



# Estrategias de riego para maximizar rendimiento y eficiencia de uso del agua en cultivos de maíz y soja

Foto: Federico Rovegno

## Federico Rovegno

Ing. Agr. Ayudante G. D. Ecofisiología y manejo de cultivos anuales. Estación Experimental "Dr. Mario A. Cassinoni" (EEMAC) - Facultad de Agronomía, Universidad de la República. federovegno9@gmail.com

## Luis Giménez

Ing. Agr. (Dr.) Prof. Agr. G. D. Ecofisiología y manejo de cultivos anuales. Estación Experimental "Dr. Mario A. Cassinoni" (EEMAC) - Facultad de Agronomía, Universidad de la República. kapoexe@fagro.edu.uy

## 1. INTRODUCCIÓN

Maíz y soja son los cultivos de verano de mayor importancia en el Uruguay. Bajo esta condición de producción logran rendimientos tres veces menores a los potenciales registrados en nuestro país (Giménez, 2014; DIEA, 2017; Capurro, 2016). La evolución de sus rendimientos, además, presentan un estancamiento y elevada variabilidad interanual, debido principalmente a la escasa y variable disponibilidad hídrica (García, 2009). Esta es consecuencia de la baja capacidad de almacenaje de agua de los suelos, en relación a las necesidades del cultivo, y la variabilidad del régimen de lluvias, lo que provoca que deficiencias hídricas, más o menos prolongadas, sean un fenómeno frecuente (Giménez *et al.*, 2010).

Tal es así que en la zafra 2017-18, en la cual se registraron deficiencias hídricas severas, el rendimiento promedio del cultivo de soja fue de 1.214 kg ha<sup>-1</sup>, es decir 59 % inferior al rendimiento del ciclo anterior. La zafra 2016-17 se caracterizó por su buena disponibilidad hídrica durante el ciclo del cultivo, lo que permitió lograr el mayor rendimiento promedio registrado en nuestro país, a saber 2.951 kg.ha<sup>-1</sup> (MGAP. DIEA, 2018).

Similar comportamiento tuvo maíz, cuyo el rendimiento promedio nacional en la zafra 2017-18 se estimó en 4.340 kg.ha<sup>-1</sup>, rendimiento 40 % menor al alcanzado en la zafra anterior, en la que también se registró el máximo rendimiento promedio histórico con 7.135 kg.ha<sup>-1</sup> (MGAP. DIEA, 2018). Esta variabilidad es la que justifica el riego suplementario como alternativa para corregir la principal limitante ambiental de los actuales sistemas de producción agrícola, incrementando los rendimientos y disminuyendo su variabilidad (Agorio *et al.*, 1988). Sin embargo, solo el 14 % del área sembrada a nivel nacional con maíz se encuentra bajo riego. En estas condiciones se han registrado rendimientos de 12 a 14 Mg.ha<sup>-1</sup> a escala comercial, duplicando al rendimiento promedio obtenido en secano en la zafra 2017-18. En el caso de la soja, se ha regado solamente un 1,2 % del área sembrada. En la zafra 2017-2018 el rendimiento promedio registrado fue 2,8 Mg.ha<sup>-1</sup>, el cual duplicó al promedio obtenido bajo secano, sin embargo

bajo condiciones de riego se han registrado rendimientos de hasta 7 Mg.ha<sup>-1</sup> (MGAP. DIEA, 2018).

Según Fereres y Soriano (2007) la estrategia general ha sido la de regar para satisfacer completamente la evapotranspiración (ET). Este enfoque ha sido cuestionado, sobre todo en regiones donde el agua es escasa, ya que requiere grandes cantidades de agua y los efectos negativos que esto tiene sobre la naturaleza, como por ejemplo los contenidos de sales depositados en el suelo a traes del agua de riego. Es por esto que según dichos autores es necesario un cambio en la gestión del riego.

Giménez (2012) asegura que, para promover y mejorar la adopción de la tecnología de riego suplementario, es preciso generar información que permita valorar los costos e inversión que implica, aumentando la eficiencia del uso del agua de riego. Es por ello que surgen como alternativas a la tecnología del riego total, el riego deficitario (RD) y el riego deficitario controlado (RDC), basadas en una menor utilización de volúmenes de agua de riego. Sus objetivos son mejorar el uso de agua por los cultivos y aumentar así la eficiencia de la gestión agrícola (English, 1990; Rosadi *et al.*, 2005; Fereres y Soriano, 2007; Torrión *et al.*, 2015, Capurro, 2016).

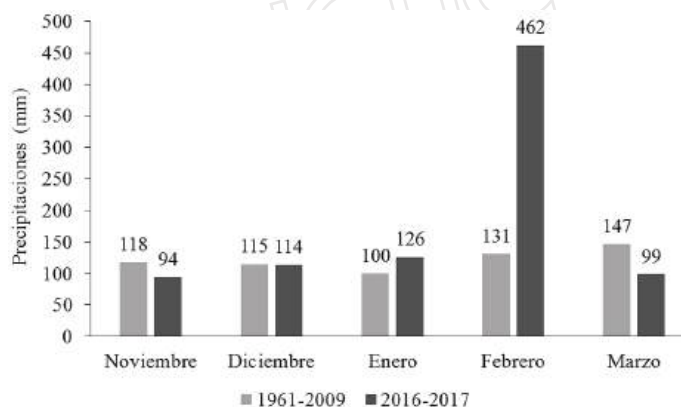
La información local sobre el manejo del agua dentro de una estrategia de riego suplementario en diferentes etapas fisiológicas de los cultivos, y del riego deficitario controlado, es escasa. En este trabajo se resumen resultados generados en el proyecto *Riego deficitario controlado en cultivos de maíz y soja*, cuyo objetivo fue estudiar los efectos de diferentes estrategias de riego sobre los rendimientos de ambos cultivos y sus componentes, con el propósito de entender y cuantificar las respuestas productivas frente a diferentes condiciones hídricas.

## 2. ESTRATEGIA

Los ensayos fueron realizados en el campo experimental de riego de la Estación Experimental "Dr. Mario A. Cassinoni" (EEMAC) de la Facultad de Agronomía, ubicado en el departamento de Paysandú 32°22' S y 58°03' O, en el año agrícola 2016-17, sobre un Brunosol subéutrico típico perteneciente a la unidad San Manuel, según la carta de reconocimiento de suelos del Uruguay (Altamirano *et al.*, 1976), con una capacidad de almacenamiento de agua disponible de 111 mm, calculado a través de la diferencia entre capacidad de campo y punto de marchitez permanente del campo experimental medido *in situ*. El manejo de los cultivos se resume en el Cuadro 1.

Las precipitaciones mensuales registradas en la estación meteorológica automática de la EEMAC durante las etapas de los cultivos fueron significativamente superiores en los meses de enero y febrero, con 126 y 462 mm respectivamente, en comparación con los valores promedio del período histórico 1961-2009, registradas en Paysandú (en base a datos proporcionados por la entonces Dirección Nacional de Meteorología del Ministerio de Defensa Nacional). A su vez se puede

observar que las precipitaciones (PP) de noviembre y marzo estuvieron por debajo de la media histórica (Figura 1).



**Figura 1.** Perfil de resistencia mecánica a la penetración del suelo hasta 40 cm de profundidad para descompactado sub-superficialmente (D) y sin descompactar (SD) en dos sitios (2 y 3). Determinaciones realizadas 6 meses (primer cultivo) después de aplicado el tratamiento D. Fuente: Mozaquatro y Raffo, 2016; Ferreira y Rostan, 2017.

Las estrategias de riego evaluadas fueron conformadas con el objetivo de generar diferencias en la disponibilidad hídricas en diferentes etapas fisiológicas. La referencia es un tratamiento definido como bienestar hídrico (BH), que implica una condición sin déficit hídrico durante todo el ciclo, contrastado con déficits hídricos generados en distintas etapas fenológicas. Estas fueron establecidas en función del conocimiento de los períodos críticos para la determinación del rendimiento por unidad de superficie (PC) de cada cultivo, 15 días antes y 15 días después del inicio de la floración femenina en maíz y la fase de llenado de grano en el caso de la soja (R4 a R6).

Las estrategias de riego evaluadas fueron cinco (Figura 2):

- BH durante todo el ciclo (no se presenta en la Figura).
- Riego deficitario controlado (RDC) en PC, contando con deficiencias hídricas en los períodos no críticos (PNC).
- RDC en fase vegetativa y PC, induciendo deficiencias hídricas en la floración (F) en soja y llenado de granos en maíz (LG).
- RDC en PC y floración (FI) en soja. En el caso del maíz, RDC en PC y LG. Induciendo deficiencias hídricas en la fase vegetativa de ambos cultivos.
- RD, 50% del riego del BH (no se presenta en la figura).

El riego se implementó a través de un sistema de goteo con cintas colocadas en cada surco, con goteros distanciados entre sí a 0,3 m con un caudal de 1,6 l.h<sup>-1</sup>.

En la bibliografía internacional (Shaw, 1974; Muchow y Sinclair, 1990; Andrade y Sadras, 2000b), en ensayos realizados, se han encontrado umbrales de agotamiento de agua de suelo por el cual por debajo del mismo los cultivos comienzan a sufrir estrés hídrico, agotamientos del 40 % del AD en el PC y del 60 % en los PNC. Por lo tanto en el presente ensayo durante los períodos manejados bajo BH, el riego se inició cuando el

**Cuadro 1.** Características del manejo de los ensayos evaluados.

Cultivo	Fecha de siembra	Distancia entre hileras (m)	Cultivar	Población lograda (pl.ha <sup>-1</sup> )	Fertilización de N a V6 (kg de N.ha <sup>-1</sup> )	Fertilización de N a V10 (kg de N.ha <sup>-1</sup> )
Soja	11/07/2016	0,4	DM 4915 IPRO	350000	--	--
Maíz	28-10-16	0,7	SYN 7822	100000	150	150

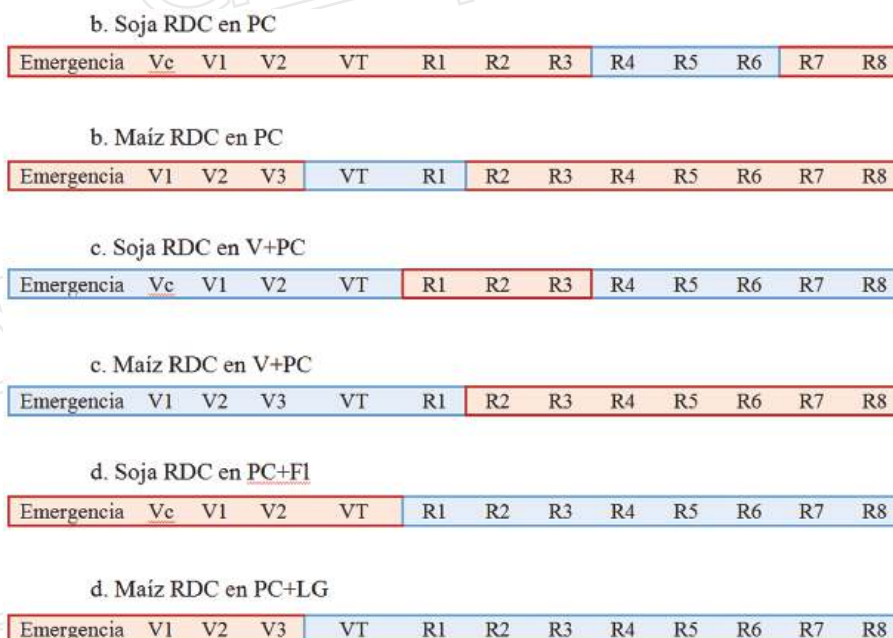


Figura 2. Esquema de los ciclos de ambos cultivos indicando en color rojo los períodos con deficiencias hídricas y en color azul los manejados bajo BH, según corresponda a cada tratamiento.

porcentaje de AD descendió hasta 60 % durante el PC y en los PNC hasta 40 % y con el objetivo de alcanzar el 90 % de AD en ambos casos. En aquellas estrategias que requerían de deficiencias hídricas, se permitió que el AD disminuyera hasta 20 %, para posteriormente regar hasta 40 % en el los PNC.

Para lograr los umbrales hídricos de suelo planificados, se realizaron dos tipos de intervenciones: riego suplementario e interceptación de las precipitaciones (PP) para aquellas estrategias con déficit hídrico. Para ello se utilizaron simuladores de sequía parcelarios móviles. Estos fueron colocados antes de cada evento de PP y retirados inmediatamente después de los mismos, de modo de no provocar modificaciones significativas en las condiciones de radiación solar y temperaturas a las que estuvieron expuestos los cultivos en el campo.

Para las decisiones de riego se realizaron balances hídricos de paso diario simplificado, estimando la variación del AD del suelo  $\Delta S = PP + R - E_{Tc\ aj}$ , siendo  $\Delta S$  la variación del AD (mm), R cantidad de agua suministrada por riego (mm) y  $E_{Tc\ aj}$  fue la evapotranspiración del cultivo ajustada (mm). Esta última también fue calculada diariamente de la siguiente manera  $E_{Tc\ aj} = E_{To} \times K_c \times K_s$ , siendo  $E_{To}$  la evapotranspiración del cultivo de referencia (mm),  $K_c$  el coeficiente del cultivo y el  $K_s$  el coeficiente de estrés hídrico. La misma se estimó utilizando la ecuación de FAO Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998) y para los  $K_c$  se utilizaron los propuestos por FAO (Allen *et al.*, 1998).

En los cultivos se cuantificó la tasa de crecimiento durante el PC, rendimiento y sus componentes y subcomponentes.

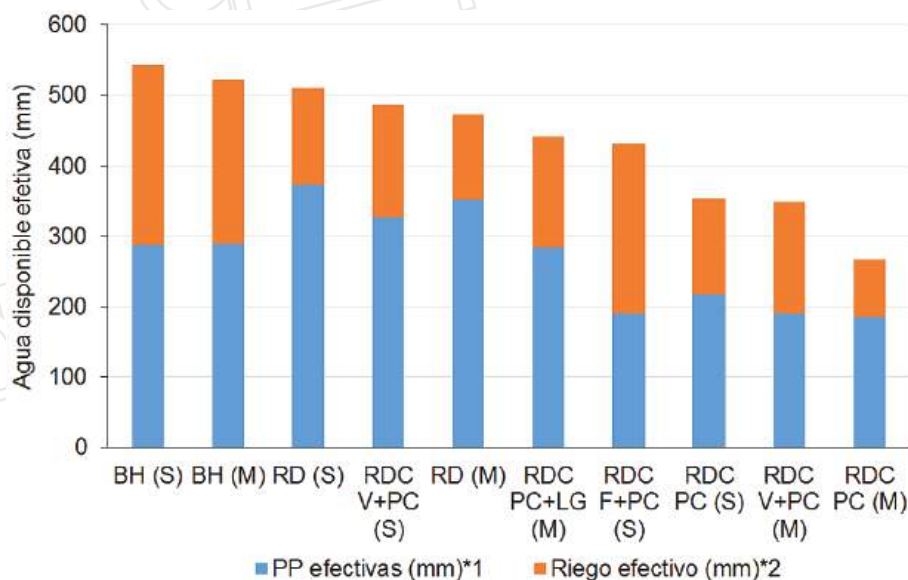
### 3. PRINCIPALES RESULTADOS

#### 3.1. Disponibilidad hídrica de los ensayos

Generar BH durante todo el ciclo requirió 233 mm de agua como riego en maíz y 257 mm en soja (Figura 3). En tanto, la estrategia de RDC en PC fue el que mostró la menor disponibilidad hídrica en ambos ensayos, y la más baja aplicación de riego, ya que solo se regó durante los PC de los cultivos. En el cultivo de maíz el volumen de AD en la estrategia de RDC



Imagen 1. Jornada de investigación en riego sobre cultivos de maíz y soja, en la Estación Experimental Mario A. Cassinoni, febrero 2017. Luis A. Giménez y Federico C. Rovegno. Foto: Ing. Agr. Felipe Casalás



**Figura 3.** Agua efectiva (mm) en el cultivo de maíz (M) y soja (S) según estrategia de riego evaluada, compuesto por las precipitaciones efectivas y riegos aplicados. \*1PP totales sin considerar las PP ocurridas por encima de la capacidad de campo. \*2Considerado como el 90% del riego total aplicado.

en PC y LG fue mayor que en la estrategia con RDC en fase vegetativa y PC, producto del mayor aporte de las PP durante dicha fase (LG). En el caso del cultivo de soja la estrategia de RDC en floración y PC tuvo un mayor porcentaje de AD proveniente de los aportes de riego durante dichas etapas del cultivo, mientras que la estrategia con RDC en fase vegetativa y PC presentó un mayor aporte del AD efectiva por parte de las PP ocurridas en dichas etapas. Además, la estrategia de RD presentó un mayor aporte de agua por PP efectivas, por causa de la menor aplicación de riego.

Se destaca la buena disponibilidad hídrica registradas durante el ciclo de crecimiento de ambos cultivos en las estrategias de BH, y el aporte de un poco más del 50 % por parte de las PP efectivas en el total del AD.

### 3.2. Rendimientos de las estrategias de riego evaluadas

La estrategia de BH durante todo el ciclo de los cultivos permitió estimar el rendimiento potencial sin restricciones hídricas para los genotipos utilizados y las condiciones de radiación y temperatura del año del trabajo. En maíz fue 13.767 kg.ha<sup>-1</sup> y en soja 6.798 kg.ha<sup>-1</sup> (Cuadros 2 y 3). El mayor rendimiento del cultivo de maíz se logra por su mayor eficiencia de conversión, por ser una especie C4 (obtiene un 30-40 % mayor tasa fotosintética que una especie C3 como la soja), por su mayor eficiencia de interceptación al ser un cultivo más erecto, y un menor costo energético para la producción de granos. El grano de maíz tiene un alto contenido de carbohidratos (85 %), mientras que la semilla de la soja un alto contenido de proteínas (36 %) lo que lo hace más costoso. Para producir un gramo de grano en el maíz se precisan 1,39 g de glucosa mientras que en soja se precisan de 1,98 g (Andrade *et al.*, 2000).

En el cultivo de maíz los valores registrados en el presente ensayo son similares a los reportados por Giménez (2012) para el promedio de 3 años (2009, 2010 y 2011) que variaron entre 13.500 y 15.300 kg.ha<sup>-1</sup> utilizando una población de 100.000 pl.ha<sup>-1</sup> y en torno a 14.000 kg.ha<sup>-1</sup> por Carter y Petrella (2013) y Callero (2014), con 80.000 pl.ha<sup>-1</sup> y 100.000 pl.ha<sup>-1</sup>. En cuanto al cultivo de soja, en la literatura se registran un amplio rango

de rendimientos máximos a nivel mundial que oscilan entre 4.500 y 8.600 kg.ha<sup>-1</sup> aproximadamente (Flannery, 1983; Lawn *et al.*, 1984; Cooper, 2003; Seityono *et al.*, 2007; Giménez, 2014; Capurro, 2016). Dichas variaciones son consecuencia de la diferente disponibilidad de radiación, agua y nutrientes, siendo la disponibilidad hídrica el factor más limitante, por lo que el manejo del agua es el aspecto principal sobre el cual trabajar para disminuir las brechas de producción en este cultivo (Salvagiotti, 2009).

En ambos cultivos se destaca que la mayor diferencia de rendimiento ocurrió entre la estrategia de riego con BH durante todo el ciclo y la estrategia de RDC en el PC, producto del menor volumen de AD efectiva obtenida por esta estrategia (Figura 2). En el cultivo de maíz, debido a las deficiencias hídricas provocadas en la fase vegetativa y llenado de granos, generaron una reducción de 48 % del rendimiento, obteniendo el menor rendimiento del ensayo con 7.187 kg.ha<sup>-1</sup> (Cuadro 2). Por otro parte en el cultivo de soja los menores rendimientos registrados por dicha estrategia (RDC en PC) fueron de 4.765 kg.ha<sup>-1</sup>, las cuales no obtuvieron diferencias significativas con la estrategia de RDC en floración y PC logrando 5.523 kg.ha<sup>-1</sup> (Cuadro 3). Sin embargo, estos resultados aún se encuentran dentro de los máximos rendimientos reportados por la literatura internacional.

La estrategia de RDC en fase vegetativa y PC en maíz mostró una reducción del 30 % del rendimiento (Cuadro 2), producto de las deficiencias hídricas en la fase de llenado de granos. Esto implica una mayor sensibilidad en esta etapa a las deficiencias hídricas en comparación con la fase vegetativa (RDC en PC y LG), donde la reducción del rendimiento fue del 25 %. Por tanto, resalta la importancia de la intervención del riego durante la fase de llenado de granos en este cultivo. Diversos estudios han cuantificado el efecto del déficit hídrico durante esta fase, donde el componente afectado en mayor medida es el peso de grano y no el número de grano (NeSmith y Ritchie, 1992; Giménez, 2012).

Andriani *et al.* (1991), aseguran que la floración en soja es una etapa de menor importancia relativa sobre el rendimiento que el llenado de grano (R4-R6) y de inferior significancia en la determinación del rendimiento en comparación con otras especies como el maíz (Andrade, 1995). Esto se debe a que es una etapa de desarrollo extensa, de más de 20

días de duración. Asimismo, la especie produce un número de flores superior al que concreta, lo que permite que exista cierta compensación ante situaciones de estrés generadas en la etapa, en comparación al maíz que es un cultivo de ciclo determinado con escasa capacidad de compensación frente a eventos de estrés hídrico. En ese sentido, Andrade y Sadras (2000) destacan la alta estabilidad del rendimiento de soja en respuesta al estrés entre las etapas R1 y R3, lo que coincide con los resultados del presente ensayo, ya que en la estrategia de RDC en estado vegetativo y PC —en el cual se inducen deficiencias hídricas en la fase de floración— no se registraron diferencias significativas de rendimiento con la estrategia de BH durante todo el ciclo (Cuadro 3), esto podría estar explicado por el efecto de compensación, que aumenta la eficiencia en la utilización del agua aplicada al utilizar esta estrategia de riego.

En ambos cultivos se destaca la existencia de una correlación muy alta entre los rendimientos obtenidos en cada estrategia de riego evaluada (Cuadro 2 y 3) y el AD que obtuvieron durante su ciclo (Figura 2), marcando la importancia de la disponibilidad hídrica en la productividad del cultivo.

Esta reducción del rendimiento producto de las diferentes disponibilidades hídricas también se reflejó en la producción de MS, la cual se correlacionó con el rendimiento alcanzado.

En el cultivo de maíz la MS acumulada al inicio del PC se redujo un 31 % en las estrategias de RDC en PC y de RDC en PC y LG con respecto a la estrategia de BH durante todo el ciclo. En tanto, la acumulación total de MS se redujo en un 55 % con la estrategia de regar únicamente en PC (Cuadro 2). NeSmith y Ritche (1992) determinaron que cuando el maíz fue sometido a déficit hídrico en la etapa de llenado de grano, la senescencia foliar se adelantó resultando en menor biomasa acumulada a fin de ciclo (entre 23 y 36 % menos comparado con el testigo regado). Por otra parte, las TCC durante el PC no difirieron significativamente ya que durante este período las estrategias evaluadas estuvieron en bienestar hídrico (Cuadro 2).

En el cultivo de soja la estrategia de BH durante todo el ciclo presentó también la mayor acumulación de MS tanto al inicio como al final del PC con respecto a la estrategia de RDC en PC, mientras que la estrategia de RDC en floración y PC solo obtuvo diferencias al fin del PC. Con respecto al resto de las estrategias de riego evaluadas no se observaron diferencias

Estrategias de riego	Rendimiento (kg.ha <sup>-1</sup> )	MS al inicio del PC (kg.ha <sup>-1</sup> )	MS al final del PC (kg.ha <sup>-1</sup> )	TCC/ día durante el PC (kg.ha <sup>-1</sup> .día <sup>-2</sup> )	MS al final del ciclo (kg.ha <sup>-1</sup> )
BH	13767 a	4322 a	17392 a	384 a	19790 a
RDC PC	7187 d	2982 c	13051 c	296 a	10902 d
RDC V + PC	9602 c	4244 ab	16533 ab	361 a	15019 c
RDC PC + LG	11702 b	3108 bc	13293 bc	305 a	16694 bc
RD	12056 b	4399 a	15497 abc	326 a	18058 ab

**Cuadro 2.** Rendimiento (kg/ha) en el cultivo de maíz, materia seca (MS) acumulada (kg.ha<sup>-1</sup>) tanto al inicio del PC, al término del mismo, como al final del ciclo de las diferentes estrategias de riego evaluadas y medición de TCC por día durante el PC (kg.ha<sup>-1</sup>.día<sup>-2</sup>). Valores con igual letra no difieren entre sí (p<0.05; Tukey).

Estrategias de riego	Rendimiento (kg.ha <sup>-1</sup> )	MS al inicio del PC (kg.ha <sup>-1</sup> )	MS al final del PC (kg.ha <sup>-1</sup> )	TCC/día (kg.ha <sup>-1</sup> .día <sup>-2</sup> )
BH	6798 a	9009 a	15237 ab	178 a
RDC PC	4765 c	4662 b	11155 b	186 a
RDC V + PC	5956 ab	7512 ab	16484 a	256 a
RDC F + PC	5523 bc	6542 ab	10954 b	149 a
RD	6004 ab	7805 ab	12150 ab	142 a

**Cuadro 3.** Rendimiento en grano en el cultivo de soja (kg.ha<sup>-1</sup>), materia seca (MS) acumulada (kg.ha<sup>-1</sup>) tanto al inicio como al término del PC en las diferentes estrategias de riego evaluadas y medición de tasa de crecimiento del cultivo (TCC) por día durante el PC (kg.ha<sup>-1</sup>.día<sup>-2</sup>). Valores con igual letra no difieren entre sí (p<0.05; Tukey).



**Imagen 2.** Ensayo de riego deficitario controlado en el cultivo de soja. Paysandú, EEMAC, 2016-17



Imagen 3. Ensayo de riego deficitario controlado en cultivo de maíz. Paysandú, EEMAC, 2016-17.


significativas al igual que en las TCC (Cuadro 3). La estrategia de RD acumuló la misma cantidad de MS que la estrategia de BH durante todo el ciclo, esto se debe a que las precipitaciones registradas durante el ciclo del cultivo generaron una alta disponibilidad hídrica (Figura 1). Además, no hubo diferencias en los rendimientos de ambas estrategias evaluadas (Cuadro 3), por lo que su eficiencia en el uso de agua de riego fue la más alta, considerándose la mejor estrategia de riego del presente ensayo junto al RDC en fase vegetativa y PC.

## 4. CONCLUSIONES

La estrategia de regar únicamente en el PC no aseguró altos rendimientos en ninguno de los dos cultivos. Sin embar-

go, en soja los rendimientos logrados con esta estrategia se encuentran dentro de los rangos máximos obtenidos a nivel mundial.

Ninguna estrategia de riego deficitario controlado en el cultivo de maíz logró los rendimientos potenciales alcanzados por la estrategia de BH en todo el ciclo, por lo que no aseguran una mejora en la eficiencia del uso de agua del riego. A pesar de esto, la estrategia de RDC en PC y LG alcanzó rendimientos potenciales reportados en la literatura de la región, destacándose que la fase de llenado de granos demostró ser más sensible a deficiencias hídricas que la fase vegetativa, siendo más importante la intervención del riego en esta etapa.

En tanto, en el cultivo de soja, la estrategia de RDC durante la fase vegetativa y PC logró el mismo rendimiento que BH, logrando maximizar la eficiencia del uso de agua de riego y así disminuir los costos de agua aplicada. 

### Bibliografía

- Agorio, C.; Cardellino, G.; Corsi, W.; Franco, J.** 1988. Estimaciones de las necesidades de riego en Uruguay. 110p.
- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M.** 1998. *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. Roma: FAO. (Irrigations and Drainage; 56). 300p.
- Altamirano, A.; Da Silva, H.; Durán, A.; Echevarría, A.; Panario, D.; Puentes, R.** 1976a. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay: Tomo I: Clasificación de suelos. Montevideo: Ministerio de Agricultura y Pesca. 97p
- Andrade, F.H.** 1995. *Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina*. Field Crops Research. 41:1-12.
- Andrade, F.H., Aguirrezabal, L.A.N., Rizzalli, R.H.** (2000<sup>o</sup>). Crecimiento y rendimiento comparados. In: Andrade, F. H.; Sadras, V. O. eds. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Buenos Aires, Argentina, Editorial Médica Panamericana. pp. 61-96.
- Andriani, J.M.; Andrade, F.H.; Suero, E.E.; Dardanelli, J.L.** (1991). *Water deficits during reproductive growth of soybeans: I. Their effects on dry matter accumulation, and its components*. Agronomie, 11: 737- 746.
- Capurro, M.C.** 2016. Respuesta del cultivo de soja a distintas dosis y momentos de riego. Maestría Ciencias Vegetales, Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 151 p.
- Callero, W.H.** 2014. Maíz, efecto de las deficiencias hídricas sobre el rendimiento. Tesis. Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 51 p.
- Carter, G.; Petrella, P.** 2013. Estudio de distintas poblaciones y dosis de nitrógeno en maíz bajo riego. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 56 p.
- Cooper, R.L.** 2003. *A delayed flowering barrier to higher soybean yields*. Field Crops Research, 82: 27 -35.
- English, M.** 1990. *Deficit Irrigation. I: Analytical Framework*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. V. 116, p. 399-412.
- Flannery R.** 1983. *Soybean Research Yields top 118 bu/A. Better Crops with Plant Food*, 68: 6 - 7.
- Fereres, E. y Soriano, M.A.** 2007. *Deficit irrigation for reducing agricultural water use*. Journal of Experimental Botany. 58 (2):147-159.
- Giménez, L.; Böcking, B.; Garcia Petillo, M.; Garcia, C.; Sawchik, J.** 2010. Prólogo; marco de referencia del seminario, en 1er Seminario Internacional Riego en Cultivos y Pasturas p. 3-4. (Paysandú, Uruguay, Facultad de Agronomía).
- Giménez, L.** 2012. 2º Seminario Internacional de Riego en Cultivos y Pasturas (2012 Paysandú, Uruguay) pp. 33-41.
- Giménez, L.** 2014. Efecto de las deficiencias hídricas en diferentes etapas de desarrollo sobre el rendimiento de soja. Agrociencia (Montevideo). 18 (1): 53-64.
- Karam, R.M.; Sfeir, F.; Mounzer, O.; Roupael, Y.** 2005. *Evapotranspiration and seed yield of field grown soybean under deficit irrigation conditions*. Agricultural Water Management. 75: 226 244.
- Lawn, R.J.; Troedson, R.J.; Garside, A.L.; Byth, D.E.** 1984. *Soybeans in saturated soil: A new way to higher yields*. En: *World Soybean Research Conference III. Ames: Iowa State University*. pp. 67 - 68.
- MGAP, DIEA** (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2018. Encuesta Agrícola Invierno 2018. Consultado el día 7 feb. 2019. Disponible en [http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/publicacion\\_inv2018-cf.pdf](http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/publicacion_inv2018-cf.pdf)
- NeSmith, D.S.; Ritchie, J.T.** 1992. *Maize (Zea mays L.) response to a severe soilwater-deficit during grain-filling*. Field Crops Research. 29 (1): 23-35.
- Rosadi, R.A.; Afandi, S.; Senge, M.; Ito, K.** 2005. *Critical water content and water stress coefficient of soybean (Glycine max [L.] Merr.) under deficit irrigation*. Paddy Water Environment. 3: 219-223.
- Salviaggiotti, F.** 2009. Manejo de soja de alta producción. Para mejorar la producción, 42: 57 - 62.
- Setiyono, T.D.; Weiss, A.; Spetch, J.; Bastidas, A.M.; Cassman, K.G.; Dobermann, A.** 2007. *Understanding and modeling the effect of temperature and daylight on soybean phenology under high-yield conditions*. Field Crops Research, 100: 257 - 271.
- Torrion, J.; Setiyono, T.; Graef, G.; Cassman, K.; Irmak, S.; Specht, J.** 2015. *Soybean Irrigation Management: Agronomic impacts of deferred, deficit and full-season strategies*. Crop Science, V. 54, p. 2782-2795.