoles con horizonte argílico enterrado (thapto árgico), tienen mejor drenaje, ausencia de Na⁺, relieve subnormal pero de mayor

magnitud de pendiente (promedio 0,001 m m⁻¹). La cercanía del San Javier representa una vía de descarga regional rápida tanto para el flujo superficial como del acuífero libre, que es de tipo influente (Figura 1). En ambos agroecosistemas se seleccionaron lotes para llevar a cabo los experimentos. En la campaña 2011-12 el suelo correspondió a Arroyo Saladillos (CoASAb), complejo indeterminado con características salino-alcálinos que ocupan los planos bajos (BT), en tanto en 2012-13 se realizó en un Orthent thapto árgico siendo las unidades cartográficas Colonia Teresa (CTE) y El Laurel (LAU), ambos del agroecosistema Tza (INTA, 2022). En la Tabla 1 se presentan datos característicos de suelo de ambos agroecosistemas.



Figura 1. Área experimental en agroecosistema Bajo Tendido (arriba izquierda) y Terraza (abajo izquierda) en San Javier, Santa Fe, Argentina (arriba derecha). Imágenes Google Earth, ingreso 10-01-14.



Figura 2. Área experimental ubicada en la provincia de Entre Ríos, Argentina (izquierda y centro) correspondiente a la Estación Experimental Agropecuaria de INTA Concepción del Uruguay (derecha, Google Earth acceso 18-7-2021).

Tabla 1. Datos de densidad de suelo y contenidos hídricos inicial, saturación, capacidad de campo y marchitez permanente para las regiones arroceras de Santa Fe y Entre Ríos.

Sitio	Densidad de suelo (kg m^{-3})	Capacidad de campo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	Marchitez permanente ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	Contenido de agua inicial ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	Saturación ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)
BT	1630	0,37	0,16	0,14	0,385
Tza	1390	0,35	0,11	0,26	0,475
ER	1225	0.46	0.29	0.34	0,54

Nota: BT, Bajo Tendido; Tza, Terraza; ER, Entre Ríos. Los datos de densidad de suelo y contenidos hídricos corresponden a una profundidad de 0-0,20 m.

En Entre Ríos, el cultivo de arroz se realiza mayoritariamente sobre suelos con alto contenido de arcillas expansibles que se contraen o expanden según su contenido hídrico, plásticos y adhesivos cuando están húmedos pero duros cuando están secos. Poseen concreciones de carbonato de calcio en el perfil que pueden llegar a aparecer en superficie. Corresponden predominantemente al orden Vertisol (Peludertes argiacuólicos y argiudólicos); en segundo lugar al orden Molisol (Argiacuoles vérticos) y, en menor medida, también se siembra sobre Ocracualfes y Natracualfes típicos (De Petre y Boschetti,

2006; INTA, 2022). Debido al régimen de precipitaciones (superior a 1000 mm), topografía con pendientes entre 0,5 a 2,5 % encontrándose peniplanicies onduladas de hasta el 4 % y que las formaciones geológicas aflorantes están constituidas predominantemente por arcillas, existe densa red de drenaje que convierte a Entre Ríos en una de las provincias argentinas más ricas en recursos hídricos superficiales (Lenzi et. al. 2006). Los datos del suelo donde fue realizado el experimento son característicos de un Vertisol (Tabla 1) y corresponden a la Estación Experimental INTA Concepción del Uruguay (Figura 2).

Prácticas culturales y variedades utilizadas

El arroz cultivado corresponde al tipo índico, tropical-subtropical, largo fino, con resistencia al herbicida de la familia de las imidazolinonas (clearfield CL). En San Javier (2011-12 y 2012-13) se utilizó la variedad Puitá INTA CL, sembradas el 11/11/11 y 13/10/12, con densidades de 100 kg ha⁻¹ y 120 kg ha⁻¹ respectivamente, mientras que en Entre Ríos se utilizó Gurí INTA CL sembrada el 15/10/2020 con densidad 120 kg ha⁻¹. Para la siembra se acondicionó el suelo con rastras de discos y de dientes, en tanto que las semillas fueron tratadas con fungicida Vitavax (carboxim+tiram), con una dosis de 0.2 L cada 100 kg. Para el control de arroz colorado se utilizó herbicida Kifix en preemergencia y una segunda aplicación 2 a 4 días previo a la inundación. Para determinar la cantidad de fertilizante necesaria se aplicó un balance entre las tasas de extracción de N, P y K del arroz (rendimiento esperado de 10 Mg ha⁻¹ de arroz cáscara) y los macronutrientes que aporta el

suelo (Quintero, 2009). Para N se aplicó una fracción a la siembra (20%) y el resto previo al inicio del riego. Los macronutrientes de poca movilidad (P y K) se aplicaron en la hilera junto con las semillas a razón de 20 kg ha⁻¹. Los aportes de N, P y K del suelo se estimaron a partir de análisis químicos de Laboratorios de Suelos (FCA-UNL y FCA-UNER).

Riego

En Santa Fe se utiliza como fuente el río San Javier, brazo del Paraná (Marano, 2014), en tanto que en Entre Ríos tiene diversas fuentes: i) en el centro predominan los pozos profundos (62% del total de productores); ii) en el norte se utiliza el riego por represa (19%) y iii) ríos y arroyos (19%) (Carñel, 2011). El método de riego testigo fue inundación continua (Ic) y el manejo alternativo se denominó Control Parcial de Flujo de Agua (CPFA). El inicio de la inundación en el manejo Ic coincidió con inicio de macollaje, también denominada etapa II del cultivo (Marano y Filippi, 2015), que permitió saturar el suelo y

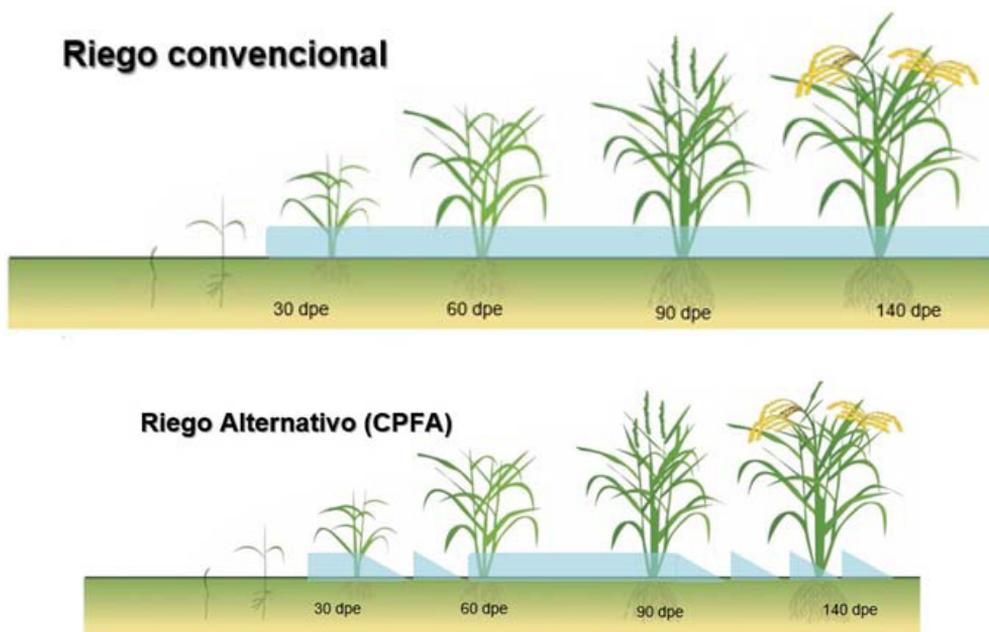


Figura 3. Esquemas de aplicación de riego en el manejo con Inundación Continua (arriba) y con Control Parcial de Flujo de Agua (abajo), dpe: días posterior a la emergencia.

acumular una altura de agua entre 8 y 10 cm. Luego continuó una etapa donde la altura de agua se mantuvo constante hasta madurez fisiológica, momento en que se dejó de regar. En el manejo CPFA el riego comenzó igual que en Ic pero, en lugar de mantener una altura de agua constante, el riego fue interrumpido dejando infiltrar el agua acumulada hasta alcanzar aproximadamente al 80% del agua útil en el suelo en Entre Ríos (Arguissain *et al.*, 2009) o valores de potencial mátrico de -10 kPa (Santa Fe), en donde se reinició el ciclo de inundación (Figura 3). Estos ciclos continuaron hasta el inicio de la etapa reproductiva (R1), momento en el cual se mantuvo una altura de agua constante por un período de 50 a 60 días hasta R5-R6 (15 días posfloración) donde nuevamente comenzó el riego intermitente hasta madurez fisiológica (R8-R9). Al final del ciclo se dejó de regar en ambos manejos y el agua acumulada en superficie se consumió por evapotranspiración e infiltración.

Diseño Experimental

Para determinar productividad y la dosis bruta aplicada se montaron experimentos a campo en los agroecosistemas evaluados durante las campañas 2011-12, 2012-13 en San Javier y 2020-21, 2021-22 en Entre Ríos. Se utilizaron parcelas de 100 y 25 m² en San Javier y Entre Ríos respectivamente,



cada una rodeada de una taipa apisonada de 0,25 m de altura, construidas con rolo lastrado y lo suficientemente compactada para evitar filtraciones y de ese modo aislar el manejo del agua entre tratamientos. Entre parcelas se mantuvo una distancia de aproximadamente 2 m sin plantas como condición de borde (Beecher *et al.*, 2006), que también funcionaron como pasillos. El perímetro del área experimental también se rodeó con taipas para evitar la entrada de agua externa (lluvia o riego). El riego se realizó con una red de tuberías presurizadas, válvulas e hidrómetros (Figura 4), siendo los tratamientos Inundación continua (Ic) y CPFA (Control parcial de flujo de agua), con diseño completamente aleatorizado y cuatro repeticiones. La cantidad de agua aplicada en cada riego se contabilizó con hidrómetros ubicados a la entrada de cada parcela (Figura 4), en tanto la altura de agua se controló mediante reglas graduadas. Para controlar el inicio y fin del riego en las parcelas con manejo CPFA, se colocaron tensiómetros a una profundidad de 0,2 m y reglas graduadas.

Componentes del Balance Hídrico

Los componentes del balance hídrico a nivel parcelario se cuantificaron según las etapas de riego y, en inundación continua, se pueden representar con la siguiente



Figura 4. Esquema de parcelas para determinar componentes de productividad y balance hídrico en San Javier (izquierda) y Entre Ríos (derecha).

ecuación general (Bouman *et al.*, 2007; Marano, 2014):

$$Db+Pt+Ac-ETc-(Perlr+PerP+Esc+DRss)-h-\Delta L=0 \quad (1)$$

Donde: Db: Dosis bruta (mm); Pt: Precipitación total (mm); Ac: Ascenso capilar (mm); ETc: Evapotranspiración del cultivo (mm); Perlr: Pérdida por percolación profunda a partir del riego (mm); PerP: Pérdida por percolación profunda a partir de las lluvias (mm); Esc: Escorrentía superficial (mm); DRss: Pérdida por drenaje subsuperficial (mm); h: Altura de agua requerida en inundación continua (mm); ΔL : Lámina de agua necesaria para saturar el suelo en la profundidad efectiva con raíces durante el momento de inundación (mm).

La ecuación 1 se simplificó con fines prácticos resultando, para Ic:

$$Db=ETc+Perlr+h+\Delta L \quad (2)$$

En tanto para CPFA se utilizó también la ecuación 2 pero descontando la precipitación efectiva (Pe, mm) de acuerdo a Marano (2014), la que fue determinada como la diferencia entre Pt menos Esc. Los valores de dosis bruta obtenidos con las ecuaciones fueron aplicados y registrados con hidrómetros en cada parcela y, como criterio de control, se estableció mantener una altura de agua de 8 cm.

La dosis neta (Dn, mm) se obtuvo a partir de:

$$Dn = Db - Perlr \quad (3)$$

Para obtener los consumos de agua por etapas se adaptó el criterio de FAO (Allen *et al.*, 2006), considerando cinco etapas: seco, desde emergencia hasta inicio de inundación; inicial, desde comienzo del riego hasta R1; desarrollo, desde R1 a R4; mediados, desde R4 a R8 y final desde R8 hasta cosecha, según estadios fenológicos de la escala de Counce *et al.* (2000). Los valores de ETc se obtuvieron multiplicando la evapotranspiración de referencia (ETo, mm) por valores de coeficiente único de cultivo obtenidos regionalmente en Santa Fe (Marano, 2014), mientras que en

Entre Ríos se utilizaron valores obtenidos de Allen *et al.* (2006). Para estimar ETo se utilizó la ecuación de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 2006) a partir de datos de estaciones meteorológica automáticas ubicadas en San Javier y en Concepción del Uruguay, con las que se obtuvieron además registros de precipitación diaria correspondientes a las campañas analizadas.

Para calcular ΔL se utilizaron datos de contenidos de agua en el suelo a capacidad de campo, marchitez permanente y saturación en la profundidad enraizable (0-0,40 m) obtenidos de la curva de retención hídrica en los agroecosistemas BT y Tza (Marano, 2014). Del mismo autor se obtuvieron datos de densidad de suelo y porosidad total. El contenido de agua en el suelo al momento del inicio del riego en las parcelas se determinó con método gravimétrico (Entre Ríos) y con sonda portátil TDR (HH2 Moisture Meter) con 10 repeticiones (San Javier).

La percolación profunda a partir del riego se midió a campo. Para ello se instalaron en las parcelas reglas graduadas al milímetro y, una vez iniciado el riego y estabilizada la altura de agua (0,08 m), se midieron al atardecer y al amanecer del día siguiente en cinco momentos del período de riego. Para determinar Perlr a nivel diario, se multiplicó el valor obtenido durante la noche por las horas diurnas restantes. En las parcelas con riego intermitente se midió el mismo día en que se completó la altura de agua y se consideró que la variación de altura en los días sucesivos no tuvo influencia en la percolación (Marano, 2014). En el área experimental del agroecosistema Tza se instaló un freátmetro en el cual se registraron lecturas diarias.

Para determinar Esc se utilizó un diagrama de flujo con algoritmos de cálculo a partir de datos de lluvia diaria (Figura 5). Las variables intervinientes fueron: Escn: escorrentía superficial en el día "n" (mm); Dbn: dosis bruta en el día "n" (mm); Ptn: precipitación diaria en el día "n" (mm); Hn: altura de agua en el día "n" (mm), siendo el valor de altura máxima de agua (Hmax) 100 mm. Con este criterio, si hay escurrimiento superficial entre dos taipas

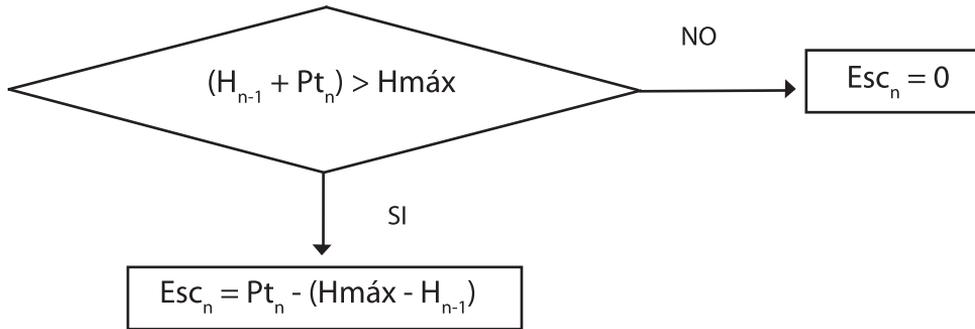


Figura 5. Diagrama de flujo que representa el escurrimiento superficial entre dos taipas continuas en riego intermitente

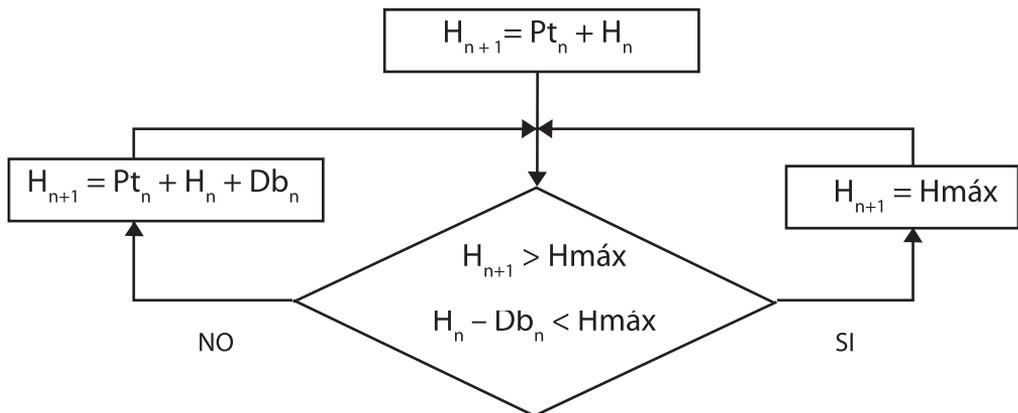


Figura 6. Diagrama de flujo que representa los cambios en la altura de agua en riego intermitente

continuas, el agua fluye por encima de la altura máxima de las taipa aguas abajo. A su vez, también en riego intermitente, el agua acumulada en las taipas cambia si hay lluvias (entradas) o por ETC y Perlr (salidas), ambas variables consideradas a través de Db . Estos cambios se evaluaron a través del diagrama de flujo y algoritmos de cálculo presentados en la Figura 6. Estos diagramas representan el escurrimiento teórico en una parcela, pero en caso de evaluarse un lote en producción, éste se divide en sectores para la aplicación de riego (similar a turnos de riego) y por ende,

ante una precipitación, la escorrentía será diferente en cada sector.

Productividad

Al final del ciclo se cortaron con hoz en forma manual las parcelas y se separó el grano de la paja con una trilladora experimental estática, se obtuvo su contenido de humedad (%) con un humidímetro modelo TESMA Plus (TESMA s.a.i.c.) que permitió corregir el rendimiento de arroz cáscara (BG) de cada tratamiento a 14% de humedad. La productividad del arroz cáscara a nivel regional se consideró con

datos estadísticos de la Bolsa de Cereales de Entre Ríos (2022) y de la Bolsa de Comercio de Santa Fe (2022).

Estimación de Dotación de Riego

Se desarrolló una metodología para estimar la dotación de riego a través de datos indirectos obtenidos de la facturación de electricidad de un establecimiento arrocero que utiliza bombas con motores eléctricos y fuente de agua superficial (río o represa). Para este cálculo se necesitaron los siguientes datos: a) altura manométrica entre el nivel del agua y la descarga del tubo de impulsión de la bomba; b) rendimiento teórico del conjunto motobomba; c) superficie total regada; d) eficiencia de conducción de los canales; e) consumo eléctrico mensual de la estación de bombeo. Esta metodología se aplicó en un establecimiento de 800 ha ubicado en una transición entre los agroecosistemas BT y Tza, siendo consideradas las siguientes situaciones: a) dos alturas manométricas, 3 y 5 m y b) dos rendimientos del equipo de bombeo, 55% y un 60%.

Las ecuaciones utilizadas fueron:

$$P = \frac{(Q \times H)}{(2.736 \eta)} \quad (4)$$

Donde: P, potencia absorbida en el motor (caballos de fuerza HP); Q, caudal total de bombeo ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$); H: altura manométrica (m); η : Rendimiento conjunto motobomba (%). Para obtener P se consideró el consumo mensual de la factura de electricidad -expresado en Kw- y se supuso que, una vez iniciado el riego, las bombas funcionaron durante 24 h todos los días correspondientes al período de riego. Para transformar la potencia de Kw a HP se aplicó un factor de corrección (1,359) y los datos de facturación corresponden al período 2018-2019.

Una vez calculados los valores de P, los valores de Q se obtuvieron despejando de la ecuación 4. Para estimar la dosis bruta mensual aplicada en todo el establecimiento (Db, mm) se utilizó la siguiente ecuación:

$$Db = \frac{(720 \times Q)}{(10 \times Sup)} \quad (5)$$

Donde: Sup es la superficie total irrigada (ha). El factor 720 representa la cantidad de horas en un mes genérico de 30 días y el factor 10 sirve para transformar $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ en mm. También se estimó la dotación bruta (Dot, $\text{L s}^{-1} \text{ha}^{-1}$) como el cociente entre Q y Sup, que representa el caudal ficticio continuo que ingresa a la parcela. Los valores de Q se convirtieron a L s^{-1} en tanto la superficie irrigada se mantuvo en ha. La etapa de riego estuvo comprendida entre los meses de noviembre a marzo y se contrastaron los valores de Db y D_b obtenidos experimentalmente.

Indicadores

Se evaluaron los siguientes indicadores, a nivel de parcela o lote, considerando las metodologías propuestas por Marano (2014) y Marano y Filippi (2015):

Eficiencia de aplicación de irrigación (Efa, adimensional), como el cociente entre la dosis de riego neta (Dn, mm) y dosis de riego bruta a nivel parcelario (Db, mm);

$$Efa = \frac{Dn}{Db} \quad (6)$$

Eficiencia total del agua (Eft, adimensional), cociente entre Dn (mm) y la suma de Db (mm) + Precipitación total durante el período de riego (Pt, mm) para Ic, en tanto para CPFA el denominador es la suma entre Db (mm) más la fracción de lluvia ocurrida durante el período de riego que no pudo ser aprovechada y escurre superficialmente (Es, mm).

$$Eft(Ic) = \frac{Dn}{Db + Pt} \quad (7)$$

$$Eft(CPFA) = \frac{Dn}{(Db + Es)} \quad (8)$$

Productividad del agua azul (Paz, kg m^{-3}), cociente entre rendimiento de arroz cáscara (PG, kg ha^{-1} con 14% humedad) y dosis bruta (Db, mm).

$$Paz = \frac{PG}{(10 Db)} \quad (9)$$

Huella Hídrica de la producción de arroz cáscara. Se calculó de acuerdo a la metodología propuesta en The Water Footprint Assessment Manual (Hoekstra *et al.*, 2011) considerando dos componentes:

a) color azul (HHa, m³ Mg⁻¹) $HHa = \frac{VR}{(PGR)} \quad (10)$

Donde: VR (m³ ha⁻¹) es la fracción de agua evapotranspirada cuyo origen es el riego y PGR (kg ha⁻¹ con 14% humedad) representa el rendimiento medio regional de arroz cáscara. El componente VR se obtuvo con la metodología propuesta por Marano y Filippi (2015):

$$VR = 10 (Dn - (\theta_s - \theta_i) z) \quad (11)$$

Donde: Dn (mm) es la dosis de riego neta promedio de los tratamientos Ic e CPFA; θ_s y θ_i (m³ m⁻³) representan los contenidos hídricos con suelo saturado e inicial respectivamente y z es la profundidad enraizable (400 mm).

b) color verde (HHv, m³ Mg⁻¹) $HHv = \frac{(ETc - VR)}{(PGR)} \quad (12)$

considerando que la fracción de lluvia necesaria para satisfacer el consumo de agua es la diferencia entre ETc (m³ ha⁻¹) de todo el ciclo menos el aporte de agua de riego (Marano y Filippi, 2015). La componente gris de la huella hídrica no fue considerada para las condiciones de arroz irrigado de Santa Fe y Entre Ríos (Díaz y Lenzi, 2009; Díaz y Lenzi, 2010; Marano y Filippi, 2015). La huella hídrica total (HHt, m³ Mg⁻¹) es la suma de HHv + HHa.

Eficiencia de bombeo (EFb, adimensional), este indicador es para todo el establecimiento y para todo el período de riego y se obtiene como el cociente entre la dosis bruta a nivel parcelario, determinada en condiciones experimentales o estimada con balance hídrico para inundación continua (Db, mm) y la dosis bruta aplicada en todo el establecimiento (Dba, mm) con estimación

indirecta (ecuación 5) para Santa Fe y con información obtenida de Fainstein *et al.* (2006) para Entre Ríos.

Análisis Estadístico

Se testearon los supuestos de normalidad, independencia de los errores y homogeneidad de las varianzas a todos los indicadores y las variables respuesta evaluadas, comparando los promedios con el test LSD (Fisher) utilizando Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2010).

Resultados y Discusión

Balance hídrico

Necesidades de agua

El valor de ETc para todo el ciclo fue 12% mayor en Entre Ríos respecto de Santa Fe (Tabla 2), debido a la condición más continental del área arrocerca de Entre Ríos y al clima más húmedo de San Javier (Marano y Filippi, 2015). Considerando el consumo de agua en las diferentes etapas del ciclo del cultivo, en seco y en mediados fueron similares entre Santa Fe y Entre Ríos, en tanto que en el inicio y en mediados la ETc de Santa Fe fue mayor que en Entre Ríos -26 y 20% respectivamente- y, por el contrario, en desarrollo y al final los valores de ETc en Entre Ríos fueron mucho mayores que en Santa Fe -63 y 85% respectivamente-. En cuanto a Kc, los valores determinados por Marano (2014) en condiciones de campo para la etapa de riego fueron similares a los utilizados para Entre Ríos (Tabla 2), a partir de la metodología propuesta por Allen *et al.* (2006).

Percolación

En el agroecosistema BT, no hubo diferencias significativas entre manejos de agua considerando los componentes percolación debida al riego, dosis neta y dosis bruta, en tanto que, en el agroecosistema Tza, estos tres componentes tuvieron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre Ic e CPFA (Tabla 3). A su vez, la principal diferencia entre agroecosistemas fueron los mayores valores de percolación profunda en Tza y, en consecuencia, una mayor dosis bruta aplicada (Tabla 3).

Tabla 2. Valores medios de evapotranspiración de referencia (ET_o), de cultivo (ET_c) y coeficiente único de cultivo (K_c) de arroz irrigado en Santa Fe¹ y Entre Ríos

Sitio	Etapas					
	secano	inicial	desarrollo	mediados	final	Total del ciclo
Santa Fe	K _c					
	0,40	1,00	1,20	1,22	1,00	
	ET _o (mm día ⁻¹)					
	189	178	119	112	54	652
	ET _c (mm día ⁻¹)					
	76	185	141	134	54	590
Entre Ríos	K _c					
	0,40	1,05	1,20	1,20	1,00	
	ET _o (mm día ⁻¹)					
	190	140	192	93	100	715
	ET _c (mm día ⁻¹)					
	76	147	230	112	100	658

¹Los valores de K_c, ET_o y ET_c corresponden a las campañas 2011-12 y 2012-13

Lastas medias diarias de percolación profunda fueron estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$) entre los agroecosistemas BT y Tza (1, 4 y 9,0 mm día⁻¹ respectivamente), mientras que la diferencia del componente Per entre ambos manejos de riego fue debida a la cantidad de días con inundación considerados (promedio de 90 y 60 días para Ic y CPFA respectivamente). Las razones de esta diferencia no se deben a la textura de suelo sino a la proximidad con una vía de descarga regional (río San Javier), por lo que, en el agroecosistema Tza, el agua que percola hacia el acuífero retorna al río (Marano, 2014). Tal situación fue corroborada con la variación de los niveles freáticos del pozo de observación ubicado en el área experimental, con un marcado ascenso en coincidencia con el inicio de la irrigación (principios de octubre), alcanzando la máxima cota freática cuando toda la superficie con cultivo de arroz se completó con riego (principios de diciembre) y, a partir de febrero (fin del período de riego), comienza el período de recesión que se extiende hasta marzo, donde

se estabilizan los niveles (Figura 7). A modo de ejemplo, se puede observar en la Figura 7 un descenso del nivel freático en la semana del 19-12-12, originado en una interrupción en la extracción de agua en la estación de bombeo por problemas mecánicos. Cuando se volvió a regar, hubo percolación en los lotes y los niveles freáticos ascendieron nuevamente hasta alcanzar valores similares a los existentes antes de la interrupción del bombeo. El flujo subsuperficial del agua es un componente muy común en riego por inundación en arroz y también es conocido con el nombre de seepage (Bouman *et al.*, 1994).

En los Vertisoles de Entre Ríos, donde el relieve es más pronunciado y se utiliza una rotación con otros cultivos, Duarte *et al.* (2006) midieron percolación en lotes cultivados con arroz y diferentes manejos de suelo, encontrando valores medios de 1,6 y 2,6 mm día⁻¹ con labranza convencional y siembra directa respectivamente. En este trabajo se utilizó 5,3 mm día⁻¹, dado que el

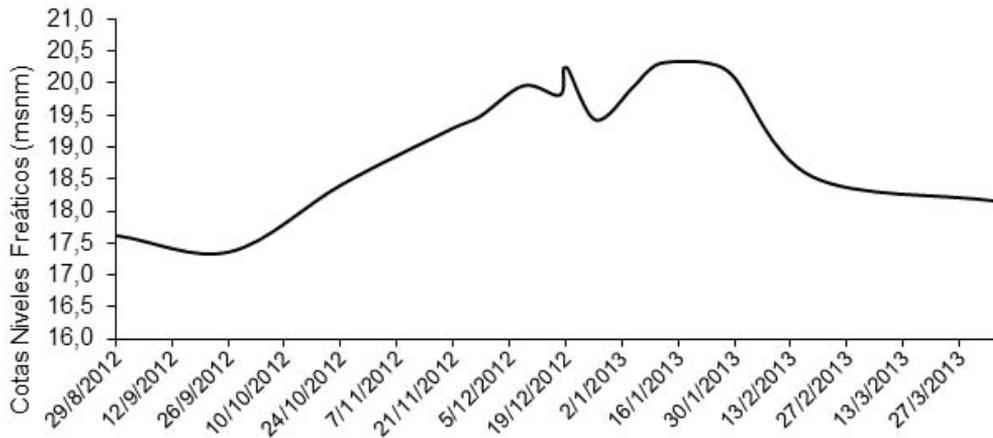


Figura 7. Variación nivel freático en el sitio experimental durante el transcurso del desarrollo del cultivo. Cotas Instituto geográfico nacional (IGN) en metros sobre el nivel del mar (msnm).

área experimental donde se realizaron las mediciones limitaba con lotes en secano, es decir una importante proporción de la percolación es flujo subsuperficial (seepage). Las diferencias de Per entre los manejos Ic y CPFA (Tabla 3) se deben a la cantidad de días de riego considerados con percolación, 100 y 50 días para Ic y CPFA respectivamente.

Dosis

Las dosis aplicadas en las parcelas fueron mayores al inicio de la inundación, para saturar el suelo y acumular una altura de agua en superficie (8 a 10 cm). En esta etapa, la dosis bruta registrada con los hidrómetros en ambos manejos de riego (datos no presentados), tuvo pequeñas variaciones en función del contenido hídrico inicial de cada parcela y de la porosidad total, dado que no hubo pérdidas por escorrentía superficial ni percolación profunda. En el momento donde comenzó el riego intermitente, hubo diferencias significativas ($P \leq 0,05$) de Db entre Ic y CPFA hasta el final del período de riego, debido a las diferentes cantidades de pérdidas por percolación y flujo subsuperficial (Tabla 3). Es de destacar que el valor de Per acumulado fue 19, 67 y 45 % de la dosis bruta

para el manejo Ic en los agroecosistemas BT, Tza y Entre Ríos respectivamente, en tanto para CPFA la proporción de Per en relación a Db disminuyó a 14, 59 y 35% para BT, Tza y Entre Ríos. El ahorro de agua aplicada (azul) en todo el período de riego, entre los manejos Ic y CPFA, fue 390, 2.480 y 3.932 $m^3 ha^{-1}$ para BT, Tza y Entre Ríos respectivamente. Filippi *et al.* (2013) determinaron 26% de ahorro de agua para el manejo CPFA en lotes arroceros de San Salvador, Entre Ríos, similar a este trabajo. Carracelas *et al.* (2019) determinaron en diferentes regiones productivas de Uruguay promedios de dosis bruta con mínimos de 710,1 mm hasta 1471,1 mm en arroz con inundación continua, disminuyendo a 503,4 mm y 849,4 mm respectivamente con métodos similares al manejo CPFA.

En tanto en San Javier no hubo diferencias con los promedios de Dn entre los manejos Ic y CPFA, en Entre Ríos tuvieron diferencias, del mismo que fueron diferentes entre los agroecosistemas BT y Tza (Tabla 3). Considerando la ecuación 3, la magnitud que pueden alcanzar los valores de dosis neta se debe tanto a la cantidad de agua necesaria para saturar el suelo (contenidos hídricos inicial y de saturación además

profundidad enraizable) como a las pérdidas por percolación. Los suelos de Entre Ríos tienen mayores valores de contenido hídrico a saturación, en tanto el agroecosistema BT tuvo bajos valores de contenido hídrico inicial (Tabla 1), mientras que las mayores pérdidas (Per) ocurrieron en el agroecosistema Tza (Tabla 3), lo que explicaría las diferencias de Dn.

La dosis neta representa, en sistemas de riego de baja frecuencia y para la mayoría de los cultivos (excepto arroz), la lámina de reposición desde un umbral de riego hasta alcanzar un contenido de agua en el suelo equivalente a capacidad de campo (Grassi, 1987; Bernardo *et al.*, 2006). En arroz con inundación continua el concepto tradicional de dosis neta se aplica en la etapa inicial de inundación, solo que el límite superior no es capacidad de campo sino el contenido hídrico a saturación y el límite inferior representa el contenido hídrico al momento de iniciar el riego (Marano, 2014). Luego de completar la inundación y alcanzar la altura de agua (h) deseada, la dosis neta se mantiene constante porque el suelo permanece saturado. Al momento de madurez fisiológica (R8-R9) el riego se interrumpe y el agua almacenada se consume por evapotranspiración. Considerando que la fecha de ocurrencia de R8-R9 coincide con el momento del año de mayores precipitaciones en Santa Fe y Entre Ríos, es posible que la altura h no sea consumida ni evaporada y deba ser drenada para permitir la cosecha. En esta situación, el componente h debería restarse de Dn (ecuación 3). En el manejo CPFA la dosis neta también depende, al igual que Ic, del contenido hídrico a saturación como del contenido hídrico al momento de iniciar el riego. La diferencia con Ic radica en que, durante los ciclos de reinundación, la dosis neta también varía con el contenido de agua que alcance el suelo antes de reiniciar el riego (Marano, 2014).

Escorrentía Superficial

Según el esquema conceptual propuesto (Figura 3), la escorrentía superficial a nivel parcela tiene alta dependencia de las

precipitaciones ocurridas en la campaña y, en menor medida, en la altura de la taipa (Figura 4). En años secos la escorrentía es despreciable y la lluvia es aprovechada totalmente en ambos manejos de riego (Tabla 3). En campañas con lluvias similares al promedio histórico, la escorrentía representa aproximadamente 46 y 34% para inundación continua e intermitente respectivamente (agroecosistema Tza, Tabla 3). Para años húmedos (2019), Villón y Marano (2022) reportan que, con lluvias acumuladas en el ciclo de arroz de 1266 mm, la escorrentía superficial en Ic e CPFA se estimó en 1088 y 730 mm respectivamente. Los excedentes a nivel parcela se acumulan en la red de colectores de drenaje interna y se deriva al sistema de drenaje regional. Esta derivación puede ser directa, cuando la pendiente lo permite o, en caso de relieve muy plano, a través de una estación de bombeo. En el área arrocería santafesina, el sistema natural de drenaje para el agroecosistema BT está representada por esteros y cañadas de orientación noreste-suroeste, en tanto en el agroecosistema Tza, el drenaje natural es directo hacia el río Coronda (Damiano *et al.*, 2014).

Estimación indirecta de la dosis bruta-Estudio de caso

En San Javier, los productores de arroz contratan el suministro de energía eléctrica con fines de riego entre los meses de noviembre a marzo, considerando que las fechas de siembra más tempranas comienzan en setiembre y tanto el inicio como finalización del riego ocurren, en promedio, 30 días y 120 días después de la siembra (Marano, 2014). Para el caso de estudio, aún el menor valor de Db para todo el ciclo de riego, que corresponde al escenario más desfavorable (Tabla 4), fue mayor que el valor promedio más alto de Db a nivel parcelario, que corresponde a Ic en el agroecosistema Tza (Tabla 3). Para determinar las posibles pérdidas por conducción en los canales principales y secundarios, se consideraron los siguientes supuestos en el establecimiento utilizado como caso de estudio: i) toda la

Tabla 3. Componentes del balance hídrico y productividad¹ correspondientes a las regiones arroceras de Santa Fe (2011/12 y 2012/13) y Entre Ríos campaña 20/21.

	Control Parcial Flujo de Agua						Inundación continua				
	Pt mm	Db mm	Dn mm	Per mm	Esc mm	PG kg/ ha	Db mm	Dn mm	Per mm	Esc mm	PG kg/ha
BT	292	591a	510	81	0	9.900	630b	509	121	0	10.200
Tza	507	912a	372	540	174	10.300	1.160b	386	774	234	9.700
ER	248	774A	504	270	0	15.104	1.167B	637	530	0	14.898

Nota: BT, Bajo Tendido; Tza, Terraza; ER, Entre Ríos; Pt, Precipitación total en el período de irrigación; Db, Dosis bruta aplicada en todo el establecimiento; Dn, Dosis neta a nivel parcelario; Per, Percolación profunda; Esc, escurrimiento superficial con origen en las precipitaciones; PG, Productividad de arroz cáscara. Promedios de los componentes del balance hídrico seguidos con diferentes letras (mayúscula o minúscula) indican diferencias significativas con test LSD ($P \leq 0,05$).

¹Resultados obtenidos en condiciones experimentales.

superficie se regó con inundación continua, ii) en todas las parcelas se aplicó la misma dosis bruta y iii) no hubo pérdidas por escorrentía superficial debidas al riego. De acuerdo a estos supuestos, las pérdidas por conducción fueron 812 y 282 mm para la condición menos favorable (5 m de altura manométrica y 55% de rendimiento del equipo de bombeo) para los agroecosistemas BT y Tza respectivamente. En tanto que, para el escenario más favorable (3 m de altura manométrica y 65% de rendimiento del equipo de bombeo), las diferencias aumentaron a 1.990 y 1.460 mm para los agroecosistemas BT y Tza respectivamente. Con estos resultados, las pérdidas por conducción en los canales de tierra, considerando el escenario más favorable, representan un 56 y 20% para los agroecosistemas BT y Tza respectivamente, aumentando a 76 y 56% para el escenario menos favorable y agroecosistemas BT y Tza respectivamente. Pilatti *et al.*, (2003) estimaron que las pérdidas por conducción y distribución en canales en terraplén representan el 4% del valor máximo de caudal en la estación de bombeo, con una dotación promedio de $0,05 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$; en tanto Muzio y Marano (2011) estimaron en 6,5% las pérdidas por infiltración, también en canales en terraplén.

Los valores estimados de Dot, tanto para la situación más y menos favorable, son similares en noviembre y diciembre, pero máxima en febrero (Tabla 4). Esta situación es atípica porque noviembre es el mes de mayor demanda de riego, dado que debe saturarse el suelo y acumular una altura de agua en superficie (Marano *et al.*, 2014). La explicación se debe a las lluvias, que fueron excepcionales durante noviembre de 2018 en San Javier (337 mm) y por ende parte de las necesidades de riego se suplieron con las precipitaciones. Del mismo modo, en enero hubo una disminución de Dot debido a lluvias extraordinarias (546 mm) pero fue máxima en febrero, en coincidencia con valores muy bajos de precipitación (17 mm). Cabe destacar que los cálculos de Dot se realizaron con un tiempo de bombeo de 720 horas mensuales, pero si se considerase menor cantidad de tiempo de bombeo, la dotación bruta aumentaría. El mes de marzo tiene una muy baja Dot, debido a que solo requieren riego los lotes con arroz sembrado a fines de noviembre. Los resultados indican que esta metodología puede ser aplicada a todos los establecimientos que utilicen motores eléctricos para impulsar el riego, siendo probable que, para condiciones de estiaje extraordinario del Paraná como las

Tabla 4. Dosis y dotación de riego¹ estimadas con información de consumo eléctrico para dos condiciones de altura manométrica y eficiencia del equipo de bombeo

Alturas manométricas y rendimiento equipo bombeo						
meses	5 m - 55%		3 m -65%		Promedio	
	Indicadores					
	Db _a (mm)	Dot (L/s ha)	Db _a (mm)	Dot (L/s ha)	Db _a (mm)	Dot (L/ s ha)
noviembre	310	1,20	563	2,17	437	1,69
diciembre	338	1,30	614	2,37	476	1,84
enero	264	1,02	479	1,85	371	1,44
febrero	409	1,58	743	2,87	576	2,23
marzo	122	0,47	222	0,86	172	0,67
total	1442		2621		2031	

Nota: Db_a, Dosis bruta aplicada en todo el establecimiento y Dot, Dotación de riego.

¹ Valores adaptados de Villón y Marano (2022) correspondientes a un predio de 800 ha ubicado en San Javier, Santa Fe.

que ocurrieron en la campaña 2021-2022, la altura manométrica deba ser mayor a 5 m.

Productividad

Los valores de productividad determinados experimentalmente indican que, tanto en Santa Fe como en Entre Ríos, existen brechas entre el rendimiento potencial y el alcanzado de hasta 94% en Entre Ríos y 72% en Santa Fe. También existen diferencias de productividad potencial y actual en Entre Ríos respecto de Santa Fe, debidas más a factores edáficos y de manejo que a condiciones ambientales, dado que variables como radiación global total y diaria, temperaturas medias, máximas y mínimas en San Javier son similares a la de Entre Ríos y de otras regiones de alta productividad a nivel global como China, Filipinas o Australia (Marano, 2014). La productividad media nacional de arroz está estancada en menos de 50 % de su potencial productivo Quintero (2015). Según este autor, no hay un único factor limitante, sino un conjunto de factores acumulados que reducen el rendimiento y deben ser considerados, siendo la fertilización uno de los más importantes. En campos de productores de Entre Ríos es factible alcanzar

productividades entre 9.000 a 13.500 kg ha⁻¹ (Bolsa de Cereales de Entre Ríos, 2022) y, en ensayos de parcelas experimentales llevados a cabo en esa Provincia, se alcanzaron promedios desde 13.000 a 15.000 kg ha⁻¹ (Quintero, 2015), valores también alcanzados en EEA INTA Concepción del Uruguay.

Eficiencias

El indicador EFa tuvo diferencias significativas entre manejos de agua (P<0,05) solo en el agroecosistema Tza (Tabla 5), en coincidencia con las diferencias también significativas de Dn y Db (Tabla 3). Mientras que la EFa en el agroecosistema BT tuvo valores semejantes a riego gravitacional por melgas cerradas al pie con suelos similares y cultivos diferentes al arroz (Grassi, 1987), en Tza disminuyó drásticamente debido a las pérdidas por percolación, entre 53 y 59% para CPFA e Ic respectivamente. Por otra parte, EFt tuvo diferencias significativas entre manejos de agua (P<0,05) en ambos agroecosistemas (Tabla 5), debido tanto a las diferencias entre Dn y Db como a los diferentes valores de Pt y Esc (Tabla 3) y también hubo una drástica reducción entre agroecosistemas, promediando 60% tanto para CPFA como

Ic. Bouman *et al.* (2005) definen la eficiencia de aplicación de agua como la relación entre ETC y la suma de Db + Pt, con valores entre 28 y 45% para condiciones de arroz inundado cultivado en Asia. La definición de Eft (ecuación 7) es similar a la de Bouman *et al.* (2005) con la diferencia que, en vez de utilizar evapotranspiración, se consideró Dn. El indicador Eft es más sensible que EFa para caracterizar los manejos de agua, dependiendo de las precipitaciones y la escorrentía superficial (ecuaciones 7 y 8). En el manejo Ic, además de las pérdidas por percolación se castiga la falta de aprovechamiento de las lluvias, en tanto en el manejo CPFA se incluye en el denominador la fracción no aprovechada de la lluvia (Esc) de modo tal que, en años con precipitaciones normales, el componente Esc sería menor y por ende aumentaría Eft, tal como ocurrió en BT (Tabla 5). Si bien la escorrentía fue estimada a partir de las precipitaciones (Figura 5), en condiciones de campo es común observar -particularmente en San Javier- escorrentía superficial originada por el riego. Estas pérdidas son mayores en la etapa inicial de inundación, en lotes con muchas taipas sucesivas que aumentan el tiempo de avance, con aplicación de agua en un solo punto y sin estructuras hidráulicas apropiadas

(Pilatti *et al.*, 2003). El exceso de agua aplicada tiene una inercia entre la primera y última taipa (denominada ronda) que no puede ser retenida y por ende termina en los canales de drenaje, siendo en algunos casos reutilizadas para riego mediante bombeo. El manejo CPFA permitiría reducir estas pérdidas dado que la aplicación del riego sería por etapas y, además, el agua puede conducirse desde la primera a la última taipa mediante mangas plásticas. También para CPFA, las pérdidas por percolación profunda podrían reducirse si, en cada riego, se aplicase una lámina no mayor a 30 mm y el reinicio del riego fuese con el suelo no saturado, pero con potencial mátrico igual o mayor a -10 kPa (Marano, 2014) dado que valores de potencial mátrico inferiores a -20 kPa generan pérdidas de productividad de hasta 22,6 % (Carrijo *et al.*, 2017).

Para obtener EFb en cada uno de los agroecosistemas de Santa Fe, se utilizaron los resultados del estudio de caso, realizando un promedio aritmético entre los escenarios más y menos favorable. Para el agroecosistema Tza, EFb resultó mucho mayor que el valor de EFa considerando inundación continua, pero mucho menor que en BT (Tabla 5). Dado que EFb incluye las eficiencias de conducción en canales y de aplicación en las parcelas, es menor que EFa, por lo que se deduce que

Tabla 5. Indicadores de desempeño correspondientes a las regiones arroceras de Santa Fe y Entre Ríos

	Control Parcial de Flujo de agua			Inundación continua			Huella Hídrica				
	EFa (%)	EFt (%)	Paz (kg/m ³)	EFa (%)	EFt (%)	Paz (kg/m ³)	EFb (%)	PGR kg/ha	HHa (m ³ /Mg)	HHv (m ³ /Mg)	HHt (m ³ /Mg)
BT	86	86A	1,37	81	55B	1,35	31	5.850	694	314	1008
Tza	41a	34a	1,00a	33b	23b	0,77b	57		575	433	
ER	65	55	1,93A	55	45	1,29B	75	7.677	534	323	857

Nota: BT, Bajo Tendido; Tza, Terraza; ER, Entre Ríos; EFa, Eficiencia de aplicación de irrigación; EFt, Eficiencia total del agua; Paz, Productividad del agua azul; EFb, Eficiencia de bombeo; PGR, Productividad regional de arroz cáscara; HHa, Huella hídrica azul; HHv, Huella hídrica verde; HHt, Huella hídrica total. Promedios de los indicadores para cada sitio seguidos con diferentes letras (mayúsculas o minúsculas) indican diferencias significativas con test LSD ($P \leq 0,05$).

el establecimiento utilizado para el estudio de caso tiene parte del área cultivada en el agroecosistema BT y parte en Tza. De este modo, el promedio aritmético de EFa y EFb para ambos agroecosistemas fue 50 y 44% respectivamente, resultando una pérdida promedio por conducción en canales de 12%, mayor a las estimadas por Pilatti *et al.* (2003) y Muzio y Marano (2011), pero en concordancia con los valores de pérdidas en canales de Entre Ríos (Duarte *et al.*, 2006; Filippi *et al.*, 2013). Con los resultados obtenidos en San Javier, es factible utilizar datos de facturación eléctrica para estimar dotación y eficiencias de bombeo y, de aplicarse esta metodología a otras regiones arroceras, se podrán elaborar programas que incluyan, entre otros aspectos, tarifa eléctrica, eficiencia de bombas y motores o también adecuación de sitios para tomas de agua desde el río.

El indicador Paz tubo diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre manejos de agua en el agroecosistema Tza y en Entre Ríos (Tabla 5) debido a las diferencias, también significativas, de Db entre Ic e CPFA (Tabla 3). En BT no hubo diferencias significativas, pero el indicador Paz fue superior a Tza, tanto en CPFA (37%) como en Ic (75%). Diferentes autores utilizaron indicadores de productividad del riego equivalentes a Paz, aunque con otra denominación. En New South Wales, principal región productora de arroz de Australia con una productividad media de $9,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ de arroz cáscara, Humpheys *et al.* (2006) determinaron un valor de $0,72 \text{ kg m}^{-3}$, similar a los valores de Entre Ríos y agroecosistema Tza. En el sur de Brasil, de Avila *et al.* (2015) determinaron valores de productividad del riego de 1,13 y $1,63 \text{ kg m}^{-3}$ para riego por inundación continua e intermitente respectivamente, similares a los resultados de BT. En Uruguay, tanto Ricetto *et al.* (2017) como Carracelas *et al.* (2019) determinaron valores promedio de productividad del agua azul para inundación continua de 1,18 y $1,09 \text{ kg m}^{-3}$ respectivamente, incrementándose a 1,46 y $1,37 \text{ kg m}^{-3}$ con un manejo alternativo del agua denominado Wetting and Drying, que consiste en alternar suelo húmedo/seco

hasta la floración, aprovechando las lluvias y luego inundar con una altura constante de agua, similar al manejo CPFA. Con manejos de agua similares y cuando la precipitación es importante durante el ciclo del cultivo, el indicador Paz puede ser de hasta $2,32 \text{ kg m}^{-3}$ (Hong *et al.*, 2001). Otro indicador muy utilizado en cultivos extensivos es la Eficiencia de Uso de agua (relación entre evapotranspiración y la productividad del cultivo de arroz), siendo ambas variables consideradas en el concepto de agua virtual y por ende en la huella hídrica.

Huellas Hídricas

La productividad media de arroz cáscara (PGR) de San Javier correspondió al período 2005-06 hasta 2020-21, sin distinción entre agroecosistemas y el de Entre Ríos es para toda la Provincia y corresponde al período 2020-22 (Tabla 5). La huella hídrica total es igual en los agroecosistemas BT y Tza debido a que tanto ETc como PGR fueron la misma, en tanto hubo diferencias en los componentes HHa y HHv entre ambos agroecosistemas debido a los diferentes valores de VR (ecuación 11) que fueron 3.260 y $2.560 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ para BT y Tza respectivamente. La HHT de San Javier fue 18% mayor respecto de Entre Ríos, debido a que PGR de Entre Ríos fue 31% mayor que en Santa Fe, en tanto el componente ETc fue 12% mayor en Entre Ríos como ya fue mencionado. Analizando cada componente, la HHa en el agroecosistema Tza es similar a Entre Ríos, en tanto la HHv del agroecosistema BT es similar a Entre Ríos (Tabla 5). Marano y Filippi (2015), determinaron valores promedios de HHT para San Javier (sin distinción de agroecosistemas) y Entre Ríos de 987 y $845 \text{ m}^3 \text{ Mg}^{-1}$ respectivamente, similares a los de este trabajo, en tanto el promedio de HHa en San Javier fue, según estos mismos autores, $627 \text{ m}^3 \text{ Mg}^{-1}$, un valor intermedio entre los agroecosistemas BT y Tza (Tabla 5). El promedio de huella hídrica de arroz cáscara en 2011, considerando los componentes verde, azul y gris, fue 1.325 y $1.130 \text{ m}^3 \text{ Mg}^{-1}$ a nivel global y para Argentina respectivamente (Chapagain y Hoekstra, 2011), que resultaron

mayores a los obtenidos en este trabajo para Entre Ríos, pero más próximos a los de Santa Fe (Tabla 5), aunque faltó incluir la huella hídrica gris.

La huella hídrica total de un cultivo permite conocer la cantidad de agua evapotranspirada para producir una tonelada de biomasa, ya sea granos (cereales) o materia seca (Hoekstra y Chapagain, 2006). Está estrechamente relacionada con el agua virtual, concepto introducido por Allan (1998) con el propósito de concienciar a la sociedad sobre la cantidad de agua necesaria para producir un determinado producto y, a nivel regional, la huella hídrica permite cuantificar la magnitud del agua utilizada para la producción global de ese producto. En este sentido, la productividad tiene un papel estratégico para disminuir o aumentar la huella hídrica del cultivo de arroz. Los valores de HHT fueron determinados con la productividad regional, pero si se calcularan con la productividad obtenida en las parcelas experimentales, disminuirían a 440 y 590 m³ Mg⁻¹ para Entre Ríos y Santa Fe respectivamente, es decir a la mitad.

Por otra parte, HHT es un indicador que no permite diferenciar los manejos de agua por cuanto no incluye componentes de pérdidas (percolación o escorrentía), excepto que existan diferencias de consumo de agua (evapotranspiración) o de productividad, lo que no ocurrió entre los manejos Ic y CPFA. En este sentido, Chapagain y Hoekstra (2011) afirman que las pérdidas por percolación, tanto por riego como por lluvia, no deben incluirse en la estimación de la huella hídrica para efectos de comparación con otros productos agrícolas.

La segmentación entre verde y azul es importante para distinguir entre la fracción de evapotranspiración del arroz cuyo origen son las lluvias en relación al aporte de agua de riego, dado que el agua azul compite con otros usos y puede generar conflictos entre diferentes usuarios del agua (Marano y Filippi, 2015). Por lo tanto, aquellos bienes o procesos que generen menor huella hídrica total y, particularmente, menor huella azul y gris,

tendrán una ventaja que puede manifestarse como un beneficio económico, de acceso a determinados mercados o de otra índole. La utilización de la huella hídrica como un indicador para comparar manejos de agua radica en las posibilidades de incrementar el uso de agua verde a través de la alternancia inundación-secado (Biswas *et al.*, 2021) como propone el método CPFA.

Conclusiones

Para optimizar el uso del agua y la energía se compararon diferentes manejos de riego y se cuantificaron indicadores de desempeño de arroz, presentando a continuación las principales conclusiones:

1- Se optimizó el uso del agua (azul y verde) con el manejo de riego alternativo (CPFA), con productividad similar al manejo tradicional (Ic).

2- Los indicadores de eficiencia EFa y Eft incorporan en su cálculo la dosis bruta en parcela y, en consecuencia, están afectados por las pérdidas por percolación y flujo subsuperficial. Los mayores valores fueron en Alfísolos con relieve plano (Bajo Tendido) y los más bajos en Entisoles con vías de escurrimiento regional (Terraza). En Vertisoles con rotación agrícola o ganadera, las pérdidas por percolación y flujo subsuperficial aumentan con el incremento de lotes adyacentes con cultivos de secano. En todas las áreas evaluadas, el manejo alternativo de agua (CPFA) permitió reducir estas pérdidas. El indicador Eft permite diferenciar la proporción de lluvia que es aprovechada por el arroz, por lo que el manejo CPFA tiene valores más altos que Ic.

3- La productividad del agua azul es un indicador apropiado porque incorpora en su cálculo tanto los rendimientos como la dosis de riego aplicada en parcela. En Entre Ríos fue similar a Bajo Tendido sólo en el manejo CPFA, debido tanto a los mayores rendimientos obtenidos en parcelas experimentales como a la disminución de Per.

4- Se pudo estimar la dotación de riego y eficiencia de bombeo de un establecimiento a través de la facturación de energía

eléctrica. Su utilización en las áreas arroceras posibilitará elaborar programas que incluyan, entre otros aspectos, tarifa eléctrica, eficiencia de bombas y motores, o también adecuación de sitios para tomas de agua desde el río.

El indicador Huella Hídrica demuestra la ventaja comparativa del manejo CPFA en relación al manejo Ic, ya que permite mayor aprovechamiento de la precipitación durante la interrupción de la inundación, posibilitando mayor uso del componente verde de la huella respecto al azul.

Financiamiento

Este trabajo fue subsidiado con: Proyecto CIAC 940189 INTA AUDEAS CONADEV Manejo sustentable del cultivo de arroz en sistemas productivos de las provincias de Santa Fe y de Entre Ríos"; Proyecto INTA PE-1505 - Uso y gestión eficiente del agua en sistemas de regadío; Proyecto: Sostenibilidad y huella hídrica de arroz en humedales santafesinos. Técnicas innovadoras de riego para incrementar la productividad del agua, financiado por Secretaría de Estado de Ciencia y Técnica, Pcia de Santa Fe (ASACTEI), convocatoria 2011; Proyecto CAI+D Universidad Nacional del Litoral Recursos hídricos y tierras vulnerables. Sostenibilidad de la producción agro-alimentaria en humedales de la Cuenca de Los Saladillos (Santa Fe, Argentina) financiado en la convocatoria 2013.

Agradecimientos

Se agradece a Gustavo Arguisain, Adrián Tabora y Juan Carlos Martín por la colaboración en los ensayos de campo.

Referencias Bibliográficas

ALLAN, J.A. (1998). Virtual water: a strategic resource. *Global solutions to regional deficits*. *Groundwater* 36 (4), 545-546, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-6584.1998.tb02825.x>

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *Roma: FAO*, 298(0).

ARGUISSAIN, G.G; PIRCHI, H.J; GARCIA, L. (2009). Sistemas de riego Alternativo para el cultivar Puita INTA CL – Evaluación de lote de producción. Resultados experimentales 2008-2009, Fundación Pro Arroz – INTA. Vol. XVIII: 77-78.

BEECHER, H.G; DUNN B.W.; THOMPSON, J.A.; HUMPHREYS, E.; MATHEWS, S.K.; TIMSINA, J. (2006). Effect of raised beds, irrigation and nitrógeno management on growth, water use and yield of rice in south-eastern Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, Melbourne, v.46, n.1, p.1363-1372.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C.(2006). *Manual de Irrigação*. 8.ed. Viçosa: UFV. 625p.

BISWAS, A.; MAILAPALLI, D. R.; RAGHUWANSHI, N. S. (2021). Consumptive water footprints, water use efficiencies and productivities of rice under alternate wetting and drying for Kharagpur, West Bengal, India. *Water Supply*, 21(6), 2935-2946.

BOLSA DE CEREALES DE ENTRE RÍOS. (2022). Informe SIBER arroz <https://www.bolsacer.org.ar/Fuentes/siberd.php?Id=1285>. Último acceso: abril 2022.

BOLSA DE COMERCIO DE SANTA FE. (2022). Base de datos agrícolas. <https://www.bcsf.com.ar/ces/base-datos/preview/7/base-de-datos-agricolas> Último acceso: abril 2022.

BOUMAN, B.A.M; LAMPAYAN, R.M.; TOUNG, T.P. (2007). Water management in irrigated rice: Coping with water scarcity. Los Baños: IRRI, 2007. 54p.

BOUMAN, B.A.M.; PENG, S.; CASTAÑEDA, A.R.; VISPERAS, R.M. (2005). Yield and water use of irrigated tropical aerobic rice systems. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v.74, n.2, p.87-105.

BOUMAN, B.A.M.; WOPEREIS, M.C.S.; KROPFF, M.J.; TEN BERGE, H.F.M.; TUON, T.P. (1994). Water use efficiency of flooded rice fields II. Percolation and seepage losses. *Agricultural Water Management*, v.26, n.4, p.291-304.

CARÑEL, G. (2011). Censo de productores arroceros. FUNDACIÓN PROARROZ. <https://proarroz.com.ar/static/presentaciones/>

- censo-sector-arrocero-provincia-de-entrecorrientes_75.pdf último acceso abril de 2022.
- CARRACELAS, G.; HORNBuckle, J.; ROSAS, J.; ROEL, A. (2019). Irrigation management strategies to increase water productivity in *Oryza sativa* (rice) in Uruguay. *Agricultural water management*, 222, 161-172.
- CARRIJO, D. R.; LUNDY, M. E.; LINQUIST, B. A. (2017). Rice yields and water use under alternate wetting and drying irrigation: A meta-analysis. *Field Crops Research*, 203, 173-180.
- CHAPAGAIN, A.K.; HOEKSTRA, A.Y. (2011). The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. *Ecological Economics*, Amsterdam, v.70, n.4, p.749-758.
- COUNCE, P.A.; TERRY, C.K.; ANDREW, J.M. (2000). A uniform, objective, and adaptive system for expressing Rice development. *Crop Science*, Madison, v.40, n.2, p.436-443.
- DAMIANO, F.; MARANO, R.P.; IMHOFF, S.C.; GHIBERTO, P.; PRATI, A. (2014). Caracterización suelo-ambiente para determinar riesgo de excesos hídricos en humedales antropizados. 2º Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras, Santa Fe, AR, 23 al 26 de setiembre.
- DE AVILA, L. A.; MARTINI, L. F. D.; MEZZOMO, R. F.; REFATTI, J. P.; CAMPOS, R.; CEZIMBRA, D. M.; MACHADO, S.L.; MASSEY, J.H; CARLESSO, R.; MARCHESAN, E. (2015). Rice water use efficiency and yield under continuous and intermittent irrigation. *Agronomy Journal*, 107(2), 442-448.
- DE PETRE, A.A.; BOSCHETTI, N.G. (2006). Características de los suelos cultivados con arroz en la provincia de Entre Ríos. En: *El arroz, su cultivo y sustentabilidad en Entre Ríos*. Benavides R.A. pp:205-219.
- DI RIENZO, J.; BALZARINI, M.; GONZALEZ, L.; CASANOVES, F.; TABLADA, M.; WALTER ROBLEDO, C. (2010). Infostat: software para análisis estadístico.
- DÍAZ, E.; LENZI, L.(2009). Evaluación de residuos de plaguicidas en suelos granos de arroz, y de la calidad del agua en taipas de Entre Ríos. Resultados experimentales. *Fund. PROARROZ* 18, 91-100.
- DÍAZ, E.; LENZI, L. (2010). Determinaciones residuos de plaguicidas en suelos aguas y granos en sistemas arroceros de Entre Ríos. Resultados experimentales. *Fund. PROARROZ* 19, 91-100.
- DUARTE, O.; DÍAZ, E.; LENZI, L.; VALENTI, R.; BENAVIDEZ, R. (2006). Capítulo III.7 Evaluación de la Eficiencia del Riego en un sistema Arrocero, en Benavidez R. (editor) *El Arroz. Su cultivo y sustentabilidad en Entre Ríos*. Editorial: Universidad Nacional de Entre Ríos (ISBN: 950-698-167-1) y Ediciones de la Universidad Nacional del Litoral (ISBN: 978-950-698-167-9) pp 419-433.
- FAISTEIN, G.; DÍAZ, E.; DUARTE, O. (2006). Estimación del requerimiento de agua del cultivo de arroz en Entre Ríos para la Campaña 2000- 2001. Libro: *El Arroz. Su cultivo y sustentabilidad en Entre Ríos*. Editorial: Universidad Nacional de Entre Ríos y Ediciones de la Universidad Nacional del Litoral. ISBN -10 Obra Completa: 950-698-167-1, ISBN -13 Obra Completa: 978-950-698-167-9 . Año de Edición: 2006. Pag: 435-450. Volumen: 2.
- FERNÁNDEZ, J. E.; ALCON, F.; DIAZ-ESPEJO, A.; HERNANDEZ-SANTANA, V.; CUEVAS, M. V. (2020). Water use indicators and economic analysis for on-farm irrigation decision: A case study of a super high density olive tree orchard. *Agricultural Water Management*, 237, 106074.
- FILIPPI, R.; MARANO, R. P.; ARGUISAIN, G. (2013). Evaluación económica y uso de agua de dos manejos de riego para el cultivo de arroz en Entre Ríos. *Anales del XXIVº Congreso Nacional del Agua.- Tomo I - 1º edición- ISSN.- 1853-7685*, San Juan, Argentina, octubre 2013.
- GRASSI C. (1987). *Diseño y Operación del Riego por superficie*. Caracas: CIDIAT. 415p.
- HSIAO, T. C.; STEDUTO, P.; FERERES, E. (2007). A systematic and quantitative approach to improve water use efficiency in agriculture. *Irrigation science*, 25(3), 209-231.
- HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K. (2006). Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption

- pattern. In *Integrated assessment of water resources and global change* (pp. 35-48). Springer, Dordrecht.
- HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K.; ALDAYA, M. M.; MEKONNEN, M. M. (2011). The water footprint assessment manual: Setting the global standard. Earthscan, London, pp. 224, ISBN: 978-1-84971- 279-8.
- HONG, L.; LI, Y.H.; DENG, L.; CHEN, C.D.; DAWE, D.; BARKER, R.(2001). Analysis of changes in water allocations and crop production in the Zhanghe Irrigation System and District, 1966–1998. *Water-Saving Irrigation for Rice*(Eds. R. Barker, YH Li and TP Tuong), 11-24.
- HUMPHREYS, E.; LEWIN L.G.; KHAN, S.; BEECHER, H.G.; LACY, J.M.; THOMPSON, J.A.; BATTEN, G.D.; BROWN A.; RUSSELL, C.A.; CHRISTEN, E.W.; DUNN, B.W. (2006). Integration of approaches to increasing water use efficiency in rice-based systems in southeast Australia. *Field Crops Research*, Amsterdam, v.97, n.1, p.19-33.
- INIA-INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRARIAS. (2005). Resultados experimentales arroz 2004-05. Tacuarembó, 2005. 72p.
- INTA-INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA. (2022). Visor GeoINTA. Suelos de la provincia de Santa Fe, esc. 1:50.000. <http://visor.geointa.inta.gov.ar/?p=96>. Último acceso: abril de 2022.
- ISLAM, S. M.; GAIHRE, Y. K.; ISLAM, M. R.; AKTER, M.; AL MAHMUD, A.; SINGH, U.; SANDER, B. O. (2020). Effects of water management on greenhouse gas emissions from farmers' rice fields in Bangladesh. *Science of the Total Environment*, 734, 139382.
- LENZI, M.L; DUARTE, O.C., DIAZ, E.L (2006). Recursos hídricos superficiales. En: *El arroz, su cultivo y sustentabilidad en Entre Ríos*. Benavides R.A. pp: 137-167
- Censo a productores arroceros 2016/17
- MARANO, R. P. (2014). Manejos da irrigação e da adubação na cultura de arroz (*Oryza sativa* L.) visando incrementar a eficiência do uso da água e do nitrogênio. Tese de Doutorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. doi:10.11606/T.11.2014.tde-10062014-104527. Acceso en 2019-03-26, de www.teses.usp.br.
- MARANO, R.P.; FOLEGATTI, M.; IMHOFF, S. (2014). Resposta produtiva do arroz (*Oryza sativa* L.) cultivado em diferentes agroecossistemas com manejos de água sem saturação do solo. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada* DOI: 10.7127/RBAI.v.8, nº. 2, p. 171 – 187.
- MARANO, R. P.; FILIPPI, R. A. (2015). Water Footprint in paddy rice systems. Its determination in the provinces of Santa Fe and Entre Ríos, Argentina. *Ecological indicators*, 56, 229-236. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.03.027>
- MUEMA, F. M.; HOME, P. G.; RAUDE, J. M. (2018). Application of benchmarking and principal component analysis in measuring performance of public irrigation schemes in Kenya. *Agriculture*, 8(10), 162.
- MUZIO, S.N.; MARANO, R.P. (2011). Evaluación de indicadores de desempeño de riego en el cultivo de arroz en el albardón costero santafesino. Proyecto Final para optar al grado de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional del Litoral 63 pp.
- PILATTI, M.A.; D'ANGELO, C.; MARANO, R.P.; PENSIERO, J.; POTENTE, H.; LÓPEZ, C. A. (2003). Ordenamiento Territorial de la cuenca de Los Saladillos. Estudio de prefactibilidad del uso actual y potencial de los recursos naturales. Centro de publicaciones UNL. 227 pp.
- QUINTERO, C.E. (2009). Factores limitantes para el crecimiento y productividad del arroz en Entre Ríos, Argentina. 2009. 167p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidad de Coruña, Coruña. España.
- QUINTERO,C.(2015).FertilizarNº32.<https://fertilizar.org.ar/wp-content/uploads/2021/01/2015-no-32-Fertilizacio%CC%81n-para-altos-rendimientos-de-arroz.pdf> Acceso abril 2022.
- RAMONELL, C.G.; MARCHETTI, Z.Y.; BARBERIS, I.M.; GIRAUDO, A.R.; BENZAQUÉN, L.; BLANCO, D.E.; BÓ, R.F.; KANDUS, P.; LINGUA, G.F.; MINOTTI, P.; QUINTANA, R.D.; SVERLIJ, S.; VIDAL, L.(Ed.). (2013). Inventario de los

- Humedales de Argentina. Sistemas de paisajes de humedales del Corredor Fluvial Paraná-Paraguay. Buenos Aires: Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. 380 pp.
- RICCETTO, S.; CAPURRO, M. C.; ROEL, Á. (2017). Estrategias para minimizar el consumo de agua del cultivo de arroz en Uruguay manteniendo su productividad. *Agrociencia (Uruguay)*, 21(1), 109-119.
- ROEL, A. (1999) Riego en arroz: Manejo eficiente de la inundación. *Boletín de divulgación*, v.67, n.33, 21p.
- TUJCHNEIDER, O.C; PEREZ, M.A; D'ELÍA, M.P; PARIS, M.C. (2006). Recursos hídricos subterráneos. En: *El arroz, su cultivo y sustentabilidad en Entre Ríos*. Benavides R.A. pp:125-136.
- VILLÓN, F; MARANO, R.P. (2022). Evaluación de la eficiencia de riego en cultivo de arroz utilizando métodos alternativos de irrigación. Proyecto Final para optar al grado de Ingeniero Agrónomo Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional del Litoral 41 pp.

Original recibido (01/06/2022)
Original aceptado (01/10/2022)