

# APORTES CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS DEL INIA A LAS **TRAYECTORIAS AGROECOLÓGICAS**

Editores: Georgina Paula García-Inza, José Paruelo y Roberto Zoppolo



# Capítulo 10

## Eficiencia en el uso del agua: estrategias de manejo del agua de riego

Álvaro Otero y Claudio García

### 1. Introducción

La demanda futura de agua dulce –a escala mundial– posiblemente aumente para satisfacer las necesidades de diferentes sectores de la sociedad: urbano, industrial, agropecuario y medioambiental (Fererres y Soriano, 2007). Algunas de las causas que contribuyen a este incremento están relacionadas con el mismo desarrollo de la sociedad, ya que aún hay millones de personas con acceso restringido al agua. También contribuye al incremento de esta demanda el aumento de la necesidad de alimentos y la competencia por una extensión de las urbanizaciones (Van Ittersum *et al.*, 2013).

Posiblemente, el mayor problema del agua dulce en el mundo sea su escasez (Jury y Vaux, 2005) y existe una gran incertidumbre sobre la calidad y cantidad del suministro de agua a las futuras generaciones. Simultáneamente, el aumento de la velocidad en el cambio climático global afecta la variabilidad de las precipitaciones y la temperatura, y, en definitiva, también la incertidumbre respecto de la disponibilidad y el almacenaje del agua (Mastrandrea *et al.*, 2010).

Globalmente, el uso del agua extraída (superficial y subterránea) se distribuye, en promedio, en el 70% para el sector agropecuario, el 19% para el sector industrial y el 11% para el sector doméstico. Particularmente en Uruguay, y en línea con la matriz productiva del país, el sector agropecuario concentra casi el 87% del uso del agua, mientras que el sector industrial solo significa el 2% y el doméstico, el 11% (Ciganda *et al.*, 2021; FAO-Aquastat, 2021).

Uruguay no escapa a este proceso global, aunque nuestra región pueda tener características climáticas propias de diferente intensidad. La distribución del uso del agua en Uruguay destaca la importancia y la responsabilidad del sector agropecuario respecto del cuidado del recurso hídrico. En este sentido, todo esfuerzo para mejorar e incorporar tecnologías que mejoren la eficiencia del uso del agua en cantidad y calidad es un esfuerzo que será no solo ampliamente valorado por esta generación, sino también por las futuras.

Las tecnologías de riego en Uruguay han sido una herramienta fundamental para el desarrollo de cadenas productivas de alto valor, como ser la producción de arroz, frutales, vid y cítricos, así como en la horticultura. En las últimas décadas ha comenzado a introducirse con éxito en cadenas de valor como la ganadería (pasturas) y cada vez con más frecuencia en las producciones agrícolas estivales.

El potencial de rendimiento (expresado por unidad de superficie) es el rendimiento logrado por un cultivo manejado sin limitantes de agua y nutrientes y con un control efectivo de los estreses bióticos y abióticos (Evans, 1993; Van Ittersum y Rabbinge, 1997). Sin embargo, en un escenario de escasez de agua es necesario maximizar el rendimiento en función del agua utilizada por el cultivo. Esta propuesta nos lleva al concepto de eficiencia en el uso del agua o, de manera quizás más específica, en la productividad del agua, que tiene una fuerte base agrícola y especialmente relacionada con tecnologías de riego (Kijne *et al.*, 2003; Zwart y Bastiaansen, 2004; Fan *et al.*, 2005), donde la productividad del agua (eficiencia) es definida como el rendimiento o ingreso neto por unidad de agua utilizada –evapotranspiración (ET)– por el cultivo (Kijne *et al.*, 2003).

Uruguay cuenta con una extensa red hidrográfica que, asociada al almacenaje y escurrimiento superficial de nuestros suelos, regula la cantidad del agua precipitada que termina en el mar (casi el 40%) (DINAGUAMVOTMA, citado por Failde *et al.*, 2013). Desde el punto de vista agrícola, los cultivos y pasturas regados se han desarrollado en las proximidades de importantes fuentes de agua. Sin embargo, en Uruguay no son muchas las fuentes de agua que están disponibles actualmente para la agricultura, ya sea por el bajo caudal de algunas corrientes superficiales, por estar limitados los permisos de extracción de agua para riego, o por una baja disponibilidad de agua en acuíferos subsuperficiales (Failde *et al.*, 2013).

La maximización de la eficiencia del uso del agua es de importancia central, desde la gestión del agua superficial en una cuenca y sus subsidiarias, pasando por el predio agropecuario, hasta la misma chacra de

cultivo. Las decisiones que llevan a un mayor aprovechamiento del agua comienzan con la cuantificación de la disponibilidad de agua para riego, siguen por la superficie de cultivo/pastura a regar y los volúmenes a aplicar, y llegan hasta el manejo de los excedentes hídricos.

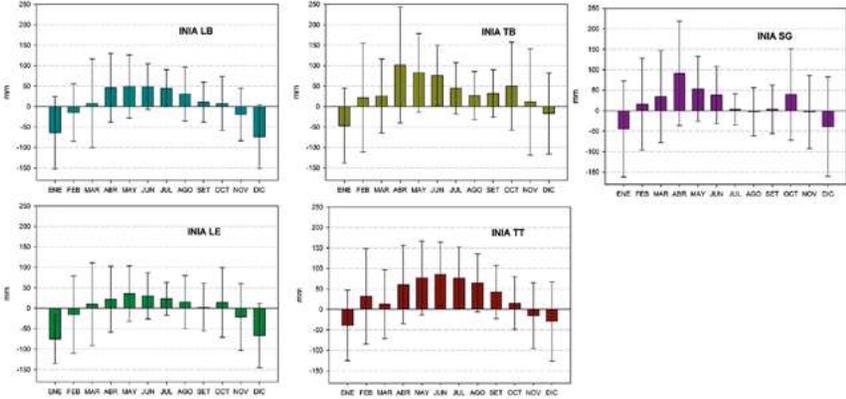
Dada una determinada priorización del uso del agua de las fuentes disponibles en el predio, la eficiencia del uso del agua se maximiza operando sobre el manejo agronómico del cultivo, de manera de alcanzar los rendimientos potenciales aprovechando al máximo la precipitación incidente y el agua aplicada.

En nuestras condiciones, la eficiencia del uso del agua está asociada también al costo de la energía: cada milímetro de agua aplicada al cultivo exige un consumo energético, cuya eficiencia está relacionada con el manejo del agua en el cultivo y el método de riego en uso.

## 2. Línea de base

La precipitación, la evapotranspiración y la fuente de agua para el riego son determinantes del método de riego, así como en el manejo del agua en el cultivo. En distintas áreas productivas de Uruguay es posible observar diferencias en las variables climáticas, sin embargo, estas diferencias no son de magnitud suficiente como para distinguir distintos tipos de clima dentro del territorio uruguayo. De acuerdo con la clasificación clásica de Köppen-Geiger (Peel *et al.*, 2007), Uruguay puede ser clasificado “Cfa”: subtropical húmedo con verano cálido y precipitación irregular (Bidegain y Caffera, 1997). Las precipitaciones totales medias anuales tienen su valor mínimo hacia el sur sobre las costas del Río de la Plata, con casi 1.000 mm, y su valor máximo hacia el noreste, en la frontera con Brasil, con 1.400 mm. Con estos valores medios de lluvia, no parecería necesaria *a priori* la aplicación de riego, pero su dispersión en el tiempo y en la intensidad hacen de la variabilidad un elemento meteorológico de primer orden en la agricultura. Se han determinado períodos frecuentes de déficit hídrico climático en todo el territorio nacional durante los meses de diciembre, enero y febrero (Otero *et al.*, 2017) (Figura 1). Estos períodos limitan el potencial de rendimiento de los cultivos y pasturas. La limitación que impone el recurso hídrico afecta la eficiencia de uso de otros recursos (nutrientes) y la sostenibilidad económica y social de distintas producciones.

**FIGURA 1. DIFERENCIA ENTRE PRECIPITACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN (PM-FAO56) ACUMULADA MENSUAL (MM). ESTACIONES EXPERIMENTALES DEL INIA, PERÍODO 1990-2017**



Fuente: Otero et al. (2017).

Dado el grado de incertidumbre en la pluviometría, el uso de agua para riego parecería una alternativa atractiva e imprescindible. Sin embargo, la adopción de técnicas de riego solo se ha incrementado en los últimos años, excepto por el cultivo de arroz y de caña de azúcar en donde el riego se utiliza en el 100% de la superficie plantada (MGAP-DIEA, 2011, 2016). Esta aparente falta de adopción tecnológica podría explicarse por la baja capacitación en tecnologías de riego de los técnicos agropecuarios y productores, así como por la relativa escasez de fuentes primarias de agua y la falta de criterios precisos –provenientes de la investigación– respecto de cuánta agua aplicar a los diferentes cultivos y cuándo (García y Otero, 2020).

La maximización de la eficiencia en el uso del agua (de riego y de la precipitación) está directamente relacionada con una correcta planificación del riego: la minimización del suplemento de agua de riego debe llegar hasta el punto de alcanzar los máximos rendimientos. Para llevar a cabo esta tarea se requiere: a) un diseño del sistema de riego adaptado a las condiciones agroecológicas y energéticas de Uruguay, b) una medición del consumo de agua del cultivo y/o del contenido de agua del suelo, y c) una aplicación del riego basada en la etapa fenológica del cultivo (período crítico) y en umbrales de contenido en agua del suelo.

Si bien ha habido durante los últimos 15 años una evolución favorable en el diseño de los sistemas de riego por gravedad y presurizados, aún se cuenta con sistemas muy poco apropiados, en su diseño, para las condiciones locales (Morales *et al.*, 2014). Las características físicas de nuestros suelos, en cuanto a plasticidad e infiltración, asociadas a la intensidad y frecuencia de las lluvias, requieren un mayor ajuste de los equipos de riego, especialmente los presurizados. De esta forma, se lograría minimizar el deterioro de los suelos por compactación, formación de huellas, aumento de la erosión superficial en los extremos del equipo de riego, entre otros inconvenientes, además de obtener un efecto directo en la eficiencia de uso del agua.

Los métodos o equipos de medición del contenido de agua del suelo son muy poco frecuentes en los predios regados, especialmente en aquellos cultivos que usan grandes volúmenes de agua. Ante la ausencia de evaluaciones cuantitativas, es habitual que en estos predios se utilice la experiencia personal, basada en observaciones visuales del cultivo y tacto del contenido de agua en el suelo por personal entrenado.

El riego suplementario basado en umbrales de agua en el suelo de acuerdo con la fenología del cultivo (período crítico) en general se encuentra ausente en las decisiones diarias de riego, lo que dificulta enormemente no solo la correcta gestión del riego, sino también la mejora en la utilización del agua de riego, ya sea por déficit o por excesos.

### **3. Balance hídrico como información clave para la toma de decisiones**

La propuesta tecnológica para mejorar la eficiencia en el uso del agua en los cultivos y pasturas regados en Uruguay, maximizando la utilización del agua de lluvia y minimizando el mal uso de las tecnologías de riego, consta de dos etapas.

- a) La correcta implementación del riego suplementario está basada en la elección del mejor período a regar con relación a la etapa fenológica del cultivo-pastura (período crítico) y en la determinación de umbrales precisos del contenido de agua del suelo, a los efectos de maximizar el rendimiento potencial y mejorar o aumentar la eficiencia del recurso hídrico (con el menor uso de agua de riego posible) (Capurro *et al.*, 2017; Montoya *et al.*, 2017; Montoya y Otero, 2019; García, 2017; Carracelas *et al.*, 2019; Bourdin *et al.*, 2015).

- b) La utilización del balance hídrico del suelo (BHS), como herramienta de monitoreo, planificación y pronóstico de la evolución del contenido de agua del suelo en los cultivos y pasturas a nivel de la operación de riego. Concretamente, para esta etapa es posible usar la aplicación “GESIR” (Gestor inteligente del riego), disponible en la página web del INIA. Esta aplicación es de uso público y posibilita a productores y técnicos la planificación del riego respecto de cuándo y cuánto regar, según las características propias de cada operación de riego, localización en Uruguay, tipo de suelo y cultivo o pastura a regar. GESIR cuenta con la incorporación de un pronóstico climático nacional de los siete días futuros, basado en el *Global Forecast System*, de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos.

#### **4. Aportes de la tecnología a las trayectorias agroecológicas**

Como fue mencionado anteriormente, el régimen pluviométrico en Uruguay posibilita la obtención de rendimientos medios aceptables y altos en algunas zonas agrícolas, pero con una muy elevada variabilidad interanual. El riego es clave para estabilizar rendimientos, un aspecto central de la sostenibilidad social y económica. El logro de rendimientos potenciales sostenidos en el tiempo en cada ambiente agroecológico, a través de mejorar la eficiencia de uso del agua de riego, es un aspecto central en una transición agroecológica de sistemas intensificados. La mayor eficiencia en el uso del agua permite, a su vez, un mejor uso de los insumos y una reducción en la aplicación de productos sintéticos por unidad de producto agrícola o pecuario alcanzado. La mejora en la estabilidad y el volumen de producción, si está acompañada de un aumento en la eficiencia en el uso del agua (precipitación o riego), suele minimizar la escorrentía y el movimiento de nutrientes y sedimentos hacia los cursos y cuerpos de agua. El aumento en la productividad *per se* no debería ir en detrimento de la calidad del agua u otras externalidades indeseables en los ecosistemas agropecuarios. En el camino de la transición agroecológica existe un delicado balance en los sistemas agrícolas donde, el aumento sostenido de la productividad está basado en la mejora de la eficiencia del uso de recursos naturales (productividad del agua, nutrientes, etc.) y no en el aumento de la productividad física alcanzado por un exceso

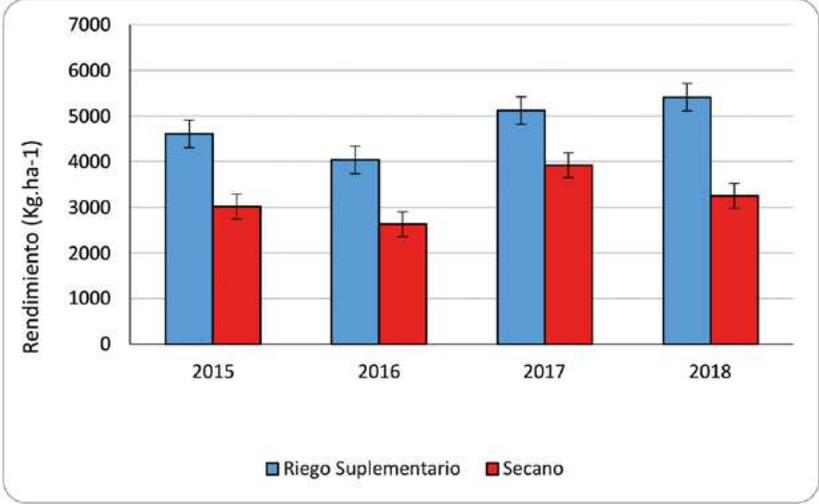
de recursos como el agua y nutrientes en forma poco eficiente. Este delicado balance –cuando se conoce– permite a los sistemas de alta producción (biomasa extraída) mantener contenidos altos de carbono en el suelo, logrando un mayor secuestro de carbono, lo que también promueve una mayor biodiversidad del suelo.

## **5. Efectos de las láminas de riego aplicadas en los rendimientos entre años en cultivos y pasturas de largo plazo: curvas de respuesta**

La variabilidad climática en los meses estivales, asociada al bajo almacenaje de agua en la mayoría de los suelos del país, hace que se incremente la variabilidad del rendimiento obtenido en los cultivos en secano, reduciendo la sostenibilidad económica y aumentando la vulnerabilidad de los sistemas agropecuarios. Esto es particularmente agudo en suelos de menor capacidad de almacenaje de agua y multiplica las probabilidades de estrés hídrico de los cultivos (Methol *et al.*, 2021).

El aspecto más importante, para mejorar la relación entre la productividad del cultivo/pastura y la cantidad de agua utilizada en el riego, es la determinación de umbrales críticos del contenido de agua en el suelo. Estos umbrales marcan el mínimo contenido de agua en el suelo que podemos alcanzar sin que se vean afectados el crecimiento y/o el rendimiento del cultivo según cuál sea el umbral utilizado. Permiten identificar la ocurrencia de estrés hídrico en cada fase fenológica y definir sobre bases objetivas la oportunidad y cantidad de riego suplementario que maximice el uso del agua de lluvia. El manejo de estos criterios de aplicación de agua de riego, en conjunto con métodos de BHS, permitió obtener consecutivamente rendimientos comerciales altos en soja, en situaciones de suelo con limitantes en la exploración radicular en el área de Salto (Figura 2). Como la relación entre la evapotranspiración y la pluviometría no es la misma en las diferentes etapas fenológicas del cultivo y entre años, el consumo de agua de riego también va a ser diferente.

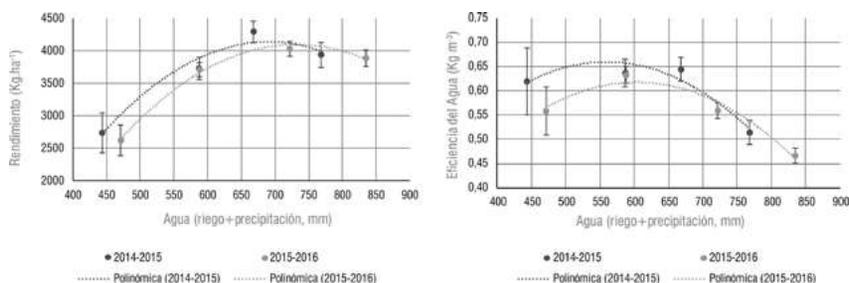
**FIGURA 2.** EFECTO DEL RIEGO SUPLEMENTARIO EN EL RENDIMIENTO DE SOJA ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), EN UN AMBIENTE CON SUELOS CON LIMITANTES FÍSICAS DE EXPLORACIÓN RADICULAR EN URUGUAY



Fuente: *Elaboración propia.*

En estas condiciones agroecológicas de producción, cantidades de agua (precipitación + riego) superiores a los 650 mm, utilizadas durante todo el ciclo productivo de la soja, no mejoran el rendimiento obtenido y, en consecuencia, la eficiencia en el uso del agua cae significativamente, con volúmenes de agua superiores a 650 mm, en el área de Salto (Figura 3). También se puede apreciar que la eficiencia de utilización del agua (precipitación + riego suplementario) mejora o permanece similar con relación a la productividad del agua alcanzada solo con el agua de lluvia (450 mm) (Figura 3, derecha).

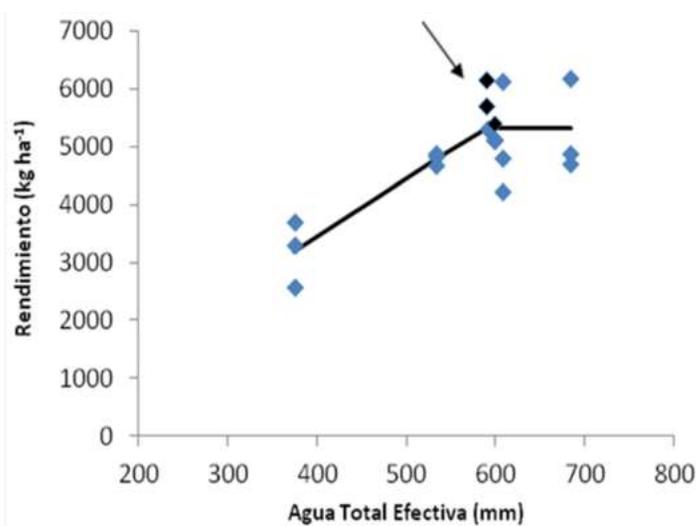
**FIGURA 3.** RESPUESTA DEL RENDIMIENTO DE SOJA A LA LÁMINA DE AGUA (IZQUIERDA) Y EFICIENCIA DEL AGUA POR EL CULTIVO (DERECHA)



Fuente: Montoya et al. (2017).

Relaciones similares se obtuvieron en ensayos en INIA La Estanzuela en Colonia (Capurro *et al.*, 2017), en suelos con mayor capacidad de exploración radicular y mayor almacenaje de agua en el perfil, donde se alcanzó un *plateau* de rendimiento a los 600 mm de agua efectiva total en el cultivo de soja (Figura 4).

**FIGURA 4.** RELACIÓN DEL RENDIMIENTO DE SOJA CON LA LÁMINA EFECTIVA DE AGUA DURANTE TODO EL CICLO (COLONIA, URUGUAY)



Fuente: Capurro et al. (2017).

El rendimiento potencial de los cultivos (ejemplo soja) en condiciones experimentales, con un manejo detallado del riego, permitió alcanzar niveles de hasta 7.000 kg ha<sup>-1</sup> en Paysandú (Giménez, 2014), 6.000 kg ha<sup>-1</sup> en Salto con suelos limitantes (Montoya *et al.*, 2017) y 7.500 kg ha<sup>-1</sup> en Colonia (Ceretta y Sawchik, 2006; Capurro *et al.*, 2017). Sin embargo, el rendimiento promedio comercial alcanzable está por debajo de estos valores. Los buenos resultados obtenidos se explican, no solo por el efecto directo del riego suplementario, sino también por la correcta elección del cultivar, el manejo previo del cultivo, de la densidad y sanidad, entre otros factores. Las experiencias productivas bajo riego manejadas con criterios de BHS o similares han permitido un mejor uso del agua de riego y, por sobre todo, aproximarse mucho a los valores potenciales de producción.

En el caso del maíz para grano bajo riego en condiciones comerciales, con criterios de riego suplementario semejantes entre años, vemos el efecto directo de la variación de la demanda atmosférica, del aporte de la precipitación y de las necesidades de riego entre los diferentes años. El coeficiente de variación (cv) del rendimiento de grano entre años es de 13% en el período 2007-2010. La variación del volumen de riego aplicado entre años es bastante mayor (cv: 40%), asociada a la variabilidad de la precipitación, lo que produce una importante variación en la eficiencia del agua de riego entre años (Tabla 1) (García, 2010), como expresión directa de la eficiencia de uso del agua por el cultivo.

**TABLA 1.** VARIACIÓN ENTRE AÑOS DEL RENDIMIENTO DE GRANO Y DE LA PRODUCTIVIDAD DEL AGUA EN PREDIOS COMERCIALES, EN EL CULTIVO DE MAÍZ BAJO RIEGO (2007-2010)

Nº sitio	Periodo de cultivo	Rendimiento de grano de maíz	Lámina de riego aplicada (mm)	Precipitaciones registradas (mm)	Evapotranspiración del cultivo (Penman Monteith)	Eficiencia del uso del agua
		(kg ha <sup>-1</sup> )			(mm)	(kg . ha <sup>-1</sup> . mm <sup>-1</sup> )
1	08-10-2006 al 24-01-2007	10190	172	456	352	16,2
2	04-11-2007 al 28-02-2008	8500	439	280	540	11,8
3	14-11-2007 al 01-03-2008	10300	306	156	396	22,3
4	04-11-2007 al 02-03-2008	9200	380	171	423	16,7
5	15-09-2008 al 01-03-2009	10500	600	292	572	11,8
6	24-09-2008 al 23-01-2009	13100	420	100	408	25,2
7	19-09-2008 al 01-02-2009	9400	512	119	517	14,9
8	18-12-2009 al 30-03-2010	10636	154	728	391	12,1
9	4-12-2009 al 29-03-2010	11000	194	728	434	11,9

Fuente: García (2010).

Los resultados en manejo del riego en pasturas a lo largo de 6 años de investigación muestran un promedio de producción de materia seca de  $13.656 \text{ kg ha}^{-1}$ , con un coeficiente de variación del orden del 13% (Tabla 2). La producción de carne en esas mismas áreas regadas presenta un promedio de  $833 \text{ kg ha}^{-1}$ , con un coeficiente de variación del 28%. Sin embargo, si bien todos los años se debió suplementar con riego, la lámina promedio aplicada fue de 313 mm y con una variación entre años del 65% (Formoso y García, 2017). En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos en los últimos 6 ejercicios de producción de carne y materia seca en pasturas regadas por riego por melgas (superficie) y la cantidad de agua aplicada en los diferentes años durante la zafra de riego entre los meses de octubre y marzo.

**TABLA 2.** RESPUESTAS PRODUCTIVAS DEL MANEJO DEL RIEGO EN PASTURAS DURANTE UN PERÍODO DE 6 AÑOS (2014 A 2020)

Año	Producción de materia seca	Producción de carne	Lámina de riego	Eficiencia del uso del agua
	$\text{kg ha}^{-1}$	$\text{kg ha}^{-1}$	mm	$\text{kg ha}^{-1}.\text{mm}^{-1}$
14-15	10632	432	s/d	
15-16	13501	755	273	49,5
16-17	12788	1087	170	75,2
17-18	15724	784	737	21,3
18-19	15293	911	118	129,6
19-20	14031	1031	357	39,3
promedio	13656	833	313	43,6

\*s/d: sin dato.

Fuente: Elaboración propia.

## 6. Conclusiones

En el marco de la construcción de sistemas agroecológicos, la eficiencia del uso de los recursos hídricos es un concepto importante para tener en cuenta en el diseño de los sistemas productivos actuales y futuros, para que estos sean sostenibles en el largo plazo.

El manejo del riego suplementario en Uruguay requiere de herramientas y criterios que faciliten su gestión y que mejoren el camino hacia sistemas agroecológicos. En este sentido, simultáneamente a la búsqueda del aumento de la producción (vegetal o animal), se busca la sostenibilidad productiva interanual, a través de un uso más eficiente de los recursos hídricos disponibles.

La brecha entre el potencial de rendimiento de los cultivos y pasturas bajo riego y los resultados obtenidos a nivel comercial en secano es muy grande. Es por esta razón que el uso eficiente del agua a nivel predial y la posibilidad de expansión de áreas de riego en el país tienen un potencial muy importante para conseguir altas producciones y aumentar la sostenibilidad de los sistemas productivos, minimizando los impactos sociales adversos.

Esta brecha puede ser reducida en forma significativa, mediante una mejor gestión y planificación del riego, con herramientas como el GESIR o similares, permitiendo el ahorro de agua en el riego y de energía en su aplicación, maximizando el rendimiento y minimizando los posibles impactos negativos en el ambiente por un mal uso de diferentes tecnologías del riego.

## Bibliografía

**Bidegain, M. y Caffera, R.M.**

(1997), *Clima del Uruguay*. Red Académica Uruguaya. Universidad de la República. Disponible en: < [https://www.rau.edu.uy/uruguay/geografia/Uy\\_c-info.htm](https://www.rau.edu.uy/uruguay/geografia/Uy_c-info.htm)>. Último acceso abril 2020.

**Bourdin Medici, A., Franco Fraguas Souto, J., Burgos y Valiente, M.**

(2015), *Respuesta física al riego suplementario y desarrollo de tecnologías de riego por melgas en pasturas artificiales*. Tesis de grado, Universidad de la República (Uruguay), Facultad de Agronomía.

**Capurro, M. C., Beretta, A., García, C., Sawchik, J. y Puppo L.**

(2017), “Rendimiento de la soja en respuesta a distintas dosis y momentos de riego”, en *Agrociencia Uruguay*, 21(2), pp. 65-76 [Internet] [citado el 24 de julio de 2019].

**Carracelas, G., Hornbuckle, J., Rosasa, J. y Roel, A.**

(2019), “Irrigation management strategies to increase water productivity in *Oryza sativa* (rice) in Uruguay”, en *Agricultural Water Management*, 222, pp. 161-172.

**Ceretta, S. y Vilario, D.**

(2002), *Adaptación de cultivares de soja en Uruguay*, Serie de Difusión 297, INIA, pp. 44-52.

**Ceretta, S. y Sawchik, J.**

(2006), *Soja: Grupos de madurez y ambientes productivos del litoral oeste: Análisis preliminar de los resultados experimentales de tres años de funcionamiento del Convenio AUSID-CALMER-INIA*. Serie Actividades de Difusión, INIA, 472 pp.

**Ciganda, V., García, C. y Otero, A.**

(2021), “Intensificación del uso del agua: el riego suplementario y las oportunidades de contribuir al medio ambiente”, en *Revista INIA*, 65, junio, pp. 80-84.

**Evans, L. T.**

(1993), *Crop Evolution, Adaptation, and Yield*, Cambridge University Press, Cambridge (Reino Unido).

**Failde, A., Peixoto, C. y Estol, E.**

(2013), *Estudio sobre riego agropecuario en Uruguay. Informe final*, FAO-Red Mercosur en apoyo a OPYP-AMGAP.

**Fan, T., Stewart, B. A., Payne, W. A., Wang, Y., Song, S., Luo, J. y Robinson, C. A.**

(2005), “Supplemental irrigation and water: yield relationships for plasticulture crops in the loess plateau of China”, en *Agronomy Journal*, 97, pp. 177-188.

**FAO**

(2021), *Núcleo de Base de Datos principal de AQUASTAT*, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [Consulta: 18 de mayo de 2021].

**Fereres, E. y Soriano, M. A.**

(2007), “Deficit irrigation for reducing agricultural water use”, en *Journal of Experimental Botany*, v. 58, 2, pp. 147-159.

**Formoso, D. y García, C.**

(2017), *Producción intensiva de carne en pasturas regadas con pivot central*, Serie Técnica 231, INIA, ISBN 978-9974-38-374-6.

**García, C.**

(2010), “Estrategias para la incorporación del riego en sistemas de producción extensivos”, en I Seminario Internacional de riego: Potencial del riego extensivo en cultivos y pasturas, Montevideo (Uruguay), INIA, 2010, 207 pp. INIA, PROCISUR-IICA, UDELAR, Facultad de Agronomía, Grupo de Desarrollo del Riego.

**García, C.**

(2017), “Balance hídrico: control y programación del riego en pasturas”, en Formoso, D. y García, C. (eds.), *Producción intensiva de carne en pasturas regadas con pivot central*, Serie Técnica 231, INIA, Montevideo, pp. 23-30.

**García, C. y Otero, A.**

(2020), “¿Es una alternativa la utilización de riego en el sistema agropecuario de Uruguay?”, en Lineu Neiva Rodrigues y Daniele Zaccaria (eds.), *Agricultura irrigada. Um breve olh*, INOVAGRI, Fortaleza (Brasil), pp. 132-137.

**Giménez, L.**

(2014), “Efecto de las deficiencias hídricas en diferentes etapas de desarrollo sobre el rendimiento de soja”, en *Agrociencia Uruguaya*, v. 18, 1, pp. 53-64.

**Giménez, L., Paredes, P. y Pereira, L. S.**

(2017), “Water use and yield of soybean under various irrigation regimes and

severe water stress. Application of AquaCrop and SIMDualKc models”, en *Water* (Switzerland), 9(6).

**Jury, W. A. y Vaux, Jr. H.**

(2005), “The role of science in solving the world’s emerging water problems”, en *Proceedings of the National Academy of Sciences* (EE.UU.), 102, 15715-15720.

**Kijne, J. W., Barker, R. y Molden, D. J.**

(2003), *Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement*, CABI\_IWMI, Wallingford (Reino Unido).

**Mastrandrea, M. D., Field, C. B., Stocker, T. F., Edenhofer, O., Ebi, K. L., Frame, D. J., Held, H., Kriegler, E., Mach, K. J., Matschoss, P.R., Plattner, G. K., Yohe, G.W. y Zwiers, F. W.**

(2010), *Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties*, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Disponible en: <<http://www.ipcc.ch>>.

**Methol, M., Cortelezzi, A., Tiscornia, G. y Petraglia, C.**

(2021). Estimación de la probabilidad de ocurrencia de diferentes niveles de déficit hídrico en cultivos de verano (soja, maíz y sorgo. MGAP-INIA. pp 6. Montevideo, Uruguay. Disponible en: <<http://www.inia.uy/Documentos/Públicos/INIA%20Las%20Brujas/GRAS/RiesgoHidricoCultivos-Metodologia.pdf>>.

**MGAP-DIEA. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias**

(2011), *Censo General Agropecuario*. pp. 142. Montevideo. Uruguay.

**MGAP-DIEA. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias**

(2016), *Anuario OPYPA*. pp. 580. Montevideo. Uruguay.

**Montoya, F., García, C., Pintos, F. y Otero, A.**

(2017), “Effects of different irrigation regimes on the growth and yield of irrigated soybean in temperate humid climatic conditions”, en *Agric. Water Manag.* N° 193, pp. 30-45.

**Montoya, F. y Otero, A.**

(2019), *Is Irrigating Soybean Profitable In Uruguay? A Modeling Approach*. *Agronomy Journal*. 111 (2), p. 749.

**Morales, P., García, M., García, C., Beretta, A., Moreno, G. y Gamio, G.**

(2014), “Pivotes en Uruguay: evaluación de su funcionamiento”, en Giménez, L., Puppo, L., Bentancor, L., Hayashi, R., Sawchik, J. y García, C. (eds.), *Riego en cultivos y pasturas*. III Seminario Internacional, 2014, Paysandú (Uruguay), INIA, Montevideo, pp. 67-76.

**Otero, A., Montoya, F. y García, C.**

(2017), *Programación del riego*, Serie Técnica 232, INIA, p. 68.

**Peel, M. C., Finlayson, B. L. y McMahon, T. A.**

(2007), “Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification”, en *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, N° 11, pp. 1633-1644. Disponible en: <<https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>>.

**Terra, J., Cantou, G., Oxley, M., Furtado, I., Bordagarri, A. y Sawchik, J.** (2012), *Potencial productivo del cultivo de soja sin limitantes de agua*, Serie de Actividades de Difusión 713, INIA, pp. 19-21.

**Van Ittersum, M. K. y Rabbinge, R.**

(1997), “Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations”, en *Field Crops Research*, v. 52, 3, pp. 197-208.

**Van Ittersum, M. K., Kassman, G., Cassman, P., Grassini, J. W., Tittonell, P. y Hochman, Z.**

(2013), “Yield gap analysis with local to global relevance—A review”, en *Field Crops Research*, v. 143, pp. 4-17.

**Zwart, S. J. y Bastiaansen, W. G. M.**

(2004), “Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize”, en *Agric. Water Manag. J.*, 69, pp. 115-33.