

NÚMERO
ESPECIAL

CANQUÉ

Revista de la Estación Experimental
"Dr. Mario A. Cassinoni"
Facultad de Agronomía | Paysandú
Universidad de la República

Octubre de 2019 | Número 42
ISSN 0797 - 8480



Riego en Cultivos

En dirección de la intensificación sostenible



CANGÜÉ

DIGITAL

OCTUBRE AÑO 2019 - NÚMERO 42



Serie Divulgación
y Extensión Sub -
serie de Divulgación
Técnica

Revista de la Estación Experimental
«Dr. Mario A. Cassinoni»



Ruta 3 - Km. 363
Casilla de Correos 57072
Paysandú - Uruguay
(598) 47227950

REDACTOR RESPONSABLE:

Pablo Boggiano

COORDINACIÓN:

Cecilia López González

CONSEJO EDITOR:

Virginia Beretta, Sebastián Mazzilli,
Pedro Arbeletche, Oswaldo Ernst

COLABORADORES:

Oswaldo Ernst, Sebastián Mazzilli,
Miguel Mosco, Mario Pérez Bidegain,
Gonzalo Rizzo, Guillermo Siri Prieto,
Pablo Morales

EQUIPO EDITORIAL:

Oswaldo Ernst, Cecilia López González,
Luis Giménez

FOTO PORTADA:

Gastón Sebben

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN:

Pablo Bernasconi

Las notas publicadas en la revista son de
responsabilidad exclusiva de los autores.

La revista Cangüé se publica desde el año
1993. Su numeración es correlativa.
Desde el N° 31 (2011) se transforma
en una publicación digital.
ISSN 2301 - 0886

Desde el Cangüé

En este nuevo número especial de la *Cangüé digital*, publicación 42, continuamos acompañando y acercando a nuestros lectores trabajos que informan sobre las tecnologías disponibles, al tiempo que mantenemos el compromiso de ser un vínculo entre la Universidad de la República (Udelar) y el medio agropecuario uruguayo.

La presente entrega propone siete artículos relacionados a la aplicación del riego en cultivos y pasturas, acompañados de una nota de opinión. En este último trabajo, *Modificaciones a la ley de riego agrario. Críticas y ausencias de propuestas alternativas*, el autor explica en forma clara los cambios introducidos en la ley 16.858 del año 1997 a través del proyecto de ley presentado por el Poder Ejecutivo y aprobado en 2017, al tiempo que analiza cómo estas modificaciones actúan sobre la tenencia y uso del agua y sobre los efectos ambientales que podrían generarse. Se trata de un aporte particularmente importante, luego de las reacciones que se generaron en nuestra sociedad frente a estas modificaciones a la ley, posiblemente por transmitirse ideas no claras o equivocadas en relación al efecto y alcance que las modificaciones provocarían.

Los autores a través de sus notas técnicas presentan y discuten diferentes métodos de riego por superficie, mejoras en la eficiencia del uso del agua y el uso de terrazas. Complementado esos trabajos, se presentan ajustes en las prácticas agronómicas que deben considerarse cuando se plante el cultivo de maíz y soja con riego.

Queremos agradecer a los autores por su contribución en esta edición especial, apoyando a mantener en línea la *Cangüé Digital*, y además a quienes integraron el equipo de colaboradores, realizando aportes en cada uno de las propuestas con el objetivo de enriquecer los materiales presentados. Conservamos el objetivo de aparecer con otro número en los próximos meses y aprovechamos para invitar a todos a participar en las próximas ediciones.

Nota de Opinión

- Modificaciones a la ley de riego agrario. Críticas y ausencia de propuestas alternativas** 4
Luis Giménez

Notas Técnicas

- Rendimientos de maíz y soja: un desafío que provoca.
La información experimental y la producción comercial** 7
Luis Giménez

- Riego: “La tecnología de mayor impacto en la producción agrícola”** 13
Gastón Sebben, Hernán Masoller, Santiago Arana

- Estrategias de riego para maximizar rendimiento y eficiencia de
uso del agua en cultivos de maíz y soja.** 19
Federico Rovegno, Luis Giménez

- Desarrollo del Riego en Uruguay: Desafíos y oportunidades para la cuenca del Río San Salvador** 25
Raúl López Pairet, Gervasio Finozzi, Paola Pedemonte, Micaela Miranda

- Mejora en eficiencia del riego por surco en sistemas multiprediales: la experiencia de SOFORUCE** 31
*German Panissa, Matias Ferrari, Claudio Garcia,
Gabriel Ribas, Lisette Bentancor, Gervasio Finozzi*

- El riego por superficie: mitos y verdades** 35
Claudio Garcia, Gabriel Ribas, Andrés Feuer

- Las terrazas en los sistemas de riego** 40
Michel Koolhaas

Miscelánea

- Jornada de Riego de Cultivos en la EEMAC: la actividad en imágenes.** 47

Modificaciones a la ley de riego agrario

Críticas y ausencia de propuestas alternativas

Foto: Leticia Capó

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

El Poder Ejecutivo en 2016 presentó al parlamento nacional un proyecto de ley con modificaciones a la ley de riego agrario N° 16.858 del año 1997. Luego de una extensa discusión e intercambios con diferentes sectores de la sociedad involucrados en la temática de riego agrario, en 2017 este proyecto fue aprobado, prácticamente por unanimidad del parlamento. Luego de esa gran mayoría política a favor, sorpresivamente se generó una reacción social contraria a la ley, liderada por el gremio de funcionarios de OSE, docentes de la Facultad de Ciencias y del Centro Universitario Regional Este (CURE) y sectores ecologistas.

¿QUIÉN PLANTEÓ ESTE PROYECTO DE LEY Y EN QUÉ INFORMACIÓN SE BASÓ LA PROPUESTA?

Las modificaciones a la ley de riego surgen a partir de una fuerte iniciativa sobre el tema riego del exministro de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP), Ing. Agr. Tabaré Aguerre. Asimismo, impulsó en el MGAP la elaboración de una agenda de desarrollo del riego para el país, estrategia apoyada en varios de los elementos elaborados por el Grupo de Desarrollo del Riego (GDR), tal como él mismo indicó en el 3er Seminario Internacional de Riego en Cultivos y Pasturas, desarrollado en Paysandú en 2014. El GDR es un espacio técnico público-privado creado en 2008 que conjuntó a diferentes especialistas de riego de la Udelar (Facultades de Agronomía e Ingeniería),

INIA, MGAP, MVOTMA, productores regantes, AIA y consultores de riego, es decir prácticamente vinculó a casi todos los técnicos preocupados por el desarrollo del riego agrario en el país. En 2009, luego de una amplia etapa de intercambios y discusión, el GDR elaboró un documento a solicitud del MGAP, denominado «Lineamientos para el desarrollo de una estrategia de riego a nivel nacional». El exministro Aguerre tomó parte de las ideas plasmadas en este documento para la elaboración de la agenda de desarrollo del riego del MGAP. En el mismo sentido, la Facultad de Agronomía, a través del grupo de Cereales y Cultivos de la EEMAC, generó información durante los últimos 20 años acerca de los efectos del riego suplementario en cultivos de verano a través de varios proyectos de investigación y numerosos trabajos de tesis de grado, maestría y doctorado. Los resultados logrados permiten asegurar científicamente que en el país existe un enorme potencial inexplorado de producción de granos de maíz, soja y sorgo, y el mismo se podrá concretar en la medida que se incremente la adopción del riego en los cultivos de verano que actualmente se realizan mayoritariamente en seco.

¿CUÁLES Y PORQUÉ FUERON LAS MODIFICACIONES CENTRALES A LA LEY DE RIEGO PROPUESTAS?

La agricultura de verano se desarrolla principalmente en el litoral del país y es claro que en esa región no hay agua suficiente para regar cultivos ni a partir de los cursos superficiales de agua, exceptuando al río Uruguay, ni a través de las aguas sub-superficiales. En el primer caso, las tomas de extracción se encuentran limitadas en la mayoría de los ríos y arroyos, y en el segundo caso los caudales posibles de extracción para el riego de cultivos son insuficientes, a profundidades económicamente viables. Este es el principal aspecto que las modificaciones a la ley pretenden mejorar. Es decir, generar fuentes de agua eficientes, para las necesidades del riego agrícola. Para ello se propuso modificar el marco jurídico para la construcción y funcionamiento de represas multiprediales a partir de la captación de aguas de escurrimiento en situaciones topográficas eficientes que abastezcan de agua a más de un predio, es decir que permitan regar a grupos de productores y no a productores individuales.

¿QUÉ SUCEDE ACTUALMENTE CON LOS REPRESAMIENTOS DE AGUAS DE ESCURRIMIENTO?

En el país hay más de 1.200 represas de riego, principalmente ubicadas en la región arrocerera, es decir en el este, centro-norte y norte. Las represas son de diferente tamaño, van desde muy grandes a pequeñas, pero en general abastecen a productores individuales, exceptuando la represa de India Muerta. La construcción de represamientos de aguas de escurrimiento para riego agrícola es posible en predios que posean las condiciones topográficas para ello y además los productores deben disponer del capital suficiente para financiar las obras e inundar extensiones de tierra significativas. Por tanto, solo este tipo de predio y productor podía disponer de riego en agricultura. Las modificaciones a la ley de riego promueven el riego colectivo, a través de represas multiprediales,

eficientes en la captación de aguas de escurrimiento, y con ello sería posible ampliar el número de productores regantes. Ya que no sería necesario poseer las características mencionadas en sus predios.

Otro aspecto jurídico abordado en las modificaciones a la ley es el estatuto de las Sociedades Agrarias de Riego (SAR). En la ley de riego anterior había vacíos legales, como por ejemplo la imposibilidad de cortar el uso del riego a aquellos socios que no cumplieran con el pago del servicio, tal como ocurre en cualquier otro servicio, incluso con el de agua potable que brinda OSE para consumo humano. Otro aspecto de las modificaciones fue la posible inclusión de socios en las SAR provenientes de fuera del sector agropecuario. ¿Qué aporta esta modificación? Permite la financiación de las obras de riego, en el caso de que los productores no puedan asumir dicho costo. En ese sentido, se creó la figura jurídica del operador de riego que no necesariamente debe ser un productor de la zona sino que puede ser una figura de fuera del sector que acuerda con los productores, financia la obra, gestiona la misma y cobra por el uso del sistema de riego colectivo. Las críticas realizadas a la ley han sido varias pero claramente en las que se hizo mayor énfasis han sido aquellas que indicaron que la ley privatiza el agua. Se afirmó incluso que la ley va en contra de los aspectos definidos en el plebiscito del agua del año 2004. En esta instancia de votación ciudadana se definió, por una amplia mayoría de los votantes, que el agua es un recurso natural esencial para la vida y que el acceso *al agua potable* y al saneamiento constituyen derechos humanos fundamentales.

Otra categoría de críticas a la ley fueron los potenciales daños ambientales por la intensificación agrícola y la construcción de represamientos de agua y la posible contaminación por cianobacterias y las sustancias tóxicas que éstas producen. El primer aspecto a señalar es que las modificaciones a la ley no tienen absolutamente nada que ver con el agua potable y el saneamiento, es una ley que propuso modificaciones a la ley de *riego agrario*, por tanto, no roza en lo más mínimo el mantenimiento del monopolio estatal del agua potable a través de OSE. El segundo aspecto que se debe tener claro es que en el Uruguay toda el agua es de dominio público estatal y el Estado puede otorgar permisos de uso a privados. Es con estos permisos de uso de agua que se riegan, hace décadas, aproximadamente 200 mil ha por año de diferentes cultivos. El riego agrario es gestionado por privados, las represas grandes, medianas y pequeñas que existen en el país son mayoritariamente financiadas por privados, los cuales en general cobran por ceder el uso a otros productores agrícolas, principalmente arroceros, que rotan de lugar las siembras, y pagan por el agua para riego que reciben. Esta posibilidad ya existía con la ley anterior, existe actualmente y continuará existiendo con las modificaciones a la ley aprobadas en el parlamento; no hay nada nuevo en ese aspecto. Los permisos para la generación de represas los otorgó el Estado con la ley anterior y los va a seguir otorgando con las modificaciones aprobadas. Por tanto, hay que concluir que la premisa de privatizar algo que es de dominio público resulta falsa. El agua continuará siendo de dominio público estatal y el Estado lo que puede realizar es otorgar permisos de uso por un plazo determinado de acuerdo a los proyectos de riego que se presenten, los cuales se estudiarán técnicamente por los organismos competentes, seguramente en forma más exhaustiva que en la ley de riego anterior dadas las modificaciones realizadas.

Como se indicó, el otro grupo de críticas son las posibles afectaciones medio ambientales. El cuidado del medio ambiente y la contaminación ambiental son aspectos centrales para el país. Asimismo, los técnicos vinculados a los sectores productivos debemos ser celosos cuidadores del ambiente, principalmente de los recursos suelo y agua. No obstante, todos los uruguayos debemos tomar conciencia de que el país tiene

en la producción agropecuaria uno de los rubros principales de exportación y de significancia en la economía nacional, en la recaudación estatal y, por ende, en la generación de recursos económicos para el desarrollo de las políticas públicas. Por ello, es altamente necesaria una visión holística del desarrollo productivo sostenible del país, que debe incluir el cuidado del medio ambiente y a su vez la necesidad de generar una mayor producción agropecuaria de calidad y con ello mayores puestos de trabajo en el sector, en la agroindustria y en los servicios asociados. En síntesis, la estrategia de intensificación sostenible de los sistemas productivos extensivos es, a nuestro entender, de relevancia estratégica nacional. El cuidado del medio ambiente en los sistemas de producción agrícolas extensivos a través de latifundios de producción baja y variable, que es la tendencia y la forma de sostener económicamente la producción de granos sin intensificar, no creemos que deba ser la alternativa para el país productivo del siglo XXI. Por el contrario, pensamos que la intensificación sostenible incluyendo riego suplementario, es una alternativa que permite cuidar el medio ambiente y sostener la agricultura en sistemas productivos viables y diversificados, reinsertando incluso a pequeños y medianos productores agrícola-ganaderos que han desaparecido mayoritariamente por falta de rentabilidad.

En ese entendido, el riego agrícola bien realizado puede y debe cumplir un rol fundamental en cuidar el medio ambiente, ya que permite aumentar la captación de carbono atmosférico y el rendimiento de los cultivos. A su vez, el riego de cultivos permite mejorar la absorción de nutrientes, ya que los mismos se absorben a través de la solución del suelo. Un aspecto central a comprender es que, en los cultivos de secano, el agua no siempre está disponible cuando se deben absorber los nutrientes. Por tanto, en determinadas situaciones pueden existir nutrientes en exceso en los horizontes superficiales del suelo debido a la falta de agua para la absorción. Este exceso de nutrientes puede ser trasladado por la erosión hídrica a los cursos superficiales de agua. Es esta, seguramente, una de las razones de la contaminación con fósforo que existe en diversos cursos superficiales de agua, problema que podría solucionarse si los cultivos fueran regados en tiempo y forma.

Asimismo, en términos económicos y sociales hay dos factores centrales que el riego de cultivos provoca: el primero incrementar los rendimientos y la rentabilidad de la agricultura y el segundo, no menos importante, disminuir la variabilidad de los rendimientos, y con ello bajar la incertidumbre económica de la actividad agrícola estival, que en condiciones de secano depende directamente de la ocurrencia de precipitaciones.

Cabe resaltar que con la adopción de riego en los cultivos no está todo resuelto. Debe ser utilizado en forma ajustada a los requerimientos hídricos de los cultivos y considerando las características de cada ambiente de producción. Asimismo, se debe manejar el riego y los cultivos a regar, en un marco de sustentabilidad, minimizando los impactos ambientales y cuidando los recursos naturales principales involucrados en la actividad agrícola tales como el suelo y el agua.

Las represas multiprediales propuestas fueron pensadas principalmente para riego de cultivos de verano. Por tanto, en los meses de primavera y verano, cuando las temperaturas del ambiente y del agua almacenada se elevan, el agua estará en movimiento. En la discusión de la ley se intentó comparar este tipo de represas con masas de agua lénticas, lo cual es un error ya que la dinámica del agua no es comparable. El crecimiento de las cianobacterias es incentivado por temperaturas elevadas en el agua y los aportes de fósforo que, en general, llegan por escurrimiento. Por tanto, la aplicación de buenas prácticas de manejo en la cuenca de captación permite que los nutrientes no lleguen al agua almacenada, y esto es perfectamente posible con un buen manejo de las cuencas. Por ese motivo, los peligros eminentes que se indicaron por la construcción de

represas multiprediales pueden ser evitados con la aplicación de los conocimientos que se poseen. Cabe considerar que la aplicación de buenas prácticas en las cuencas de captación también es clave para que el agua de riego presente buena calidad y no se generen impactos ambientales negativos aguas abajo, y esto es posible. No obstante, la ley prevé en su artículo 17 la evaluación ambiental por parte de los organismos competentes, específicamente en las cuencas hidrográficas.

A nuestro entender, las modificaciones a la ley de riego aprobadas y reglamentadas recientemente otorgan un marco jurídico adecuado para la generación de represas multiprediales. Y un aspecto central a destacar es que se crea el marco jurídico para poder acceder al riego a productores que no tienen las condiciones económicas para disponer de riego en sus predios.

CON ESTAS MODIFICACIONES A LA LEY ¿LA ADOPCIÓN DEL RIEGO AGRÍCOLA A NIVEL COMERCIAL ESTÁ RESUELTA?

Creemos que no. La ley es un aporte significativo, como se indicó, para otorgar un marco jurídico al crecimiento del riego pero hay que hacer bastante más para que esta tecnología se transforme en masiva, para el bien de los productores y fundamentalmente del país. En términos económicos importa la rentabilidad que produce la tecnología, por ende, juegan en forma determinante los costos operativos y las inversiones. Instalar y hacer funcionar sistemas de riego agrícola en Uruguay es altamente costoso. Los sistemas de riego y específicamente los bombeos utilizan mayoritariamente energía eléctrica y los costos fijos y variables de este servicio son muy altos. El Estado tiene en este aspecto un rol a jugar y el mismo pasa porque las autoridades comprendan, la importancia estratégica que tiene el riego en el crecimiento económico del país.

Además, se requiere una mayor capacitación de técnicos y productores en el manejo del riego en consonancia con el manejo de los cultivos a regar y el ambiente de producción. Se necesita continuar investigando en riego de cultivos y de pasturas, asimismo se deben evaluar los posibles impactos ambientales y las medidas de mitigación. La agenda de investigación está definida y como siempre es abierta. Se requiere financiación, las instituciones de enseñanza, investigación y de I + D tienen un rol significativo a cumplir.

Por otra parte, se necesitan mayores incentivos y facilidades para que los productores mejoren la adopción del riego, principalmente los pequeños y medianos productores, en los que esta tecnología provocaría elevados beneficios, se debe apoyar con más incentivos económicos la adopción, la capacitación y el asesoramiento técnico. A nivel de los productores en general, se debe producir un cambio cultural y comprender la importancia de disponer de agua para la producción de granos, por tanto, también se requieren cambios en el sector privado para asumir nuevos riesgos e inversiones.

Es importante señalar que en casi todos los aspectos mencionados se ha trabajado, la consecuencia ha sido que el riego agrícola ha aumentado en la última década. No obstante, aún la superficie regada de cultivos en relación a la realizada en secano es casi insignificante, por tanto debemos continuar trabajando entre todos los sectores involucrados, incluso con las organizaciones de la sociedad críticas a las modificaciones de la ley. Es necesario encontrar caminos de entendimiento para permitir mejorar el crecimiento y desarrollo de un país productivo, sostenible y con justicia social. ♦

Rendimientos de maíz y soja: un desafío que provoca...

La información experimental y la producción comercial

Foto: Leticia Capó

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

Los cultivos de verano presentan relevancia en la economía nacional debido a que mayoritariamente son granos de exportación y la superficie sembrada actualmente supera a 1.300.000 ha (DIEA-MGAP, 2018). Sin embargo, en los últimos 15 años, se han obtenido resultados económicos variables en la producción comercial, básicamente por dos aspectos: i) variabilidad de los precios internacionales de los granos y ii) limitantes en los ambientes de producción.

En relación a los precios internacionales de los granos existe poco por hacer, ya que el país es tomador de precios y prácticamente no tiene injerencia en la determinación de los mismos. No obstante, sí es posible trabajar en mejorar los acuerdos de ventas e incrementar los mercados a través de acciones de política exterior. Por tanto, el foco principal de estudio debe estar en la principal limitante ambiental para la agricultura estival, que es la disponibilidad hídrica de los ambientes de producción (Sawchik *et al.*, 2010).

Los cultivos de verano, exceptuando al arroz, se siembran mayoritariamente en condiciones de secano, lo que provoca limitaciones notorias en la productividad y en la estabilidad de los rendimientos. Si bien es posible producir económicamente maíz y soja en secano, la variabilidad productiva y económica se genera por no controlar la oferta de agua. En estas condiciones, la rentabilidad está sujeta al precio de los granos y al volumen y distribución de las precipitaciones (PP) de cada temporada. Por tanto, los factores que determinan mayoritariamente la ecuación económica de los cultivos de verano realizados en secano, no dependen de las decisiones tomadas por los productores durante el proceso productivo.

2. RENDIMIENTO Y BRECHA TECNOLÓGICA RELATIVA

La oferta hídrica para los cultivos estivales está determinada por varios aspectos, entre los que se destaca la capacidad de almacenar agua de los suelos. Esta resulta en una limitante real, ya que en los suelos del litoral en los que se desarrolla la agricultura, solo es posible almacenar entre el 20 y 30 % del consumo de agua que determinan los ambientes de producción. Esto provoca una baja autonomía hídrica de los suelos y, por tanto, para cubrir las necesidades de agua se requiere que el volumen y la distribución de las PP durante el ciclo, acompañen relativamente bien al consumo, aspecto que, en general no ocurre. Además, las PP efectivas, es decir las que llegan al sistema radicular de los cultivos, son sustancialmente menores que las PP totales.

Las características edafoclimáticas mencionadas, determinan que los cultivos realizados en secano presenten deficiencias hídricas en la mayoría de los años. Sin embargo, la radiación solar (RS) incidente, las temperaturas medias, la fertilidad de los suelos y los conocimientos tecnológicos existentes, permiten lograr rendimientos de soja y maíz, considerados elevados a nivel mundial, en la medida que se levanten las restricciones hídricas (Larrama, 2019; Camps y Canela, 2018; Capurro *et al.*, 2017; García y Santos y Lemos, 2016; Foster y Rovegno, 2015; Giménez *et al.*, 2014; Canosa y Prieto, 2013). Sin embargo, la superficie regada de ambos cultivos ocupa solo el 0,8 % del conjunto del área de siembra total (DIEA, MGAP, 2018).

Los cultivos de verano se realizan básicamente en condiciones de secano, por varios aspectos, no solo por factores económicos. Un aspecto significativo a destacar, y a nuestro entender a modificar, es el cultural. La mayoría de los productores y técnicos que trabajan en agricultura en el litoral presentan una diferencia notoria con los que trabajan en el arroz, en el este y norte del país. En arroz, la superficie de siembra de cada temporada se determina por varios factores, pero un aspecto clave es el volumen de agua almacenado en la represa o el volumen de agua autorizado para extraer de una fuente superficial. Esto se debe, a que en la producción arrocería el agua se concibe como una limitante principal para el cultivo y por tanto se considera como factor determinante del área a sembrar. En cambio, en maíz y soja el área de siembra se define principalmente por el precio de los granos y las limitantes del ambiente de producción quedan fuera de la determinación de la superficie de siembra. Bajo esta consideración, la tecnología de producción se ajusta para reducir el riesgo de pérdidas de rendimiento y no para maximizar la producción.

En este artículo se pretende analizar y cuantificar en términos productivos, qué implica integrar al riego como componente de la tecnología de producción en maíz y soja. Esta alternativa supone, además, ajustar el resto de la tecnología de manejo de cultivos al ambiente ofrecido.

El término “brecha de rendimiento” es utilizado ampliamente en la bibliografía y refiere a cuantificar la diferencia entre el rendimiento potencial de un cultivo y el rendimiento medio obtenido por los productores (Lobell *et al.*, 2009). Esta brecha de rendimiento se descompone en la generada por factores limitantes del rendimiento (disponibilidad hídrica, de nutrientes o ambos), y la atribuida a factores reductores del rendimiento (malezas, plagas, enfermedades). Bajo este esquema, Rizzo (2018) en soja, estimó a través del modelo CROPGRO-Soybean que la brecha atribuible al agua como factor limitante era de 3,6 Mg ha⁻¹ en cultivos de primera, a su vez en condiciones de secano, se suma la brecha atribuible al manejo de cultivos de 1,1 Mg ha⁻¹.

En esta nota, el riego suplementario se concibió como integrante de las prácticas tecnológicas que permiten lograr los máximos rendimientos, integrando lo que se definió “brecha tecnológica relativa” (BTR). La BTR es el cociente entre los rendimientos máximos logrados por la investigación y los rendimientos medios obtenidos por los productores comerciales. Expresa la distancia que separa la aplicación de las prácticas tecnológicas que logran los mayores rendimientos y la tecnología aplicada en la producción comercial. La BTR fue calculada como el cociente entre el rendimiento de los experimentos de riego en maíz y soja realizados en la EEMAC entre 2009 y 2017 y el rendimiento promedio de los productores comerciales para la misma serie de años.

En la Figura 1, se muestra el rendimiento de maíz logrado en las investigaciones con riego, el rendimiento promedio comercial y la BTR, para la serie comprendida entre 2009 y 2017.

El rendimiento experimental varió entre 11,5 y 15,5 Mg ha⁻¹ y el de los productores entre 3,5 y 7,1 Mg ha⁻¹. Se concluye que existe evidencia científica suficiente que permite aseverar que, al levantar las restricciones hídricas en maíz a través del riego, es posible lograr mejoras significativas del rendimiento. En la información analizada el incremento del rendimiento promedio, para los nueve años, entre los ensayos de riego y la producción comercial fue cuantificado en 8,5 Mg ha⁻¹, variando entre 6,5 y 11,7 Mg ha⁻¹.

El segundo aspecto a destacar es que la variabilidad interanual del rendimiento lograda a nivel experimental fue relativamente baja, cuantificada a través del coeficiente de variación (CV) en 8 %. En cambio, en la producción comercial el CV fue de 21 %. La variabilidad en el rendimiento experimental se

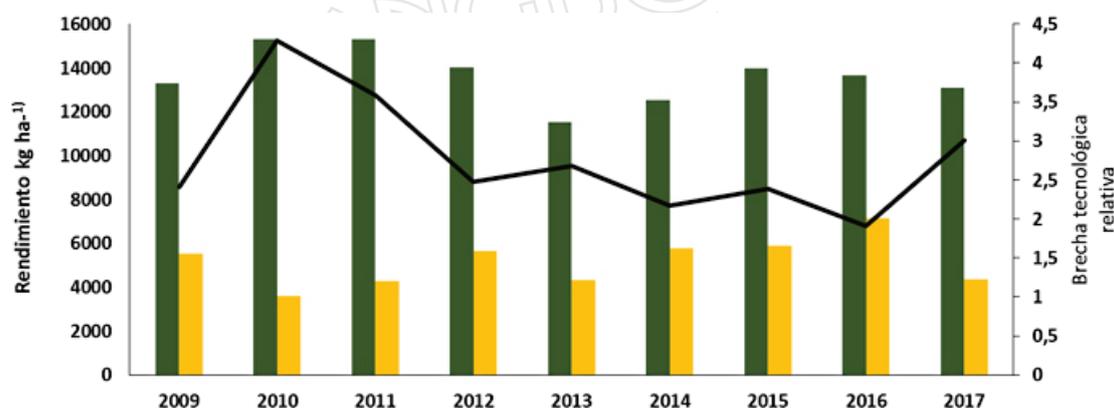


Figura N° 1. Rendimiento (Mg ha⁻¹) de maíz en experimentos de riego de la EEMAC (columnas verdes), promedio comercial (columnas amarillas) y brecha tecnológica (línea negra), entre 2009 y 2017.

justifica por los cambios que se producen en la RS incidente y por las temperaturas entre temporadas, causadas por la variabilidad de las PP. En años lluviosos, la RS incidente disminuye debido al incremento de días nublados; en cambio, en años con bajas PP, la RS incidente es mayor. Por tanto, controlar el agua disponible a través del riego no asegura la obtención de rendimientos absolutamente estables. No obstante, cabe resaltar que la variabilidad en el rendimiento provocada por la variación de la RS es sustancialmente menor que la generada por la inestabilidad de las PP.

En la figura 1, además se aprecia la evolución de la BTR para la serie analizada, la cual varió entre 2 y 4 aproximadamente, con un valor medio de 2,8. La BTR superior a 2 sugiere que la aplicación de riego suplementario en conjunto con diferentes prácticas de manejo, acordes a un ambiente de producción sin deficiencias hídricas, permitiría por lo menos duplicar el rendimiento de maíz.

Cabe destacar que el valor de la BTR más elevado se alcanzó en 2010. Mientras que en los experimentos se logró un rendimiento máximo de 15,5 Mg ha⁻¹, en el caso de la producción comercial el rendimiento promedio fue de 3,5 Mg ha⁻¹, es decir el menor de la serie considerada. Esta temporada fue un año “Niña”, con PP inferiores al promedio, acompañadas de valores de RS elevados. En los experimentos, el ajuste de la disponibilidad hídrica a través del riego permitió capitalizar la RS incidente en una producción de MS elevada y a su vez transformar una parte significativa de la misma en grano (Giménez *et al.*, 2014). La producción comercial de maíz en 2010 presentó una etapa del ciclo con deficiencias hídricas severas, las que provocaron bajas tasas de crecimiento del cultivo que afectaron en forma determinante el número de granos fijado y, por ende, el rendimiento.

En la temporada 2016, por el contrario, las PP durante el ciclo prácticamente duplicaron al promedio de la zona y además se produjeron escasos eventos de lluvia, con una distribución medianamente ajustada a los requerimientos del cultivo y con valores de RS elevados. Esta combinación de factores climáticos permitió obtener los rendimientos comerciales mayores de la serie considerada y consecuentemente la BTR menor.

En la Figura 2, se muestran los resultados en soja, los rendimientos de los experimentos con riego variaron entre 3,9 y 7,5 Mg ha⁻¹ y en la producción comercial la variación se ubicó entre 1,2 y 2,9 Mg ha⁻¹. Las BTR estimadas fueron similares a

las de maíz, es decir variaron entre 2 y 4 con un promedio de 2,7. La diferencia de rendimiento promedio entre los ensayos de riego y la producción comercial fue de 3,7 Mg ha⁻¹, variando entre 2,3 y 5,5 Mg ha⁻¹.

Si bien en maíz era esperable que el rendimiento experimental fuera claramente superior al comercial por la aplicación de riego, en soja, existía un menor grado de certeza porque la especie posee como característica morfo-fisiológica principal, una elevada plasticidad para tolerar períodos con deficiencias hídricas. Asimismo, la información nacional del rendimiento potencial de soja, al inicio de la serie, era escasa, ya que prácticamente no se registraba información experimental del cultivo con riego publicada y a nivel mundial la soja se realiza mayoritariamente en seco.

La variabilidad interanual del rendimiento medida a través del CV fue similar en los experimentos y en la producción comercial con valores de 20 y 22 %, respectivamente. Se interpreta que una parte significativa de la variabilidad, en ambos escenarios, estuvo influenciada por dos temporadas muy contrastantes. En la temporada 2017, en los experimentos se obtuvieron rendimientos bajos para condiciones de riego, que no superaron las 4 Mg ha⁻¹. La interpretación es que las temperaturas máximas ocurridas durante varios días del período crítico de determinación del rendimiento, superiores a 32 °C (García y Veiga, 2019), fueron responsables de la disminución significativa del número de granos y esto redujo el rendimiento potencial. Por otra parte, en la producción comercial el rendimiento fue el más bajo de la serie, básicamente por las deficiencias hídricas ocurridas en las etapas reproductivas del cultivo. En síntesis, en la temporada 2017, tanto a nivel experimental como comercial, se obtuvo el menor rendimiento. En cambio, en 2016 el rendimiento fue el más alto en los experimentos y en la producción comercial 7,5 y 2,9 Mg ha⁻¹, respectivamente. En este caso, ocurrió una situación ambiental similar a la que se detalló en maíz, se combinaron PP elevadas conjuntamente con valores de RS altos.

Importa destacar un aspecto que se constató en los experimentos de soja y que fue la respuesta en rendimiento al incremento de la RS. En las temporadas en que la RS incidente total fue elevada y superior a 3.200 MJ m⁻² durante el ciclo como en 2010, 2011 y 2016, los rendimientos experimentales fueron los mayores de la serie y variaron entre 6,2 y 7,5 Mg ha⁻¹ (Larrama, 2019).

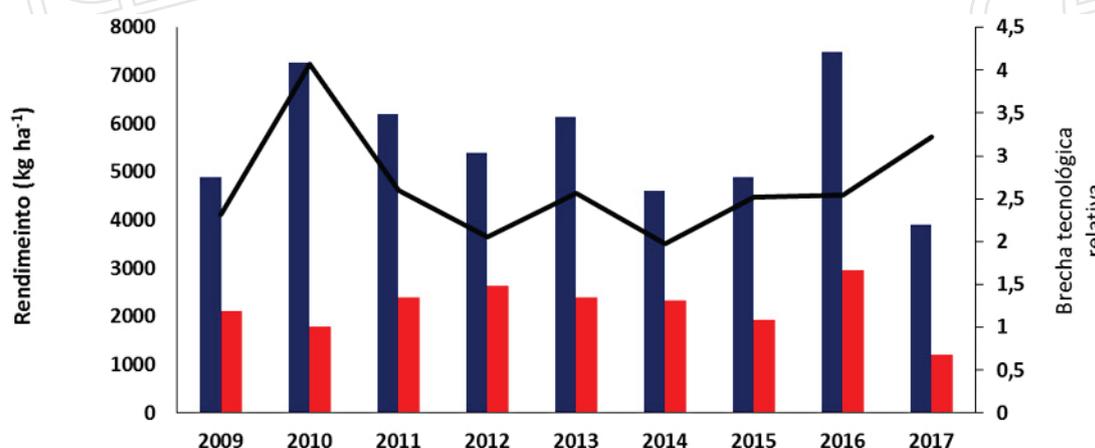


Figura N° 2. Rendimiento (Mg ha⁻¹) de soja en experimentos de riego de la EEMAC (columnas azules), promedio comercial (columnas rojas) y brecha tecnológica (línea negra), entre 2009 y 2017.

3. EVAPOTRANSPIRACION DE CULTIVOS

En las figuras 3 y 4, se muestra la evapotranspiración de cultivo (ETc), es decir la evapotranspiración de los cultivos que se produce sin deficiencias hídricas y la evapotranspiración real (ETr) o sea la evapotranspiración en condiciones de secano, para maíz y soja respectivamente, en la serie comprendida entre 2009 y 2017. En ambas figuras, se puede constatar que excepto en 2009, la ETr fue menor que la ETc, lo indica que en general, los cultivos realizados en secano evapotranspiran menos que la demanda evaporativa atmosférica. En la temporada agrícola estival 2009, las PP totales sumaron 1.500 mm entre noviembre y marzo, es decir cuatro veces superior al promedio; solo bajo esa situación la ETr pudo igualar a la ETc. Los resultados de evapotranspiración obtenidos en la serie analizada concuerdan con trabajos de modelización anteriores, que concluyeron que los cultivos de verano realizados en secano en el litoral del país presentan deficiencias hídricas promedio de 35 % valoradas a través de la diferencia entre la ETc y la ETr (Giménez y García Petillo, 2011).

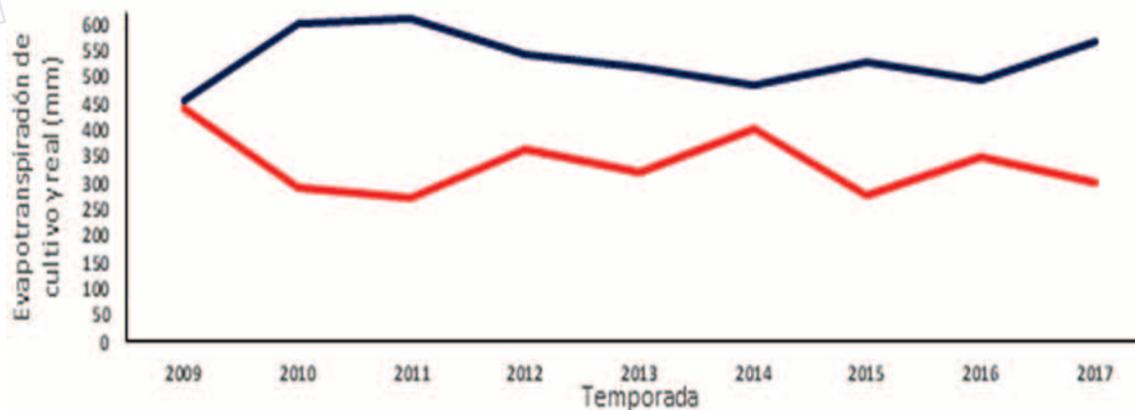


Figura N° 3. Evapotranspiración (mm) de cultivo (línea azul) y evapotranspiración (mm) real (línea roja) de maíz, entre 2009 y 2017.

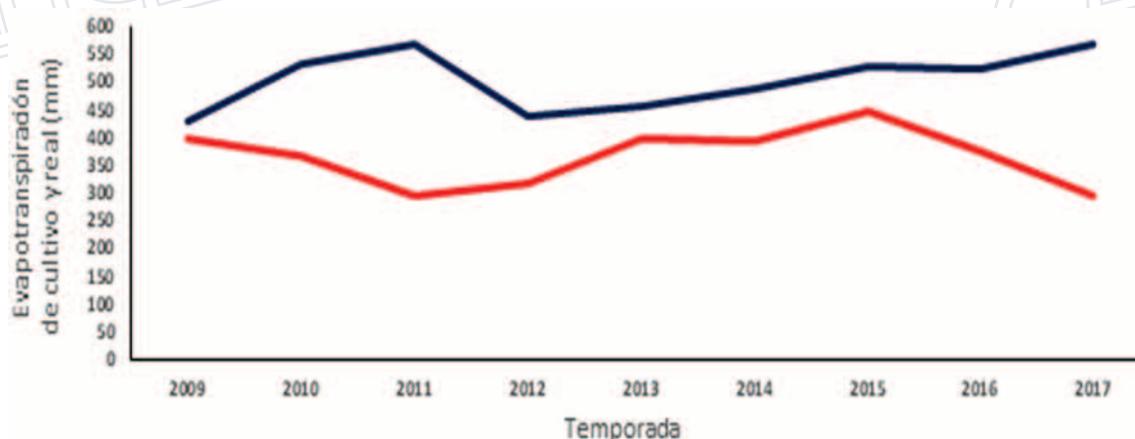


Figura N° 4. Evapotranspiración (mm) de cultivo (línea azul) y evapotranspiración (mm) real (línea roja) de soja, entre 2009 y 2017.

4. COMPONENTES TECNOLÓGICOS PARA LOGRAR RENDIMIENTOS POTENCIALES

4.1. MANEJO DEL RIEGO: REGAR vs AGREGAR AGUA

El riego agrícola es la práctica tecnológica de aportar agua a un cultivo con determinados criterios que permitan satisfacer las necesidades hídricas provocadas por las demandas evaporativas atmosféricas. En las regiones de climas áridos y semiáridos, el riego ocupa un lugar determinante en la tecnología de producción, ya que es la fuente principal de agua que tienen los cultivos para crecer. Por tanto, se debe realizar en base a las necesidades totales de los cultivos y la planificación no presenta mayores complicaciones.

En cambio, en climas templados, las PP realizan un aporte significativo al consumo de agua y en general contribuyen con la mayor proporción de las necesidades hídricas. En esta situación, las decisiones de riego requieren un compromiso mayor, la planificación se debe realizar en base a información objetiva de corto plazo y las decisiones difieren en cada temporada y cultivo. Se debe conocer el funcionamiento fisiológico del cultivo a regar, principalmente la sensibilidad de las distintas etapas de desarrollo a las deficiencias hídricas y las respuestas productivas a disponibilidades hídricas diferentes. Asimismo, se requiere caracterizar las propiedades hidrológicas del suelo y las demandas evaporativas. Este conjunto de parámetros debe permitir estimar la evolución del agua en el suelo para cortos periodos. En base a esta información y a los criterios de manejo del riego definidos, se debe decidir cuándo y cuánto regar.

Los criterios de manejo del riego pueden considerar umbrales fijos de agua disponible en el suelo o variables de acuerdo a la etapa de desarrollo del cultivo. La estrategia de riego mayormente utilizada pretende satisfacer la demanda hídrica total, y es denominada riego suplementario, es decir el riego suplementa al aporte que realizan las PP hasta llegar a cubrir la demanda evaporativa total.

Otras alternativas de manejo del riego surgen a partir de la escasez de agua que ocurre en varias regiones del mundo

y que ha llevado a estudiar estrategias de riego que aportan menos agua que el total requerido, intentando así disminuir el uso de agua en la agricultura, ya que a nivel mundial y también nacional, se utiliza en riego de cultivos el 70 % del agua dulce disponible (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Se intenta disminuir el aporte de agua sin que ocurran pérdidas significativas de rendimiento, esta estrategia se denomina riego deficitario (Feres y Soriano, 2007). Una alternativa que requiere mayor profundidad de conocimientos es el riego deficitario controlado, en que además de concebir una disminución del riego, se considera la sensibilidad diferencial a la disponibilidad hídrica de las diferentes etapas de desarrollo de cada cultivo. Por tanto, el aporte del riego disminuye en las etapas con sensibilidad menor (Girona *et al.*, 2014); en este caso, se debe determinar cuándo y cuánto es posible disminuir el riego sin que ocurran pérdidas de rendimiento significativas.

4.2. MANEJO DE CULTIVOS SIN RESTRICCIONES HÍDRICAS

El manejo agronómico de los cultivos de verano realizados en secano, en general, se direcciona a estrategias defensivas que permitan disminuir el riesgo productivo. Estas decisiones se basan en que, bajo condiciones de secano, no se controla el factor de mayor determinación del rendimiento. Como se indicó, los ambientes de producción agrícolas estivales en general muestran disponibilidades de agua deficitarias y variables. Por consiguiente, aumentar la disponibilidad hídrica a través del riego y aplicar estrategias de manejo de cultivos defensivo, es contradictorio.

En ese entendido, el manejo agronómico de los cultivos de verano con riego debe aplicar las prácticas tecnológicas de procesos y de insumos que permitan obtener el mayor rendimiento en cada ambiente de producción. Las principales prácticas de manejo que en situaciones de riego deben ser modificadas, se deben definir considerando las características de cada cultivo y las posibilidades de adaptación a ambientes sin restricciones hídricas.

El maíz es una especie de crecimiento determinado con escasa capacidad plástica, tanto en las etapas vegetativas como en las reproductivas. Por consiguiente, el incremento de la población es una práctica de manejo relevante para aprove-



char un ambiente sin deficiencias hídricas y con ello interceptar mayor RS. La investigación demostró que en maíz con riego el rango de población que se adapta mejor varía entre 85.000 y 120.000 pl. ha⁻¹ y el ajuste final depende de las características del híbrido a utilizar (Rameau y Van Den Dorpel, 2016; Carter y Petrella, 2014; Giménez, 2000).

Por otra parte, se debe mejorar la situación nutritiva del cultivo realizado con riego en relación a seco, a través del incremento de la fertilización principalmente nitrogenada, ya que la producción de grano es superior con riego y por tanto aumenta el consumo de nutrientes. Los requerimientos de nitrógeno en maíz varían entre 20 y 22 kg por tonelada de grano producida (Correndo y García, 2014). El ajuste de la fertilización dependerá del aporte que realice el suelo, las expectativas de rendimiento y la estrategia utilizada de aplicación de fertilizantes.

Un factor de manejo que se debe modificar en maíz con riego es la fecha de siembra. En seco, se utilizan fechas de siembra que permitan escapar a las demandas atmosféricas mayores durante el período crítico, las que ocurren en el mes de enero, por tanto, las siembras mayoritarias se realizan temprano en setiembre, o tarde en diciembre. En condiciones sin estrés hídrico, el objetivo debe ser ubicar el período crítico en situaciones de máximas demandas atmosféricas para fijar la mayor cantidad de C atmosférico posible. Las fechas de siembra ubicadas entre octubre y noviembre son las que permiten expresar los mejores rendimientos de maíz sin deficiencias hídricas (Giménez y Rovegno, sp.).

En soja, las prácticas de manejo de mayor significancia en la determinación del rendimiento son la fecha de siembra y la elección del GM, la combinación de estos dos factores de manejo es determinante en seco y también bajo condiciones de riego. En este cultivo, existe una gran amplitud de materiales genéticos disponibles, en relación a la duración del ciclo, y esto a su vez modifica el ambiente de producción al que están sometidas las diferentes etapas del cultivo. Las variedades de ciclo corto pertenecientes a los GM III largo a V corto, son las que presentan mayor potencial de rendimiento y menor plasticidad vegetativa y reproductiva. Además, ubican temporalmente las

etapas reproductivas antes que las variedades de ciclo medio y largo, y por tanto presentan durante estas etapas, mejores condiciones de RS y temperaturas.

En la producción comercial de soja en seco, se utilizan mayoritariamente variedades de ciclo medio y largo de los GM V largo a VII debido a que este tipo de material presenta mayor plasticidad y adaptación a situaciones hídricas variables (Bai-gorri, 2004). En soja con riego se deben utilizar variedades de ciclo corto de alto potencial de rendimiento, esto difiere con la estrategia frecuentemente planteada para seco.

La fecha de siembra permite ubicar las etapas de desarrollo más importantes en diferentes condiciones ambientales. En el caso de soja con riego, se debe intentar ubicar el período crítico en situaciones de mayor demanda atmosférica (Giménez, 2007), por ese motivo las siembras tempranas ubicadas desde mediados de octubre a principios de noviembre son las que logran mejores rendimientos (Larrama, 2019).

5. CONSIDERACIONES FINALES

Los resultados logrados en la experimentación con riego suplementario en maíz y soja permiten asegurar que existe un potencial de producción de granos escasamente aprovechado en el país. Para lograr concretar los rendimientos potenciales es necesario manejar el riego con información edafoclimática objetiva y aplicar un conjunto de prácticas de manejo a los cultivos de acuerdo a ambientes de producción sin restricciones hídricas.

La información experimental provoca desafíos económicos, culturales y técnicos. El riego permite disminuir una parte significativa de la incertidumbre productiva y económica que presenta la agricultura estival, incrementar la fijación de C, mejorar la productividad de los cultivos y, de esa manera, aportar a que la agricultura colabore en la construcción de la intensificación sostenible de los sistemas de producción extensivos. 

BIBLIOGRAFÍA CITADA

Bai-gorri, H. 2004. Criterios para la elección y el manejo de cultivares en el Cono sur. En: Díaz Zorita M. y Duarte G. A. (Eds.). Manual Práctico para la producción de soja. Buenos Aires, Hemisferio Sur, 2004. pp 53-54.

Camps, G. y Canela, M. 2018. Evaluación del efecto productivo de diferentes estrategias de riego en maíz. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía. Udelar.

Canosa, G. y Prieto, C. 2013. Estudio del efecto de las deficiencias hídricas sobre el rendimiento de soja. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía. Udelar.

Capurro, M.; Beretta, A.; García, C.; Sawchik, J.; Puppo, L. 2017. Rendimiento de la soja en respuesta a distintas dosis y momentos de riego. Agrociencia (Uruguay). 21(2): 65-76.

Carter, G. y Petrella, P. 2014. Estudio de distintas poblaciones y dosis de nitrógeno en maíz bajo riego. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía. Udelar.

Correndo, A. y García, F. 2014. Bases de la nutrición del cultivo de maíz. IPNI Cono Sur. 6. En: Maíz: Técnicas probadas para una producción rentable. 1ra Ed. marzo 2014. AACREA. Buenos Aires: 37-44.

Díaz, R. y Abadie, T. 1997. Rendimiento potencial y brechas tecnológicas de trigo en el Uruguay y en el Cono Sur. En: Kohli y Martino (Eds.). Explorando altos rendimientos de trigo. INIA La Estanzuela. CIMMYT.

DIEA-MGAP. 2018. Anuario Estadístico Agropecuario. Dirección de Estadísticas Agropecuarias. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Montevideo. Uruguay.

DIEA. 2018. Encuesta agrícola Invierno 2018. Serie de encuestas N° 353. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Montevideo. Uruguay.

Fereres, E. y Soriano, M. 2007. *Deficit irrigation for reducing agricultural water use. Journal of Experimental Botany*, 58, 147 - 159.

Foster, P. y Rovegno, F. 2015. Efectos de diferentes disponibilidades hídricas en distintas etapas fisiológicas de soja sobre el rendimiento. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía. Udelar.

García y Santos, F. y Lemos, S. 2016. Riego deficitario en maíz. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía. Udelar.

García, P. y Veiga, L. 2019. Efecto del grupo de madurez, la población y la distancia entre hileras sobre el rendimiento de soja en siembras tardías con riego. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía. Udelar.

Giménez, L.; Canosa, G.; Prieto, C.; Grasso, J.P.; Montero, A.; Rameau, M.;

Rosa, A.; Arévalo, R. 2014. Respuesta al riego suplementario en cultivos de verano y evaluación de pérdidas de rendimiento por deficiencias hídricas. En: Riego Suplementario en Cultivos y Pasturas. Serie FPTA 55. INIA Uruguay.

Giménez, L. y García Petillo, M. 2011. Evapotranspiración de cultivos de verano para dos regiones climáticamente contrastantes de Uruguay. Agrociencia (Uruguay). 15 (2): 100-108.

Giménez, L. 2007. Comportamiento fenológico de diferentes grupos de madurez de soja (Glicine max) en Uruguay. Ubicación temporal del periodo crítico. Agrociencia (Uruguay). 11 (2):1-9.

Giménez, L. 2000. Efecto del riego sobre el rendimiento y calidad de algodón y maíz. Seminario de Investigación aplicada. PRENADER. INIA. Las Brujas.

Giménez, L. y Rovegno, F. sp. Efectos sobre el rendimiento de diferentes fechas de siembra en maíz.

Girona, J.; Bonastrí, N. y Marsal, J. 2014. Estrategias de gestión del riego eficiente y sostenible: Riego Deficitario Controlado o una oportunidad inteligente en el uso de recursos naturales. En Riego de Cultivos y Pasturas 3er Seminario Internacional Grupo de Desarrollo del Riego. Facultad de Agronomía - INIA.

Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and human well-being: synthesis.* Island Press, Washington, DC. 137 pp.

Larrama, J. 2019. Efecto de la fecha de siembra, el grupo de madurez y la interacción sobre el rendimiento de soja. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía. Udelar.

Lobell, D.B.; Cassman, K.G.; Field, C.B. 2009. *Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes.* Ann. Rev. Environ. Resour. 34, 179-204.

Rameau, D. y Van Den Dorpel, M. 2016. Respuesta del maíz a la población y a dos dosis de nitrógeno en condiciones de riego. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía. Udelar.

Rizzo G. 2018. Cuantificando las brechas de producción de soja en Uruguay y variables que la determinan. Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias. Facultad de Agronomía. Udelar.

Sawchik, J.; Mas, C.; Pérez Gomar, E.; Bermúdez, R.; Pravia, V.; Giorello, D.; Ayala, W. 2010. Riego suplementario en pasturas; antecedentes de investigación nacional. In: Seminario Internacional de Riego en Cultivos y Pasturas (1°. 2010 Paysandú, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, Uruguay, INIA. pp 141-153.

Riego: “La tecnología de mayor impacto en la producción agrícola”



Foto: Gastón Sebben

Gastón Sebben

Técnico proyecto RUU-ANDE
gaston.sebben@gmail.com

Hernán Masoller

Presidente RUU, asesor agrícola
hmasoller@yahoo.com

Santiago Arana

Coordinador proyecto RUU-ANDE, asesor agrícola
santiago.arana@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

Si bien el riego de cultivos cereales y oleaginosos en Uruguay no es una práctica muy extendida, desde el año 2009-10 se verifica un incremento en la adopción de la tecnología principalmente a través del riego por aspersión con pivote central. Según DIEA en 2011 se regaban 8.580 ha (DIEA, MGAP, 2011), mientras que el relevamiento del área regada de cultivos y pasturas con pivote central realizado a la fecha totalizan 24.236 ha regadas, con un total de 411 equipos de riego (DIEA, MGAP, 2018b). Dentro de esa área, Regadores Unidos del Uruguay (RUU) nuclea 18.599 ha regadas, ubicándose las mismas en distintas localidades y tipos de suelo, con distinto manejo agronómico de los cultivos regados y rotación de cultivos, por lo que cuenta con una amplia base de información de manejo y rendimiento de los distintos cultivos a escala comercial. El análisis de esta base de datos, puede ser un aporte relevante para mejorar el diagnóstico de los rendimientos obtenidos actualmente, y para poder identificar factores de manejo de cada cultivo asociados a mayores rendimientos.

Dicha información es de interés tanto para proyectos de riego que actualmente se encuentran en funcionamiento, dando el soporte de información de manejo de cultivos necesario para maximizar los rendimientos, como para la formulación de nuevos proyectos de riego, donde el nivel de rendimiento alcanzable es un factor clave para la viabilidad económica.

2. EVOLUCIÓN DE CULTIVOS REGADOS EN URUGUAY

En la última década se dio la mayor tasa de incremento de la superficie de cultivos regados en Uruguay —sin contar el cultivo de arroz—, pero aun así representa solo el 2 % en la zafra 2017-18 (DIEA. MGAP, 2018a).

La mayor evolución de dicha área regada se ha dado a través de pivotes centrales móviles (126), los que superan en número y área afectada a los pivotes fijos (61). Esto adquiere importancia a nivel predial a la hora de definir la secuencia de cultivos sembrados en las áreas con riego, ya que los equipos con más de una posición deben satisfacer la demanda atmosférica que no es aportada por precipitaciones, de más de un cultivo por zafra.

El área regada de cultivos agrícolas en las últimas tres zafras, se encuentra equilibrada entre los cultivos de maíz (10.242, 7.784 y 10.100 ha en las zafras 2015-16, 2016-17 y 2017-18, respectivamente) y soja (7.910, 8.999 y 13.700 ha en las zafras 2015-16, 2016-17 y 2017-18, respectivamente), mientras el sorgo en la zafra 2017-18 ocupó solamente 400 ha (DIEA, MGAP, 2018a). Desde la zafra 2016-17 el cultivo de soja es el que mantiene la mayor proporción del área de cultivos bajo riego.

En la figura 1 se ve como dentro del área relevada por RUU, la soja en la presente zafra sigue manteniendo la dominancia en cuanto al área sembrada bajo riego, seguida por el maíz, en donde no se tienen registros en la base de RUU de sorgo con destino a grano seco sembrado bajo riego. Además, se observa un área de 1.017 ha de festuca, siendo la mayor parte de la misma con destino a producción de semilla.



3. ALTOS RENDIMIENTOS DE MAÍZ Y SOJA CON RIEGO

En las últimas tres zafras de cultivos de verano, según las encuestas realizadas por DIEA los rendimientos de maíz con riego en promedio se ubican entre 8.416 y 9.711 kg ha⁻¹, y los de soja entre los 2.824 y 3.492 kg ha⁻¹ (Cuadro 1), sin diferenciar entre cultivos de primera y de segunda. La variabilidad entre años en los rendimientos promedios de ambos cultivos regados a escala nacional, siguen el mismo patrón que los rendimientos obtenidos en secano, lo que estaría indicando que la principal limitante del rendimiento con riego entre zafras siguió siendo la disponibilidad hídrica, asociado a patrón de lluvias contrastante. Esto también se puede observar en el cuadro 2, donde se ve que las últimas dos zafras de cultivos de varano fueron muy contrastantes en el nivel de lluvias, obteniendo rendimientos medios mayores en la zafra 2016-17 con el doble de lluvias que en la zafra 2017-18.

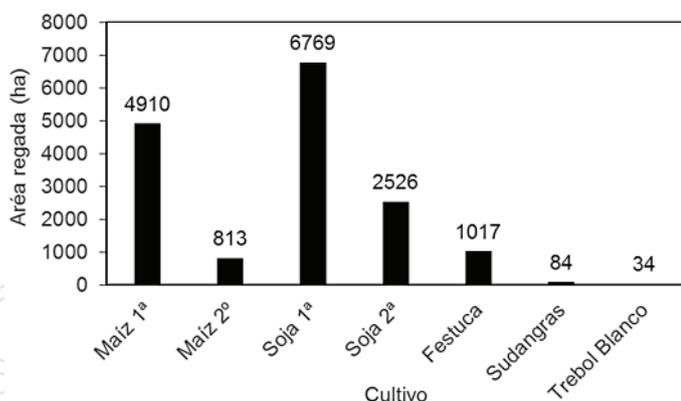


Figura 1. Áreas de cultivos y pasturas regadas de RUU en la zafra 2018-19.

Zafra	Rendimiento Riego (kg ha ⁻¹)		Rendimiento Secano (kg ha ⁻¹)	
	Maíz	Soja	Maíz 1ª (2ª)	Soja 1ª (2ª)
2015-16	8546	2828	6286 (4550)	1932 (1947)
2016-17	9711	3493	7500 (6300)	3020 (2808)
2017-18	8416	2824	4427 (1782)	1209 (1162)

Cuadro 1. Rendimientos promedios con riego y en secano en las últimas tres zafras. Fuente: Adaptado de DIEA-MGAP, Encuesta Agrícola “Invierno” 2016, 2017 y 2018.

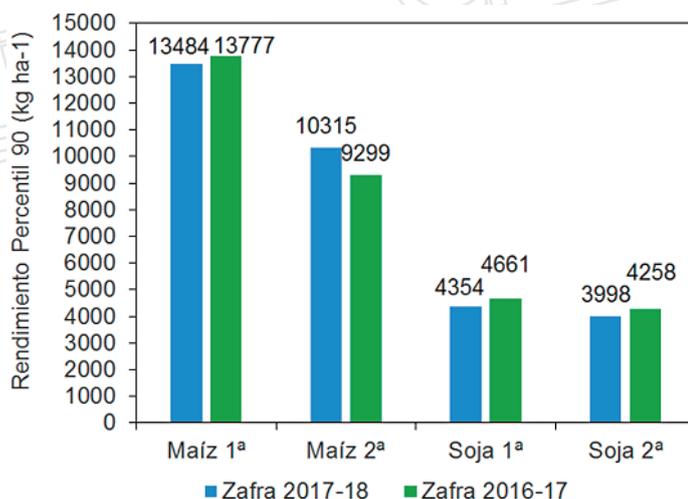


Figura 2. Percentil 90 de rendimientos de maíz y soja de primera y segunda con riego en las zafras 2016-17 y 2017-18.

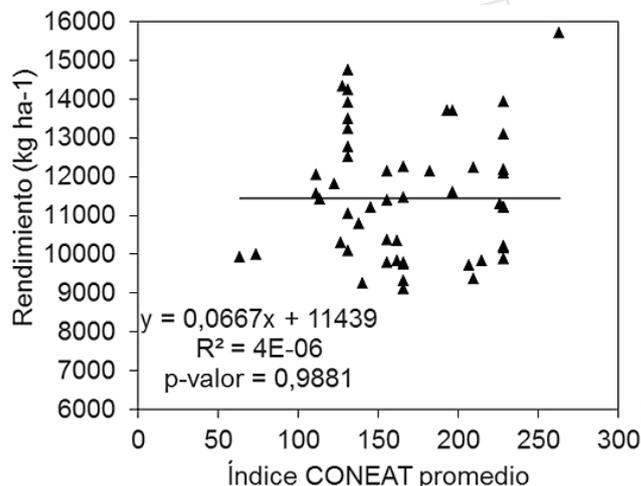


Figura 3. Relación del rendimiento con el índice CONEAT promedio (ponderado según el área de cada grupo CONEAT en cada círculo de riego).

Los rendimientos obtenidos en las últimas dos zafras en las chacras de RUU con riego en maíz y soja muestran una importante brecha entre chacras, principalmente explicado por una brecha tecnológica en el manejo de los cultivos.

En la figura 2 se muestra el percentil 90 de rendimiento corregido a 14% de humedad, cuantificando solamente el área cosechada con riego dentro de cada chacra, siendo que el área con rendimiento superior al percentil 90 en maíz de primera y soja de primera es de 689 y 639 ha, respectivamente.

A nivel experimental, en Paysandú, se han obtenido rendimientos de maíz de primera que varían entre los 13.500 y 15.300 kg ha⁻¹ (Giménez, 2017). En una serie continuada de ensayos de maíz y soja con bienestar hídrico (más de 40 y 60 % de agua disponible en etapas no críticas y en etapas críticas respectivamente, siendo estas últimas las comprendidas entre R4 y R6) en todo el ciclo desde 2009 hasta el 2017 se ha obtenido un promedio de rendimientos de 13.628 kg ha⁻¹ en maíz y de 5.611 kg ha⁻¹ en soja (Giménez, s.p.). Según Giménez (2014) los rendimientos de maíz y soja con riego son variables entre zafras, según la oferta de radiación solar (Giménez, 2014).

El rendimiento máximo obtenido en chacras de maíz de primera con riego fue de 15.695 y 14.739 kg ha⁻¹ para las zafras 2016-17 y 2017-18 (Cuadro 2), similares a los reportados por la investigación nacional y sin relación con el Grupo de suelo

CONEAT en el que se produjo (Figura 3). Esto podría deberse a la respuesta del maíz a distintas prácticas de manejo, en situaciones productivas en que las deficiencias hídricas no se presentan como la principal limitante para el rendimiento.

En soja de primera con bienestar hídrico durante todo el ciclo, a nivel experimental se han reportado rendimientos que varían entre 4.900 y 7.300 kg ha⁻¹, variando de forma importante debido a la disponibilidad de radiación solar durante el período crítico de definición del rendimiento del cultivo entre zafras (Giménez, 2017).

El rendimiento máximo de soja de primera obtenido en chacras con riego fue de 5.164 y 5.077 kg ha⁻¹ en las zafras 2016-17 y 2017-18, respectivamente. Por tanto, existe una brecha con los rendimientos obtenidos en condiciones experimentales y comerciales mayor que la cuantificada para maíz.

Los mayores rendimientos obtenidos de maíz y soja con riego se han logrado regando para satisfacer la demanda atmosférica incluso en el año con mayor nivel de precipitaciones del cuadro 2 (2016-17), por lo que, el riego en cultivos que tradicionalmente se realizan en secano como el maíz y la soja, no solamente impiden la pérdida de rendimientos en años con deficiencias hídricas marcadas como el 2017-18, si no que permitieron aumentar los rendimientos complementando las lluvias en años catalogados como "lluviosos" como el 2016-17.

Rendimiento a 14 % de humedad (kg ha ⁻¹)					
Zafra 2017-18	Promedio Secano	Promedio Riego	Maximo Riego	Riego (mm)	Lluvia (mm)
Maíz 1ª	5519	10366	14739	255	403
Maíz 2ª	4808	9582	11212	275	249
Soja 1ª	1247	3363	5077	187	357
Soja 2ª	854	3348	4561	136	203
Zafra 2016-17	Promedio Secano	Promedio Riego	Maximo Riego	Riego (mm)	Lluvia (mm)
Maíz 1ª	7945	11600	15695	197	806
Maíz 2ª	6025	8124	9450	140	512
Soja 1ª	3838	4131	5164	72	677
Soja 2ª	3489	3835	4400	49	693

Cuadro 2. Rendimiento máximo y promedio con riego y en secano de maíz y soja, riego y lluvia, de las últimas dos zafras de Regadores Unidos del Uruguay.

4. MANEJO DE MAÍZ CON RIEGO

En maíz el manejo de la fecha de siembra, la población, la uniformidad temporal y espacial de plantas, la fertilización nitrogenada y el riego se han identificado como las prácticas de manejo que presentan mayor importancia para alcanzar altos rendimientos.

En maíz de primera se identificó la primera quincena de octubre como la época de siembra que permitió obtener los mayores rendimientos con riego (Figura 4a).

En cuanto al manejo de la fertilización nitrogenada, se identificó una tendencia a aumentar los rendimientos en maíz de primera con el aumento de la dosis de N (Figura 4b). Las chacras con rendimientos mayores al percentil 90 (13.777 kg ha⁻¹) se fertilizaron en promedio con 201 kg ha⁻¹ de nitrógeno. En este grupo de chacras existieron variaciones en el número de veces en que se fraccionó esa dosis, el método de fertilización (terrestre vs. fertirriego) y en la fuente de N aplicada, por lo que solo se presentan como valores descriptivos de los niveles de fertilización con los que se han obtenido los rendimientos más altos de maíz a escala comercial. La respuesta a la dosis total de N es concordante con resultados experimentales (INIA, s,p).

Existe una tendencia general a aumentar los rendimientos a medida que aumenta la población lograda en maíz con riego. Además, los rendimientos máximos van disminuyendo a medida que la población decrece, por lo que, si bien se han obtenido altos rendimientos con poblaciones medias (75 a 80 mil plantas ha⁻¹), los techos de rendimiento que hasta el momento se alcanzan en chacras comerciales, tienden a ser menores a medida que la población disminuye (Figura 5). Al analizar la distribución de rendimientos, las chacras que lograron rendimientos dentro del percentil 90, tuvieron en promedio una población de 91.667 plantas ha⁻¹, y las chacras ubicadas entre el percentil 50 y 90 de rendimientos, tuvieron en promedio de 76.927 plantas ha⁻¹.

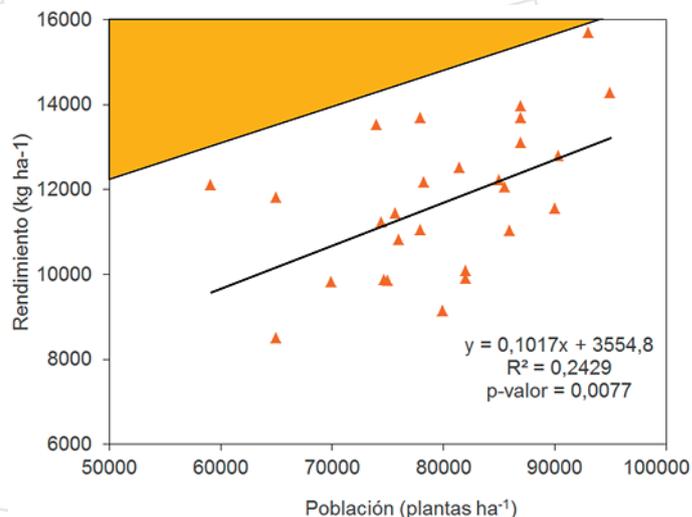


Figura 5. Relación entre la población de plantas y el rendimiento de maíz con riego.

La población lograda en maíz es la práctica de manejo que explica la mayor proporción del rendimiento en condiciones de agua no limitante, llegando a explicar el 53 % del rendimiento (Fassio *et al.*, 2018). Al aumentar la población en esquemas de alta productividad, la uniformidad temporal y espacial adquieren una importancia adicional, pudiendo alcanzar a disminuir el rendimiento un 19-33 % por una alta desuniformidad temporal (desfase fenológico de 4 hojas en el 33 % de las plantas sobre la hilera) (Giuliano *et al.*, 2006), y un 10-15 % por una alta desuniformidad espacial (Tollenaar y Wu, 1999).

El manejo de la fecha de siembra, la población y la fertilización nitrogenada no fueron condiciones suficientes para alcanzar el P90 de rendimiento. Dividiendo en dos grupos de chacras por rendimientos mayores y menores a 12.000 kg ha⁻¹ (valor cercano a la media de maíz con riego de RUU de la zafra 2016-17), las de mayores rendimientos fueron aquellas en las que lograron cubrir de manera más completa la demanda atmosférica de los meses de diciembre y enero

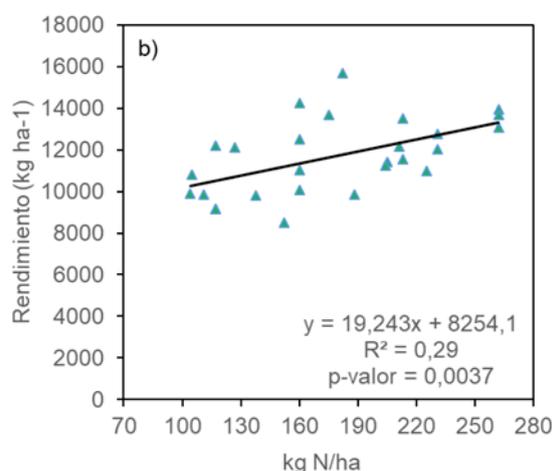
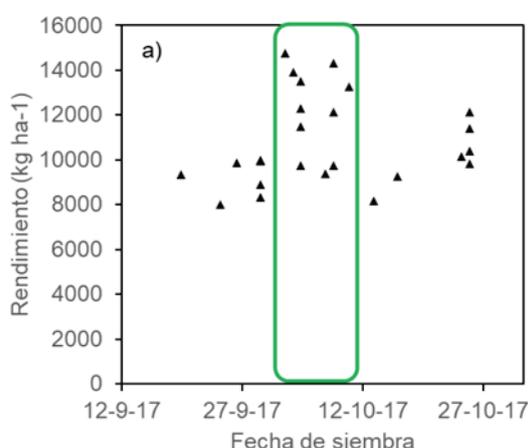


Figura 4. a) Relación entre rendimiento y fecha de siembra de maíz de primera 2017-18. b) Relación entre el rendimiento de maíz con riego y la fertilización nitrogenada.

(Figura 6), meses en los que se ubica el período crítico de definición del rendimiento de la mayor proporción de maíz de primera. En tanto, en las chacras con rendimientos por debajo de los 12.000 kg ha⁻¹ en promedio no se logró satisfacer la demanda durante el mes de enero. La disponibilidad de agua durante enero y febrero en los cultivos sembrados de primera es importante para tener un adecuado llenado de granos, ya que Rovegno Arbiza y Giménez (2017) encontraron disminuciones del rendimiento del entorno del 30 % por deficiencias hídricas severas durante esta etapa.

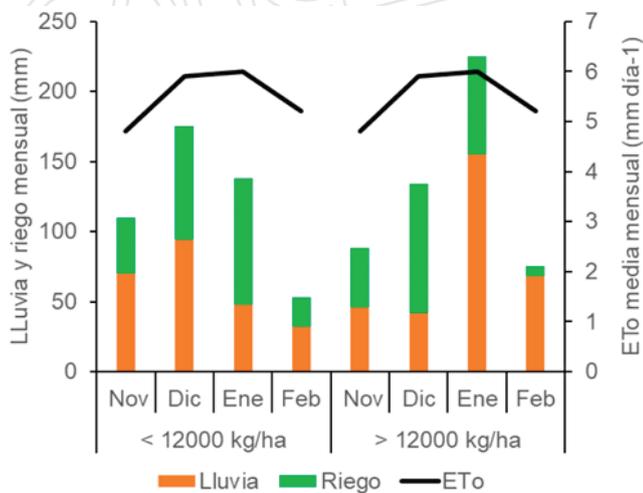


Figura 6. Riego y precipitaciones en chacras con rendimientos mayores y menores a 12.000 kg ha⁻¹ en la zafra 2017-18.

5. MANEJO DE SOJA CON RIEGO

En el caso de soja, las prácticas de manejo identificadas como de mayor relevancia para el logro de altos rendimientos, fueron la fecha de siembra, el grupo de madurez, la interacción fecha de siembra por grupo de madurez, y el riego.

La fecha de siembra en que obtuvo el mayor rendimiento en soja de primera fue la última década de octubre y primera de noviembre, con una tendencia clara a disminuir el rendimiento en siembras más tardías (Figura 7).

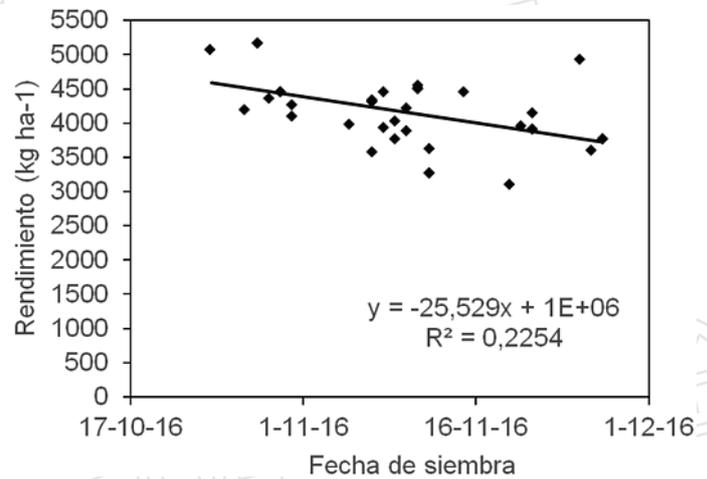


Figura 7. Relación entre el rendimiento y la fecha de siembra en soja con riego en la zafra 2016-17.

Considerando las tres chacras con mayores rendimientos para cada fecha de siembra y grupo de madurez, de manera de tratar de filtrar situaciones productivas con otras limitantes al rendimiento, los más elevados estuvieron asociados a siembras con grupos de madurez cortos —entre 3.8 y 5— (Figura 8).

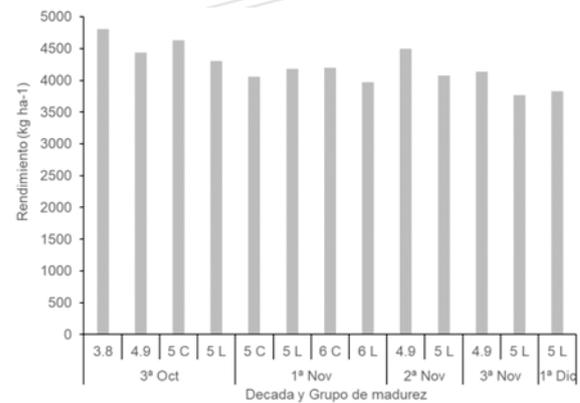


Figura 8. Relación entre el rendimiento y el grupo de madurez por fecha de siembra en la zafra 2016-17.

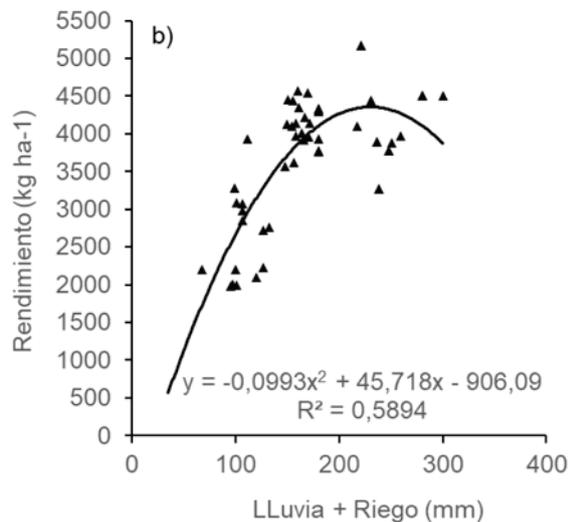
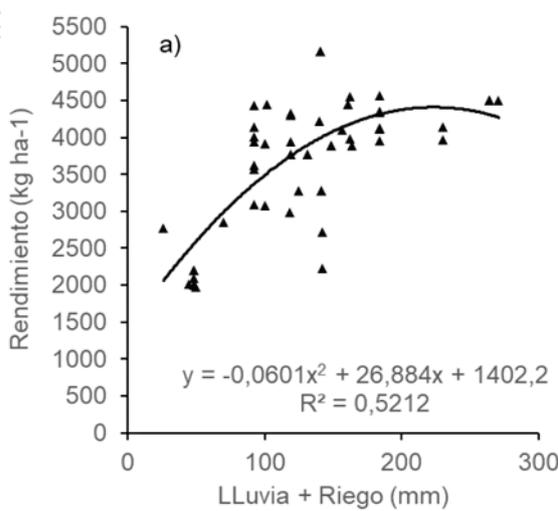


Figura 9. a) Relación entre rendimiento de soja y riego + lluvias en enero de 2017-18. b) Relación entre rendimiento de soja y riego + lluvias en febrero de 2017-18.

La disponibilidad hídrica durante los meses donde se ubican las etapas más críticas para la determinación del rendimiento de soja, fue el factor de mayor correlación con el rendimiento en la base de datos de RUU, ya que las precipitaciones más los riegos de los meses de enero y febrero explicaron más del 50 % del rendimiento del cultivo (Figura 9), obteniéndose coeficientes de correlación muy elevados para situaciones muy variadas en tipo de suelo y manejo de cultivos.

6. COMENTARIOS FINALES

En el caso de maíz, a escala comercial ha sido posible obtener rendimientos con riego tan elevados como los obtenidos por la investigación a nivel nacional. Se han identificado un grupo relativamente amplio de situaciones productivas en que los rendimientos se encuentran muy por encima de los rendimientos promedio de maíz con riego a escala nacional. Para alcanzar esos altos rendimientos es necesario ajustar todos los factores que lo determinan como fecha de siembra, población, fertilización y disponibilidad hídrica, ya que son los que explican la mayor variación en los rendimientos entre chacras. Este grupo de chacras que componen el percentil 90-100 de rendimientos, en promedio en las últimas dos campañas, han experimentado productividades del 202 % respecto al rendimiento promedio en seco en el caso de maíz de primera y de 181 % en maíz de segunda, siendo este último caso representado por siembras de segunda tempranas

de fines de noviembre a primeros días de diciembre.

En soja, el percentil 90 de rendimientos en las últimas dos zafras se ubicó con productividades de 177 y 190 % respecto a los rendimientos promedio en seco, siendo al igual que en el caso de maíz, obtenidos con variables de manejo distintas a las que generalmente aparecen como primera opción para manejar un cultivo de seco. A pesar de lo anterior, este cultivo a escala comercial en las últimas dos zafras no ha podido alcanzar los rendimientos máximos obtenidos en condiciones experimentales en Uruguay, por lo que es probable que el potencial de mejora de los rendimientos de soja con riego no haya encontrado aún un techo biológico y se pueda seguir mejorando los resultados del mismo.

AGRADECIMIENTOS

La información presentada fue recopilada en el marco del proyecto denominado *Diagnóstico de Limitantes y Herramientas para la Mejora de la Productividad de Sistemas Regados de Cereales, Oleaginosos y Pasturas*. Este proyecto está impulsado por la Agencia Nacional de Desarrollo en el marco del apoyo recibido por el instrumento Bienes Públicos Sectoriales ANDE 2017, y ejecutado por Regadores Unidos del Uruguay, por lo que se agradece especialmente a la ANDE y a los productores y empresas socias de RUU quienes aportaron toda la información para la confección de este trabajo. ♦

BIBLIOGRAFÍA

Giménez, L.; Canosa, G.; Prieto, C.; Grasso, J. P.; Montero, A.; Rameau, M.; Rosa, A.; Arévalo, R. 2014c. Respuesta al riego suplementario en cultivos de verano y evaluación de pérdidas de rendimiento por deficiencias hídricas. Riego suplementario en cultivos y pasturas. Montevideo, INIA. 66 p. (Serie FPTA-INIA no. 55).

Giménez, L., 2017. Deficiencias hídricas en distintas etapas fenológicas de maíz y soja y evaluación del modelo Aquacrop. Tesis Doctor en Ciencias Agrarias. Paysandú, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 234 p.

Giménez, L., 2018. Soja, ambiente y agua. 2018. Presentación Jornada Asociación Rural de Soriano. Mercedes, Uruguay. s.p. 2018.

Giuliano, D.; Cirilo, A.G.; Otegui, M.E. 2006. AIANBA. Desuniformidad espacial y temporal de plantas en el cultivo de maíz: influencia de la densidad y la distancia entre surcos. (en línea). Buenos Aires. Consultado 01 febrero de 2019. Disponible en <http://www.maizar.org.ar/vertext.php?id=181>

INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, UY). 2017. Pasado, Presente, Futuro. INIA La Estanzuela. Grupo de riego. Colonia, Uruguay. s.p. 2017. p 2.

MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2011. Censo General Agropecuario 2011. Montevideo. 142 p.

MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2016. Encuesta Agrícola "Invierno 2016". (en línea). Montevideo. 21 p. Consultado 01 feb.

2019. Disponible en http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/encuesta_agricola_invierno_2016.pdf

MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2017. Encuesta Agrícola "Invierno 2017". (en línea). Montevideo. 26 p. Consultado 01 feb. 2019. Disponible en http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/enc_agricola_inv2017.pdf

MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2018a. Encuesta Agrícola "Invierno 2018". (en línea). Montevideo. 5 p. Consultado 01 feb. 2019. Disponible en http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/comunicado_prensa_inv_2018_vf_002.pdf

MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2018b. Informe sobre riego en Uruguay. (en línea). Montevideo. 17 p. Consultado 01 feb. 2019. Disponible en http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/informe_riego_en_uruguay.pdf

Rovegno Arviza, F.C.; Giménez, L. 2017. Brechas de rendimiento por disponibilidad hídrica en diferentes etapas de desarrollo de maíz y soja. In: Simposio Nacional de Agricultura (5°. , 2017 Paysandú, Uruguay). Trabajos presentados. Paysandú, Uruguay, Facultad de Agronomía. pp. 81-90.

Tollenaar, M.; Wu, J. 1999. *Yield Improvement in Temperate Maize is Attributable to Greater Stress Tolerance*. Crop Science. 39 (6): 1597-1604.



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⁻¹, 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⁻¹ (MGAP. DIEA, 2018).

Similar comportamiento tuvo maíz, cuyo el rendimiento promedio nacional en la zafra 2017-18 se estimó en 4.340 kg.ha⁻¹, 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⁻¹ (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⁻¹ 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⁻¹, el cual duplicó al promedio obtenido bajo secano, sin embargo

bajo condiciones de riego se han registrado rendimientos de hasta 7 Mg.ha⁻¹ (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).

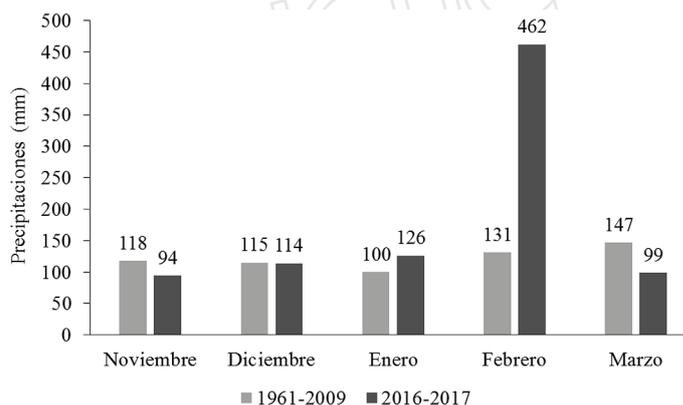


Figura 1. Perfil de resistencia mecánica a la penetración del suelo hasta 40 cm de profundidad para descompactado sub-superficialmente (D) y sin descompactar (SD) en dos sitios (2 y 3). Determinaciones realizadas 6 meses (primer cultivo) después de aplicado el tratamiento D. Fuente: Mozaquatro y Raffo,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

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 ⁻¹)	Fertilización de N a V6 (kg de N.ha ⁻¹)	Fertilización de N a V10 (kg de N.ha ⁻¹)
Soja	11/07/2016	0,4	DM 4915 IPRO	350000	--	--
Maíz	28-10-16	0,7	SYN 7822	100000	150	150

b. Soja RDC en PC

Emergencia	Vc	V1	V2	VT	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

b. Maíz RDC en PC

Emergencia	V1	V2	V3	VT	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

c. Soja RDC en V+PC

Emergencia	Vc	V1	V2	VT	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

c. Maíz RDC en V+PC

Emergencia	V1	V2	V3	VT	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

d. Soja RDC en PC+FI

Emergencia	Vc	V1	V2	VT	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

d. Maíz RDC en PC+LG

Emergencia	V1	V2	V3	VT	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

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 ΔS 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

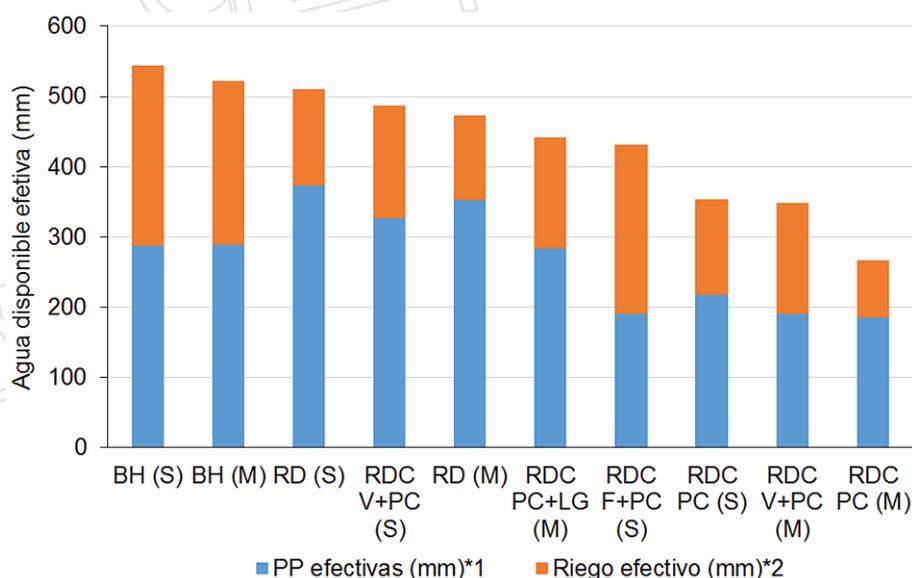


Figura 3. Agua efectiva (mm) en el cultivo de maíz (M) y soja (S) según estrategia de riego evaluada, compuesto por las precipitaciones efectivas y riegos aplicados. *1PP totales sin considerar las PP ocurridas por encima de la capacidad de campo. *2Considerado como el 90% del riego total aplicado.

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⁻¹ y en soja 6.798 kg.ha⁻¹ (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⁻¹ utilizando una población de 100.000 pl.ha⁻¹ y en torno a 14.000 kg.ha⁻¹ por Carter y Petrella (2013) y Callero (2014), con 80.000 pl.ha⁻¹ y 100.000 pl.ha⁻¹. 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⁻¹ 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⁻¹ (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⁻¹, las cuales no obtuvieron diferencias significativas con la estrategia de RDC en floración y PC logrando 5.523 kg.ha⁻¹ (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 ⁻¹)	MS al inicio del PC (kg.ha ⁻¹)	MS al final del PC (kg.ha ⁻¹)	TCC/ día durante el PC (kg.ha ⁻¹ .día ⁻²)	MS al final del ciclo (kg.ha ⁻¹)
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⁻¹) 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⁻¹.día⁻²). Valores con igual letra no difieren entre sí (p<0.05; Tukey).

Estrategias de riego	Rendimiento (kg.ha ⁻¹)	MS al inicio del PC (kg.ha ⁻¹)	MS al final del PC (kg.ha ⁻¹)	TCC/día (kg.ha ⁻¹ .día ⁻²)
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⁻¹), materia seca (MS) acumulada (kg.ha⁻¹) 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⁻¹.día⁻²). 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^o). 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

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.



Desarrollo del Riego en Uruguay: Desafíos y oportunidades para la cuenca del Río San Salvador

Foto: Gervasio Finozzi

Raúl López Pairet

Ingeniero Civil H/S, Máster en Explotación y Seguridad de Presas y Balsas. Director de Sigmaplus SRL. Área de investigación: Modelación numérica aplicada en hidrología, hidráulica y geotécnica.
raul.lopezpairet@sigmaplus.com.uy.

Gervasio Finozzi

Ingeniero Agrónomo, Coordinador Unidad de Agua y Ambiente, DGRN, MGAP.
gfinozzi@mgap.gub.uy

Paola Pedemonte

Ingeniera Civil H/A. Máster en Medio Ambiente. Unidad de Agua y Ambiente, DGRN, MGAP.
ppedemonte@mgap.gub.uy

Micaela Miranda

Ingeniera Civil H/A. Equipo Técnico en Sigmaplus SRL. Área de investigación: Modelación numérica aplicada en hidrología, hidráulica y geotécnica.
micaela.miranda@sigmaplus.com.uy.

1. INTRODUCCIÓN

Uruguay avanza por un proceso de evaluación de los factores que influyen en la matriz productiva del sector agropecuario (MGAP, 2015). La adaptación a la variabilidad climática, en particular a eventos extremos de sequía, la productividad por hectárea, el balance de materia orgánica en el suelo y el uso eficiente de los recursos disponibles son algunos de los factores tenidos en cuenta a la hora de tomar una decisión respecto a una inversión nueva y al rumbo de la actividad existente. El riego juega un papel fundamental en todos estos factores (Arenare, Couto y Fontán, 2018; Hill, 2016) por lo que el conocimiento en territorio de sus consecuencias se hace imprescindible.

La Estrategia de Fomento del Desarrollo de la Agricultura Regada en Uruguay (MGAP, 2013) lista como una de las acciones para la expansión del riego generar planes de manejo integrado y eficiente de los recursos naturales de uso agropecuario, que contemplen todos los usos del agua y sus escenarios de desarrollo. Para ello es necesario un enfoque que tenga como unidad territorial la cuenca.

El estudio "Caracterización de las Cuencas del río San Salvador, río Yí y río Arapey para fines de riego" (BRL Ingeniería S.A. y SIGMAPLUS SRL, 2016) dentro del Proyecto "Manejo Sustentable de los Recursos Naturales y Cambio Climático" del MGAP se enmarcó en la acción delineada en el año 2013. El objetivo general de dicho estudio fue al analizar el potencial de desarrollo de la agricultura irrigada en las cuencas de los ríos San Salvador, Yí y Arapey y planear su desarrollo futuro de forma organizada y sustentable.

El presente artículo describe el trabajo realizado en la cuenca del río San Salvador entre junio 2016 y diciembre de 2017.

2. DIAGNÓSTICO

2.1. SITUACIÓN SOCIAL

En la cuenca se identificaron 1.950 explotaciones agropecuarias y una población de 31.841 personas que habitan en su entorno urbano y rural (INE, 2011). La estructura agraria presentada indica que 1.074 (54 %) son explotaciones de menos de 100 ha. En términos de actividades comunitarias presenta una red relativamente densa de organizaciones sociales e instituciones educativas en su territorio.

	Datos de la cuenca	Interior del Uruguay
Población en núcleos urbanos	80,0 %	91,8 %
Población joven	28,2 %	28,9 %
Ocupación en la rama agropecuaria	23,8 %	17,8 %
Tasa de desocupación	2,4 %	6,2 %
Adultos con escolarización menor a 9 años	60,0 %	52,3 %
Hogares con al menos una NBI	40,0 %	34,9 %

Cuadro 1. Cuadro 1 – Caracterización social de la cuenca del río San Salvador comparada con el resto del interior del Uruguay. Fuentes: López Pairet, 2017; INE, 2011a; INE, 2011b. BRL Ingenierie S.A. y SIGMAPLUS SRL, 2016.

Todas estas características sociales muestran que la ejecución de proyectos de riego puede tener efectos importantes en la población rural de la cuenca. Es necesario considerar, asimismo, la baja población de algunas partes de la cuenca, la falta de disponibilidad de mano de obra y la baja calificación de la población local, donde el 59 % de su población mayor de 18 años cuenta con menos de 9 años de escolarización (INE, 2011). La conjunción de estos tres elementos en algunas zonas podría aparejar dificultades para el desarrollo de las nuevas infraestructuras de riego (BRL Ingenierie S.A. y SIGMAPLUS SRL, 2016).

Las actividades productivas predominantes en la cuenca son ganadería, agricultura y forestación (MGAP-OPYPA, 2015). En la agricultura prevalecen los cultivos de secano, cultivos regados, siendo los principales cultivos soja, trigo, cebada, maíz y sorgo, con disminución del área en rotación con pasturas en la última década (FPTA - Mondelli M. *et. al.*, 2015). Con aproximadamente 257.000 ha cultivadas (83 % de la cuenca), los cultivos son realizados mayormente en siembra directa por empresas de diverso porte con similares paquetes tecnológicos, y variaciones en el nivel de inclusión de gramíneas y de pasturas en la rotación.

La cuenca del río San Salvador contribuye al 21 % de la producción nacional de trigo, 17 % para el maíz, 9 % de soja y 14 % de sorgo, mientras que la contribución de los otros cultivos es muy baja (BRL Ingenierie S.A. y SIGMAPLUS SRL, 2016). Respecto a las actividades ganaderas, las áreas de pastura representan menos de 1 % del área total de pastura a nivel nacional y la producción de leche en la cuenca representa alrededor de 0,3 % de la producción nacional (BRL Ingenierie S.A. y SIGMAPLUS SRL, 2016).

2.2. SITUACIÓN AMBIENTAL

Las condiciones ambientales estudiadas relativas al desarrollo de proyectos de riego fueron: las condiciones de calidad de aguas superficiales y subterráneas, la existencia de áreas

naturales protegidas en su territorio o en zonas adyacentes a las mismas, áreas de importancia para la conservación de las aves, áreas RAMSAR o áreas de Reserva de Biósfera. De acuerdo con el relevamiento preliminar realizado no se observan áreas protegidas ni de importancia para la conservación en la cuenca. A nivel de paisaje, el desarrollo de este tipo de proyectos no desentona con la actividad productiva que actualmente se realiza en la zona de estudio, ya que el paisaje es de una gran abundancia de manchas y corredores de hábitats naturales que se alternan con zonas de cultivos de distinta índole.

2.3. INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

La cuenca del río San Salvador forma parte de la cuenca hidrográfica alta del río Uruguay y comprende una superficie de 3.085 km². De acuerdo con el régimen característico de precipitación del Uruguay, la cuenca presenta una alta variabilidad interanual de las precipitaciones y baja variabilidad dentro del año. Para los datos de caudales del río se dispone de información de una estación de aforo en el río San Salvador ubicada en Paso Ramos. Existen antecedentes de análisis de calidad de datos de esta estación en función del rango de caudales, que indican un error del 33 % para el tramo de caudales bajos, cuyo valor medio del rango es 3,6 m³/s y del 20 % para el tramo de caudales medios a bajos cuyo valor medio del rango es de 32,1 m³/s. Estos errores se amortiguan significativamente al considerar todo el rango de caudales, lo que permite disponer de una serie de caudales razonablemente confiables a paso mensual. Si bien este análisis se realizó en base a los datos de aforos para el período 1988-2000, no existieron en años posteriores actualizaciones en la tecnología de medición que supongan una disminución significativa del error. (DNH-IMFIA, 2001) Para la cuenca estudiada, la escorrentía anual promedio es de 463 mm, que se corresponde a un caudal de 45 m³/s, y al caudal específico de 15 l/s/km².

Se realizó un análisis del recurso disponible por zona, en cada una de las subcuencas, a escala anual y mensual, para los 30 años estudiados (abril 1985 hasta abril 2015). El cálculo de los aportes anuales acumulados de la cuenca muestra el volumen de agua que escurre por el río San Salvador, indicando el orden de magnitud de los recursos hídricos disponibles en la cuenca. Para los años estudiados, los aportes anuales varían entre un mínimo de 429 hm³ a un máximo de 2.600 hm³, con un promedio de 1.442 hm³. El percentil 90, es decir el volumen que el noventa por ciento del tiempo es superado, es 663 hm³. Si se supone una demanda para riego de 5.000 m³/ha/año (López Pairet, 2017), utilizando un 50 % de los aportes anuales se podrían regar 66.000 ha, contando con infraestructuras de almacenamiento anual.

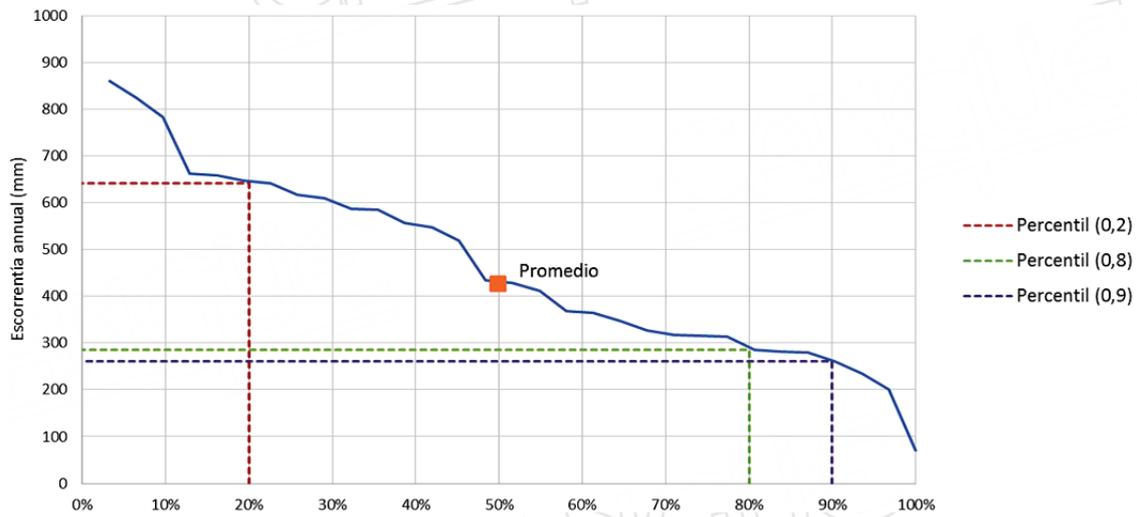


Figura 1. Curva de frecuencia de escorrentía anual en la cuenca del río San Salvador.
Fuente: Raúl López Pairet 2016 - BRL Ingenierie S.A. y SIGMAPLUS SRL, 2016.

2.4. USUARIOS Y DEMANDA DE AGUA

La base de datos de tomas de agua superficial que se encuentran registradas en DINAGUA, se compone de 21 permisos: 17 con volumen otorgado y 4 en trámite, cuyo uso es fundamentalmente para riego de cultivos agrícolas tales como cereales/oleaginosas, arroz o forrajes/pradera/semilla. Las tomas representan un volumen anual de extracción de 19 millones de m³ y permiten el riego de una superficie de 4.403 ha. Existe una única toma de agua superficial para el abastecimiento de agua potable para la localidad de Dolores, la cual toma un volumen anual de 1,8 hm³ por año con un caudal instantáneo de 65 l/s.

En lo que respecta a embalses se encuentran registrados en DINAGUA 13 obras de almacenamiento; 9 de ellas operativas, 8 con volúmenes autorizados y 1 en trámite. Entre los 4 embalses restantes, 1 está en trámite pero no está ejecutado y 3 tenían permisos pero están fuera de operación. De las 9 obras que están operacionales, 7 son con destino a riego, mayormente de cereales y oleaginosas; 1 obra es para uso recreativo/turismo y 1 obra sirve para regulación. El volumen de almacenamiento total en la cuenca de San Salvador es de 6.4 millones de m³.

Estas obras controlan alrededor de 151 km² de cuenca, o sea un 5 % del área total de la cuenca del San Salvador.

Se identificaron además 27 pozos de agua subterránea que se usan fundamentalmente para riego, tambos y consumo humano y consumen un volumen anual total de 0,35 hm³. En total en la cuenca del San Salvador se identificaron 3.857 ha con permiso para riego, representando un 1 % del área agrícola existente. En promedio, en la cuenca la demanda anual total en el sector agrícola se estima alrededor de 11 hm³/año y para el sector ganadero de 3,57 hm³/año.

En lo que respecta a uso doméstico y demanda de agua potable, los volúmenes anuales de aguas superficiales ascienden a 2 hm³ de agua, mientras que los volúmenes anuales de aguas subterráneas son de 0,75 hm³, pertenecientes a 34 pozos registrados en la cuenca.

En la ilustración 2 se detallan las cantidades de recurso disponible en años promedio y secos, comparado con la demanda actual del recurso. Cotejando la disponibilidad de agua y las demandas actuales, surge que es posible promover reservas estratégicas de agua orientadas a la producción agropecuaria con riego.

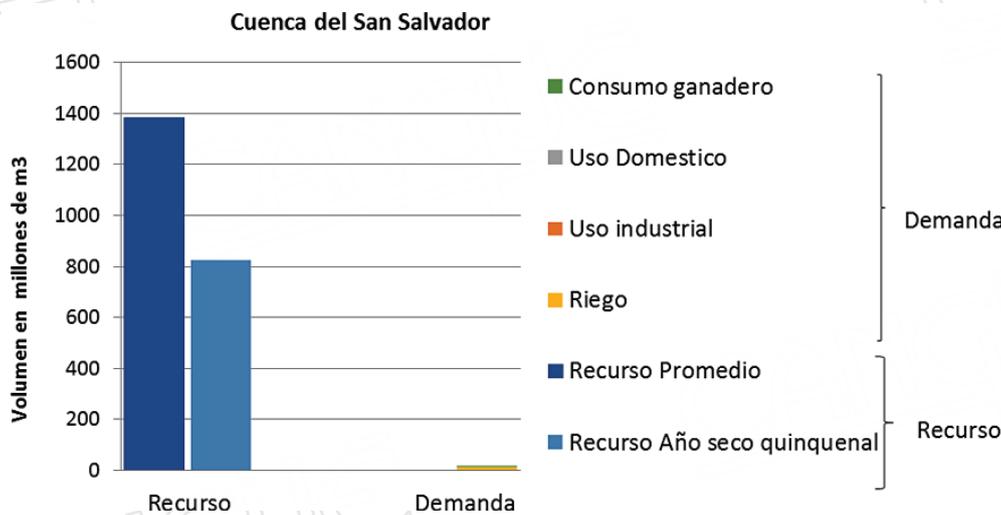


Figura 2. Balance recursos-demanda a escala anual en la cuenca del río San Salvador.
Fuente: Raúl López Pairet 2016; BRL Ingenierie S.A. y SIGMAPLUS SRL, 2016.

3. ESCENARIOS DE DESARROLLO

El objetivo de esta etapa consistió en proponer, analizar y clasificar diferentes opciones de desarrollo de infraestructuras hidroagrícolas y proponer criterios para un posterior análisis multicriterio con el que se compararon los proyectos, permitiendo elegir los proyectos más interesantes para la cuenca del río San Salvador. La cuenca presenta abundancia en sus recursos hídricos con una buena aptitud de calidad del agua para uso en riego.

A pesar de esta abundancia del recurso, la alta variabilidad e imprevisibilidad del recurso sumado a la falta de obras de almacenamiento de agua, se presentan como una debilidad frente al desarrollo de la agricultura. En este sentido, se considera como una oportunidad para la cuenca el desarrollo de obras de almacenamiento para un mejor aprovechamiento del recurso hídrico. Se realizaron talleres en territorio, abiertos a todo público, con el objetivo de informar el diagnóstico obtenido y relevar los intereses de los productores en el uso del agua con fines agropecuarios, tanto sea para riego de cultivos como para abrevadero.

De esta forma se definieron zonas prioritarias de la cuenca para la proyección de las obras de almacenamiento, definiendo posteriormente el emplazamiento de cada una de ellas. Luego se determinaron las superficies potenciales a regar teniendo en cuenta algunos criterios como la aptitud de los suelos, la topografía del terreno y zonas buffer a cursos de agua, permitiendo con este dato la estimación del volumen de cada embalse. Seguidamente se procedió a ajustar el volumen previamente estimado con un modelo matemático de balance de recursos hídricos a nivel de cuenca. Definido el emplazamiento de la represa, el volumen almacenado y la superficie a regar, se diseñaron a nivel de pre factibilidad las principales obras necesarias para el almacenamiento, transporte y la distribución del agua de riego hasta las parcelas.

Con la metodología explicada anteriormente se proyectaron y analizaron 8 diferentes represas de almacenamiento con alternativas en cuanto a la conducción del agua y potencial de riego, alcanzando un total de 15 proyectos de desarrollo. En todos los casos se planteó la hipótesis de riego de los cultivos que actualmente se realizan en la cuenca.



Figura 4. Plano de ubicación de los proyectos propuestos sobre la cuenca del río San Salvador. Fuente: Raúl López Pairet 2016

Se utilizó el modelo hidrológico WEAP (Modelo de Planificación y Evaluación del Agua por sus siglas en inglés; ver Hansen, 1994) para la asignación de agua en los escenarios analizados en la cuenca. Estos escenarios incluyeron el concepto caudal ambiental, distintas alternativas de caudales, así como de momentos de uso del agua para los distintos usuarios. Para cada uno de los proyectos planteados se estimaron los costos de inversión, operación y mantenimiento. El análisis económico de los proyectos consistió en realizar una estimación de los



Figura 3. Fotografía de un taller de presentación al público. Fuente: Raúl López Pairet 2016; BRL Ingeniería S.A. y SIGMAPLUS SRL, 2016.

costos y beneficios asociados a lo largo de un periodo para obtener indicadores económicos como uno de los criterios para la toma de decisiones: la Tasa Interna de Retorno (TIR), el Valor Actual Neto (VAN), costos de inversión por ha, costo del m³ de agua y su valorización, los empleos creados con el proyecto, entre otros.

Además de criterios económicos se consideran otros criterios para elegir los mejores proyectos. Es por esto que se efectuó además un análisis multicriterio que permite tomar en cuenta otros criterios, sociales, ambientales y factores de desarrollo agrícola para evaluar la pertinencia de cada uno de los escenarios estudiados. Entre los criterios de desarrollo agrícola se encuentran el área regada, costo unitario de la inversión y la relación área de riego con área potencial. Los criterios de carácter social muestran el número de productores familiares potencialmente beneficiados, el número de edificaciones inundadas por el lago de la represa y el empleo rural, y los criterios del área ambiental son la demanda de riego sobre el volumen de escorrentía, el área de monte nativo ribereño inundado, la existencia de áreas protegidas aguas abajo del embalse, entre otras. En esta primera etapa las tres dimensiones de criterios — técnico-económico, social y ambiental— tienen el mismo peso.

4. EVALUACIÓN

Del análisis económico se desprende que dos de los escenarios planteados son económicamente interesantes, Represa 01 y entre 1 y 2 millones de dólares, explicando la baja rentabilidad de todos los proyectos principalmente con la alta valorización de la zona aún sin el proyecto por el alto índice de productividad del suelo. El costo de inversión por ha de los proyectos evaluados varía entre 4.570 y 6.500 USD/ha

mientras que el costo del agua considerando los costos de inversión y operación se encuentran entre 0,18 y 0,21 USD/m³.

Al considerar los criterios sociales, agrícolas y ambientales, el proyecto denominado Represa 02 surge como el más interesante de la cuenca. Este proyecto captaría una cuenca de 27.048 ha y tendría una capacidad de riego de 6.950 ha, de las cuales 2.100 ha se regarían mediante bombeo directo desde la represa mediante tuberías y 4.850 ha cuya demanda de agua sería transportada por el curso hasta estaciones de bombeo y luego distribuida hacia los equipos de riego.

Del balance hídrico se desprende que el proyecto no tendría impacto negativo significativo a nivel de toda la cuenca y un impacto reducido en la zona donde se localizaría el embalse. En términos del empleo rural, el valor de empleos directos generados ascendería a 71, pudiendo beneficiar a 14 productores familiares. La afectación del lago de la represa sobre el monte nativo es un punto para tener especial atención, puesto que el lago de la Represa 02 inundaría una superficie total de 587 ha de las cuales 26,5 ha corresponden a monte nativo. Por último, del análisis económico se desprende que se generarían 4,5 millones de dólares anuales por la producción agrícola adicional generada.

4.1. PLAN DE ACCIÓN

El desarrollo de la mayoría de los componentes se podría realizar mediante la aplicación de acciones y/o medidas estructurales y no estructurales. Estas acciones se pueden agrupar en cuatro ítems con varios componentes, donde se pueden ver las medidas de los dos tipos.

1. *Desarrollo de infraestructuras*: instalación de infraestructuras propias de cada proyecto y adicionales directamente relacionadas con el desarrollo del riego tales como electrificación, transporte, centros educativos y de salud.



2. **Conservación de los ecosistemas y de los recursos naturales:** medidas para la protección de la biodiversidad y la vida silvestre, preservación del suelo, gestión de la calidad del agua y prevención contra desastres naturales.

3. **Consolidación institucional y jurídica:** fortalecimiento del contexto institucional y jurídico con vistas a promover el desarrollo de la agricultura regada, fortalecimiento de las instituciones nacionales, organización de los actores, análisis del marco legal y desarrollo del monitoreo y la evaluación para las acciones planificadas.

4. **Desarrollo socio-económico:** identificación de las necesidades de capacitación de recursos humanos, apoyo económico-financiero mediante la capacitación de los agentes del sector, asistencia técnica mediante extensión, programas educativos, alternativas de evaluación económica a nivel de cuenca y financiamiento de iniciativas y proyectos de desarrollo agrícola para riego.

Para efectivizar las acciones anteriormente mencionadas, es prioritario definir los horizontes de desarrollo en el corto, mediano y largo plazo, siendo los mismos determinados por todos los involucrados en la cuenca.

5. CONCLUSIONES

Este estudio nos genera desafíos para la gestión futura del agua y del suelo. Las interrogantes no deben verse como obstáculos para seguir avanzando sino como oportunidades para la mejora en el conocimiento, la investigación, la toma de

decisiones y la gestión integrada de los recursos. Debemos progresar en el conocimiento de la tecnología disponible, la eficiencia en el uso del agua, las nociones de asociativismo colectivo con un fin común, entre otros. Existe una gran oportunidad de cambio cultural que empieza con el productor y se apoya en las iniciativas públicas y privadas en temas de capacitación, gestión conjunta y trabajo interinstitucional por parte del Estado.

En el ámbito de la definición de políticas, planes y programas se puede contar con herramientas de apoyo que integren a todas las partes como por ejemplo la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE). Esta herramienta se basa en el concepto de transitar por un proceso de integración de los involucrados para la definición de objetivos y criterios de desarrollo comunes que busquen la sostenibilidad. El resultado de este proceso es fortalecer las definiciones adoptadas y el relevamiento de riesgos y oportunidades en un territorio como la cuenca.

A estos espacios se les debe sumar el análisis económico con costo-beneficio desde el punto de vista del productor y el inversor, adicionando una evaluación social que incluya los efectos sociales y ambientales para conocer cuál es el bienestar social resultante de la implementación del proyecto y así definir líneas de acción del Estado para promover o no este tipo de emprendimientos.

AGRADECIMIENTOS

A los productores y técnicos que participaron del estudio realizado, por brindar información y aportar propuestas para el desarrollo del trabajo.

A las instituciones privadas y públicas que fueron partícipes activos para la realización del estudio. ♦

BIBLIOGRAFÍA

Arenare, L.; Couto, P.; Fontán, M. V. (2018). Informe sobre Riego en Uruguay. MGAP, Trabajos Especiales N° 354.

Cervetto, G. (2016). Plan de monitoreo del río San Salvador: Informe de actividades y presentación de resultados. MTVOTMA.

Hansen, E. (1994). WEAP – A system for tracking water resource problems. *Water Management Europe 1993/94: An annual review of the European water and wastewater industry*, pp. 74-5, 1994.

Hill, M. (2016). Riego en Uruguay: estrategias para su desarrollo. Anuario OPYPA 2016 (271-282).

INE (2011a). Resultados del Censo de Población 2011: población, crecimiento y estructura por sexo y edad. Instituto Nacional de Estadística, Uruguay.

INE (2011b). Principales Resultados Encuesta Continua de Hogares 2011. Instituto Nacional de Estadística, Uruguay.

BRL Ingeniería S.A. y SIGMAPLUS SRL (2016). Informe de diagnóstico de la cuenca del río San Salvador. Caracterización de las Cuencas del río San Salvador, río Yí y río Arapey para fines de riego, 2016. Proyecto DACC. MGAP.

BRL Ingeniería S.A. y SIGMAPLUS SRL (2016). Informe inicial. Caracterización de las Cuencas del río San Salvador, río Yí y río Arapey para fines de riego. BRL Ingeniería S.A. y SIGMAPLUS SRL, 2016. Proyecto DACC. MGAP.

BRL Ingeniería S.A. y SIGMAPLUS SRL (2017). Términos de referencia para los estudios de viabilidad de los tres proyectos prioritarios. Caracterización de las Cuencas del río San Salvador, río Yí y río Arapey para fines de riego. BRL Ingeniería S.A. y SIGMAPLUS SRL, 2017. Proyecto DACC. MGAP.

MGAP (2015). El desarrollo agropecuario y agroindustrial de Uruguay: Reflexiones en el 50 aniversario de la Oficina de Programación y Política Agropecuaria (OPYPA-MGAP).

MGAP (2015). Regiones Agropecuarias (OPYPA-MGAP)

Mondelli, M; Arbeletche P., Silva M., Peloché D. & Rosa A. FPTA (2015). Cuantificación del impacto en el uso de los Recursos Naturales y el medio ambiente de diversos sistemas productivos agrícolas por taxonomía organizacional.

Mejora en eficiencia del riego por surco en sistemas multiprediales: la experiencia de SOFORUCE

Fotos: Gervasio Finozzi

German Panissa

Ingeniero Agrónomo - Área Agrícola ALUR
gpanissa@alur.com.uy

Matias Ferrari

Ingeniero Agrónomo - Área Agrícola ALUR
mferrari@alur.com.uy

Claudio Garcia

Ingeniero Agrónomo - Programa de Producción y
Sustentabilidad Ambiental- INIA Las Brujas.
cgarcia@inia.org.uy

Gabriel Ribas

Ingeniero Agrónomo - Departamento de Riego. Instituto
Nacional de Colonización.
gribas@colonizacion.com.uy

Lisette Bentancor

Ingeniero Agrónomo - Cátedra de Hidrología. Facultad de
Agronomía.
lbentancor@fagro.edu.uy

Gervasio Finozzi

Ingeniero Agrónomo - Unidad de Agua y Ambiente. DGRN-
MGAP.
gfinozzi@mgap.gub.uy

La Sociedad Fomento Rural Colonia España (SOFORUCE), ubicado en Colonia España, próximo a la localidad de Bella Unión, departamento de Artigas, gestiona desde 1990 un sistema de riego multipredial.

La Sociedad está compuesta por 32 colonos productores de caña de azúcar y hortalizas, con un área promedio por productor de 25 ha. El sistema de riego tiene un bombeo principal sobre el río Uruguay y tres bombeos secundarios que permiten regar un área potencial de 800 ha. En los últimos años el área bajo riego de SOFORUCE fue de aproximadamente 700 ha. El método de riego es por surcos, regando principalmente el cultivo de caña de azúcar y cultivos hortícolas en una área pequeña.

En la estructura de costos de la producción de caña de azúcar, el riego representa alrededor del 15 % (operación y mantenimiento), lo que determina una preocupación constante por parte de productores e instituciones vinculadas a este rubro.

Desde algunos años SOFORUCE viene trabajando para mejorar la eficiencia del sistema de riego en procura de bajar sus costos y las tarifas. Para esto contó con el apoyo del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP), a través de dos proyectos a: Más Tecnología, y Estrategias Asociativas de Agua para la Producción (EAAP). Se suman a estas iniciativas instituciones como el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Instituto Nacional de Colonización (INC), Facultad de Agronomía (Fagro) y Alcoholes del Uruguay (ALUR), así como técnicos privados.

En la operación del riego se ha estudiado la demanda de agua del cultivo y se han buscado alternativas al riego tradicional. SOFORUCE se ha focalizado en el manejo de la

aplicación de agua (monitoreo y programación).

Un buen monitoreo y programación del riego permitiría un mejor aprovechamiento del agua de lluvia y menores costos por una mejora en la aplicación del agua de acuerdo a la demanda del cultivo; ahorrando energía y mano de obra. La mayor eficiencia del riego se vio reflejada directamente en la tarifa que abonan los productores, donde las mismas se pagan por hectárea regada, y no por volumen de agua utilizada por hectárea y temporada de riego.

La propuesta presenta tres frentes de trabajo cuyo límite es la compuerta de entrega a chacra, y se describen a continuación:

1) Profesionalización de la organización y gestión de la operación del sistema de riego a través de herramientas objetivas.

a. Protocolos de operación del sistema que mejoren la modulación del consumo de la energía eléctrica según franjas horarias de costos diferenciales de UTE, para maximizar el uso del bombeo en horario más conveniente.

b. Implementación del pronóstico de riego a partir del balance hídrico. Los balances hídricos se realizan para los suelos más representativos de las áreas del sistema de riego. Se parte de la información climática de una estación agrometeorológica y una red de pluviómetros ubicados en diferentes chacras que componen el área de riego. Complementariamente, se vinculan los resultados del balance hídrico con las medidas de contenido de agua del suelo tomadas semanalmente a través de sensores FDR (*Frequency Domain Reflectometry*) y medidas directas a través de la toma de muestras y análisis gravimétrico, para calibración de los sensores utilizados. El balance hídrico permite brindar elementos objetivos a los responsables de la operación del sistema en la programación de las fechas de los riegos y el reinicio de los mismos después de las lluvias.

c. Implementación de un sistema de mediciones de caudales automatizado, y en su mayoría con telemetría en puntos estratégicos que permitan mejorar la distribución del agua en el sistema.



Instrumento de medición de caudales y telemetría

1) Mejora de la eficiencia de conducción de agua a través de la sustitución de estructuras en tierra por mangas de polietileno en canales secundarios.

Se han sustituido 2.500 metros de canales secundarios por mangas de polietileno.

2) Mejora de la eficiencia de uso del agua en el cultivo a nivel predial.

Riego por mangas por parte de los productores. Actualmente el sistema cuenta con más de 200 ha (30 % del área) sistematizados para el riego por mangas.

Cabe destacar que la estrategia implementada es complementada con actividades de capacitación dirigidas a productores, regadores, técnicos y operadores del sistema.



Aducción de agua desde mangas con compuertas a los surcos



Aducción de agua desde mangas sin compuertas a los surcos

1. ALGUNOS RESULTADOS

En el tercer año de implementación de mangas y mejora en la gestión del agua en el surco, los resultados alcanzados hasta el momento son:

1.1. INCORPORACIÓN DEL RIEGO POR MANGAS A NIVEL PREDIAL

- Incremento de la productividad en un 50 %. La productividad del riego con mangas alcanzó una media de 2,4 ha/hombre.jornada de 8 horas vs. una productividad media de 1,6 ha/hombre.jornada de 8 horas con el riego tradicional. En este seguimiento se identificó un operario que logró un rendimiento de 4 ha/hombre.jornada de 8 horas de riego.

- Se pudieron realizar riegos con mayor frecuencia en las parcelas con mangas. Se lograron entre uno y dos riegos más en la temporada con respecto al riego tradicional, acompañando mejor la demanda del cultivo sobre todo en los meses de mayor demanda por parte del cultivo (diciembre y enero).

- Mejor control de la erosión en la conducción de agua (regueras), principalmente en aquellos terrenos con pendientes mayores (pendientes mayores a 1.5 %).

- Eliminación del armado y desarmado de estructuras para conducción de agua (regueras), disminuyendo las actividades que demandan maquinaria agrícola.

- Reducciones de hasta un 25% de los caudales de agua entregados a áreas donde se colocaron mangas respecto al sistema tradicional, pasando de 485 a 365 m³/ha/riego en áreas de estudio..

- Menores pérdidas de agua y nutrientes hacia áreas no regadas por las reducciones en los caudales utilizados.

- El uso de caudales óptimos y el control de los tiempos de aplicación de agua al surco mejoraron 15 % la eficiencia de aplicación de riego para un área de estudio de unas 30 ha, que representa el 5 % del área regada por el sistema. En dicha área la eficiencia de uso del agua pasó de 45 % a 60 % tras la instalación de riego por mangas.

1.2. SUSTITUCIÓN DE CANALES EN TIERRA POR MANGAS DE POLIETILENO

- A partir de aforos con molinete en canales secundarios se estimaron pérdidas por conducción de entre 30 y 40 litros/kilómetro de canal en el riego tradicional para canales que conducen en el orden de 200 lts/seg. De esta manera, la sustitución de 5 km de canales secundarios en tierra por mangas de polietileno permitió reducir aproximadamente 185.000 m³ por temporada de riego, lo que implica 1,5 días menos de bombeo en el levante principal.

- La conducción a través de mangas redujo drásticamente el tiempo de llegada del agua a las tomas de parcela, disponiendo más tiempo de agua en la parcela a regar. De esta manera se logró un mejor aprovechamiento de la jornada de riego y del personal.

- Este sistema permite disminuir el transporte de semillas de malezas desde los canales hacia las parcelas de riego de los productores. Simultáneamente, se eliminan los controles químicos de las malezas en los canales, con la consiguiente reducción de la contaminación ambiental y mejora de refugio y alimentación de enemigos naturales controladores de algunas plagas en caña de azúcar.

2. IMPACTOS ECONÓMICOS OBTENIDOS

La suma de los beneficios parciales de las medidas adoptadas determinaron una reducción en 3 a 4 horas diarias de bombeo en la toma principal, bombeo que además se hace con una mejor combinación horaria para optimizar y reducir la tarifa eléctrica triple horario.

La reducción de horas de bombeo redundó en la reducción de horas extra en el personal de operación.

Se prescindió del mantenimiento de canales del sistema multipredial y predial durante la temporada de riego al sustituirlos por mangas, lo cual significó un menor uso de maquinaria, mano de obra y agroquímicos.

3. COMENTARIOS FINALES

Los resultados obtenidos alientan y justifican seguir mejorando la eficiencia de los sistemas de riego en la región donde se cultiva caña de azúcar. El desafío más importante es extender la mejora de la eficiencia de aplicación del riego en las parcelas donde se identifican las mayores oportunidades de ahorro de agua.

La actual tarifa de riego basada en el reparto de los costos

totales de bombeo entre la superficie regada no incentiva a los productores a ser eficientes en el uso del agua; dado que pagan lo mismo aquellos regantes más cuidadosos y eficientes en la ejecución del riego que los menos aplicados y eficientes, generando una distribución no equitativa de los costos. En cambio, si el costo del servicio se realizara con una tarifa que considere el consumo de agua real que posee cada productor, se estimularía a bajar los costos de riego y por lo tanto mejorar en la gestión del recurso. ♦



Distribución y aducción de agua a surcos con la utilización de mangas con compuertas.



El riego por superficie: mitos y verdades

Foto: Claudio García

Claudio García

Ing. Agr., Msc., Dr. Programa Producción y Sustentabilidad
Ambiental. INIA
cgarcia@inia.org.uy

Gabriel Ribas

Ing. Agr. Departamento Riego. INC
ingribas@gmail.com

Andrés Feuer

Ing. Agr. Programa Posgrado (Maestría) INIA
afeuer@inia.org.uy

1. INTRODUCCIÓN

La incorporación del riego en los sistemas de producción agrícola, ganadero y lechero en el Uruguay ha sido muy lenta y discontinua en el tiempo, por diferentes factores que no son el motivo del presente artículo. Según estimaciones del MGAP (2018), hay 25.000 ha de cultivo de verano bajo riego y menos de 20.000 ha de praderas permanentes y forrajeras anuales (mayoritariamente riego por aspersión, http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/informe_riego_en_uruguay.pdf).

Por otro lado, los principales cultivos de verano (maíz y soja) ven limitados sus potenciales de producción principalmente por déficit hídrico donde los aportes de las lluvias más el almacenamiento en el suelo no son suficientes para satisfacer las necesidades totales del cultivo durante toda la temporada (Sawchik *et al.*, 2010). Prueba de esto, fueron los rendimientos de soja en el año 2016-17 (verano con precipitaciones en el período crítico) y la zafra 2017-18 (verano con escasas precipitaciones en enero), donde la producción tuvo una merma promedio del 60 %. En el caso de las pasturas permanentes además de afectar la productividad (kg de materia seca por hectárea) también es afectada la longevidad de las mismas, teniendo que realizar siembras cada 3 o 4 años en el mejor de los casos (Formoso y Norbis, 2017).

En la mayoría de las cuencas del país, la disponibilidad de agua para riego de ríos y arroyos está limitada (DINAGUA, 2016) o en algunos lugares ya no hay posibilidad de otorgar caudal para aumentar área de riego y no es viable

económicamente desarrollar el riego con agua subterránea por los costos de bombeo, pero además porque el país no cuenta con acuíferos para estos fines. Esto lleva a que necesariamente ante cualquier desarrollo se deba pensar en la construcción de nuevas fuentes de agua o en un proceso de desarrollo intermedio, utilizar lo más eficientemente posible aquellas represas que están subutilizadas o en desuso en la zona de producción de arroz (Treinta y Tres, Rocha, Salto, Artigas, Tacuarembó, Cerro Largo).

Sobre este último aspecto se pretende hacer foco en la discusión en el presente artículo, sobre la utilización del riego en pasturas, ya sea para ganadería o lechería, donde al día de hoy, existe disponibilidad de agua para el riego de al menos 40.000 ha de arroz (área que no está siendo sembrada desde hace más de 5 años), lo cual equivaldría aproximadamente a 120.000 ha de riego de pasturas (considerando la sistematización ya existente de la distribución de agua a las chacras y la rotación: 1 año de arroz, 3 o 4 años de pasturas) en los años de máxima demanda y con escasas precipitaciones durante la primavera y verano.

Sin desmedro de que las instituciones de investigación y desarrollo continúen en un proceso de generación de conocimiento y transferencia de los mismos en otros sistemas y métodos de riego, se estima que la cantidad de agua almacenada (sin utilizar) y que está disponible para el riego por superficie podría ser usada no solamente para lograr estabilizar productividades de materia seca por hectárea y hacer más rentables sistemas donde la ganadería tiene su lugar. Además, evitaría que se pierdan sumas de dinero anualmente importantes por no tener los sistemas productivos preparados para soportar los impactos negativos que los déficits hídricos de primavera y verano generan.

2. MITOS

En general existen algunos mitos sobre el riego por superficie con poco fundamento técnico-científico que se tratarán de esclarecer con datos que se vienen obteniendo de trabajos de investigación. Un mito se define como una *historia imaginaria que altera las verdaderas cualidades de una persona o de una cosa y le dan más valor del que tienen en realidad*.

Mito 1: El riego por superficie es difícil que sea uniforme y se logre aplicar láminas de agua bastante homogéneas en toda la chacra.

Mito 2: El riego por superficie utiliza mucha agua porque inunda toda el área y se termina muriendo la pastura.

Mito 3: El riego por superficie requiere mano de obra calificada y no se consigue en el país, salvo en el área de caña de azúcar.

Mito 4: El riego por superficie es un método de aplicación del riego ineficiente.

Mito 5: El riego por superficie precisa de láminas de aplicación grandes.

Mito 6: El riego por superficie no se adapta a mi campo y si se adaptara, generaría erosión.

Mito 7: El riego por superficie solo se puede utilizar para regar arroz.

3. VERDADES

Se intentará fundamentar qué cosas se conocen sobre el riego por superficie, principalmente en pasturas —que es lo que más se ha trabajado en investigación nacional— por entender que es donde tiene un importante papel para el desarrollo de la ganadería fundamentalmente y también en algunos sectores de la lechería.

Desde la época de los años 70s hubo esfuerzos escasos y discontinuos en generar información sobre el riego (por superficie) en pasturas, sobre todo en los sistemas arroz-ganadería que se entendía podría tener mayor impacto. Sin embargo, por diferentes motivos no fueron exitosos ninguno de los planteos formulados en la investigación.

Mito 1: El riego por superficie es difícil que sea uniforme y se logre aplicar láminas de agua bastante homogéneas en toda la chacra.

Verdad: Existen trabajos de Hofstadter (1983) durante tres temporadas (1973 a 1976) que fueron realizados para conocer la respuesta de heno de alfalfa al agregado de agua por el método de riego por superficie. Luego de tres años de investigación, el autor concluyó que no encontró respuesta significativa al agregado de agua. Uno de los problemas que plantea sobre la posible baja respuesta al riego es que “la lámina de riego en estos sistemas utilizados no podía ser controlada”. Sin embargo, esto no parece ser un argumento de peso al momento de evaluar un método de riego o su factibilidad económica ya que existen en el mundo técnicas e instrumental para medir tanto el caudal como el volumen de agua utilizada.

Mito 2: El riego por superficie utiliza mucha agua porque inunda toda el área y se termina muriendo la pastura.

Verdad: En los años 90s, a través de los proyectos PRENADER, se retomó el tema y se plantearon sobre todo en el litoral oeste (INIA La Estanzuela) y en el este (INIA Treinta y Tres) experimentos de riego en pasturas, en este último aprovechando la infraestructura del arroz para la aplicación de riego.

Si bien en cualquiera de los trabajos consultados a nivel nacional, *a priori*, se espera una respuesta al agua en producción de materia seca y longevidad de las pasturas, no siempre se llegó a este resultado. En el caso de los experimentos de la región Este hay una disminución a medida que pasan los años para el caso del estudio en especies templadas (Carlos Mas *et al.*, 2004)

Por otro lado, los sistemas de riego por superficie que fueron utilizados en la época de los 80s y 90s no estaban diseñados ni pensados para riego de pasturas, sino que eran sistematizaciones de chacra de arroz donde las pasturas eran sembradas y se aplicaba el agua con una lógica similar al cultivo de arroz, la cual no es la situación que debería usarse en estos casos. La falta de uniformidad en la aplicación de agua, así como la utilización de grandes volúmenes de agua es el producto de la falta de controles en la lámina de agua de riego y principalmente en los caudales que se utilizan para la aplicación de agua. La verdad es que al existir falta de controles del insumo agua no es posible conocer cuál es la uniformidad de riego ni tampoco saber qué cantidades se están aplicando.

A mediados de la primera década de este siglo (2005-07), con el auge de los precios de ciertos productos agropecuarios liderados por la soja es que se comienza a redescubrir el riego como herramienta para aumentar los rendimientos, aumentando la productividad por hectárea. También surge la lechería como otro sector con empuje y la inserción del riego en las pasturas y mejoramientos con foco también en la producción intensiva de carne (vacunos y lanares).

En el año 2009, el INIA comienza sus trabajos de riego por superficie en pasturas en dos sitios contrastantes en el norte (Salto) y en el sur en Florida en el campo del Secretariado Uruguayo de la Lana (SUL- CIEDAG).

Es así que se empiezan a diseñar varios experimentos en forma paralela y coordinada con los docentes e investigadores de la Facultad de Agronomía para aunar esfuerzos en la concreción de resultados que ayuden a dar respuestas, no sólo a las demandas del sector agropecuario sino también responder a ciertos mitos o creencias que estaban instalados en el sector sin ningún tipo de fundamento técnico-científico. Algunos de estos mitos se analizan a continuación de manera crítica y en base a información generada a nivel nacional fundamentalmente.

Mito 3: El riego por superficie requiere mano de obra calificada y no se consigue en el país, salvo en el área de caña de azúcar.

Verdad: Si bien no existen trabajos en el área social, capaces de refutar este mito, se considera que el riego por superficie no requiere mayor capacitación de la mano de obra encargada de ejecutar los trabajos en el campo, que cualquier otro sistema de riego (aspersión o gotero). Estos trabajos, al igual que para los otros métodos de riego, deben ser supervisados por profesionales idóneos. Cabe señalar también que en las zonas donde se ha desarrollado tradicionalmente el cultivo de arroz, existe mano de obra con experiencia en el manejo del agua.

Mito 4: El riego por superficie es un método de aplicación del riego ineficiente.

Verdad: En los ensayos de riego por superficie de INIA (Salto, Florida y Canelones) se realizaron los ajustes

necesarios en la sistematización y preparación de suelo, para que el riego tuviera una eficiencia de aplicación al menos buena o muy buena. Resultados sobre este aspecto son la tesis de Bourdin *et al.*, 2015, donde muestran eficiencias por encima del 74 % (cuadro 2). Para esto se realizó un mapa plani-altimétrico para conocer las condiciones del terreno donde se instalará el riego. Al igual que en el cualquier cultivo o pasturas para generar una buena cama de semilla se empareja lo mejor posible el terreno, intentando “borrar” los micro relieves del terreno. Esto ayudaría no solamente a la mejor emergencia de las plantas, sino además a una mejor distribución en el terreno del agua de riego y escurrimiento de los excesos de las lluvias.

Mito 5: El riego por superficie precisa de láminas de aplicación grandes.

Verdad: Fue instalado un experimento durante 4 años con diferentes láminas de riego aplicadas por superficie más un tratamiento que solo recibió agua de lluvia.

Se aplicaron láminas de 20, 40 y 60 milímetros (mm) en cada riego, láminas relativamente chicas para un riego por superficie y muy similar a láminas que se podrían aplicar por aspersión (cuadro 1).

El resultado fue que la producción de materia seca en los 4 años de evaluación fue 50 % superior en relación al tratamiento que no recibió agua de riego (solo agua de lluvias sin agregado de riego).

De acuerdo a los resultados de estos experimentos, la recomendación general sería aplicar una lámina de riego para el caso de riego por superficie —60 mm toda vez que la evapotranspiración máxima acumulada alcance ese valor—. Esto permitiría un mejor aprovechamiento del agua de lluvia, no afectaría los rendimientos de materia seca, ahorraría energía y mano de obra y minimizaría las chances de “matar” la pastura como resultado del exceso hídrico. Asimismo, lejos de que esto último ocurra, los resultados han mostrado un aumento tanto en la producción de las pasturas (llegando en algunos casos a más que duplicar al secano), así como de su persistencia en el tiempo (5 años y los ensayos continúan). Otro aspecto fundamental para destacar es que los altos rendimientos logrados se repiten año a año, estabilizando la producción y haciéndola predecible, lo que facilita el manejo del productor de la pastura, así como de la carga animal. En síntesis, a través de las pasturas regadas se pueden lograr que las mismas sean muy productivas, persistentes

Tratamiento de riego (mm)	Producción de MS kg ha ⁻¹			
	2010-11	2011-12	2012-13	2013-14
0	10485	7457	15593	7947
20	15950	10317	19672	16300
40	14662	10278	19667	16090
60	15198	9928	19790	16202

*Producción de materia seca anualizada.

Cuadro 1. Producción de materia seca (MS) de una pastura mezcla de Festuca, Trébol blanco y Raigras durante 4 temporadas. Salto, 2010-14.

Ancho de faja (m)	EA (%)	Percolación (%)	Escurrimiento (%)
6	74	26	0
9	76	24	0
12	80	20	0

Cuadro 2. Eficiencia de aplicación, pérdidas por percolación y escurrimiento. (Fuente, Bourdin *et al.*, 2015)

en el tiempo y que logran estabilizar año a año esos altos rendimientos (promedio anual de 15 t MS⁻¹ ha⁻¹).

Mito 6: El riego por superficie no se adapta a mi campo y si se adaptara generaría erosión.

Verdad: Este punto va de la mano con lo anteriormente mencionado de la sistematización y manejo de suelo. La topografía de los sitios donde se llevan adelante los ensayos de riego tiene pendientes que varían desde 1,3 % a 2,5 % sin haber indicios de erosión después de 8 años de experimentación en riego. Para esto, entre otras medidas de manejo, se tiene en cuenta el caudal que no sea erosivo y eso tiene que estar relacionado con la topografía, la textura y el manejo del riego (reposición de la lámina). Para cada situación existirá un caudal máximo no erosivo, que es aquel por debajo del cual se podrá regar sin generar erosión.

El caudal de diseño para riego por superficie que mejor se adaptó a las condiciones evaluadas hasta el momento fue entre 0,6 y 0,7 l⁻¹ s⁻¹ m⁻¹ de melga, obteniéndose eficiencias de aplicación y de distribución aceptables o muy buenas, sin provocar pérdidas de agua al pie de la melga y con caudales no erosivos (cuadro 3).



Mito 7: El riego por superficie solo se puede utilizar para regar arroz.

Verdad: Según datos de la FAO (2016) el área sistematizada para riego en el mundo pasó de 184 millones de ha en el año 1970 a 324 millones de ha en el año 2012. De esa área sistematizada para riego, efectivamente se riega el 85 % (275 millones de ha). Esa superficie representa el 21 % del área cultivada en todo el mundo, pero el 40 % de la producción mundial.

De ese total de área sistematizada para riego a nivel mundial (324 millones de ha) el 86,5 % es área sistematizada para riego superficial (280 millones de ha). Considerando que para el cultivo de arroz irrigado en el mundo existe un área sistematizada de 94 millones de ha, esto implica que hay 186 millones de ha en el mundo, que equivalen al 57 % del total del área mundial sistematizada para riego, que *no* son ocupadas por arroz, pero sí se podrían regar por superficie. Aun asumiendo que toda el área sistematizada ociosa del mundo corresponde al riego superficial, esto implica que efectivamente se riegan por superficie como mínimo un total de 231 millones de ha, de las cuales sólo 94 millones corresponderían exclusivamente al arroz. Es importante señalar también que en el mundo existe un total de 19,25 millones de ha de pasturas y forrajes que son regados. Particularmente en Oceanía más del 50% del área que se riega corresponde a pasturas y forrajes.

De los datos anteriores se desprende que, si bien el arroz ocupa un área relevante de riego a nivel mundial (el 29 % del total del área efectivamente irrigada) existe un área muy importante de riego por superficie que no es destinada al arroz y se constata asimismo un área relevante de área que se dedica a regar pasturas.

Lámina de riego a reponer (mm)	Caudal l s ⁻¹ m ⁻¹ 2010-14
20	0.70
40	0.62
60	0.67

Cuadro 3. Lámina de riego aplicada y caudales utilizados. Riego por superficie en pasturas. (Fuente: Elaboración propia, datos publicados en tesis de grado y jornadas técnicas).

Trabajos realizados en el Centro Regional Sur (CRS) de Facultad de Agronomía por Puppo *et al.* (2018) concluyen que los caudales usados y que resultaron con mayor eficiencia fueron de 0.5 l⁻¹ s⁻¹ m⁻¹.

En el cuadro 4 se presentan los resultados de la evaluación sobre el mejor ancho de melga, el tratamiento de 12 m resultó ser el ancho de melga más eficiente, no mostrando diferencias significativas en producción de materia seca y en la uniformidad de distribución y de aplicación en relación a melgas de 6 y 9 m de ancho.

Ancho de melga (m)	Producción de MS kg ha ⁻¹ *				
	2010-11	2011-12	2012-13	2013-14	2014-15
9 (secano)	10045	7513	16098	7205	10215
6 (riego)	15147	10070	15282	14960	13865
9 riego)	15368	9308	14165	13300	13035
12 riego)	16183	9840	13932	13553	13377

* Producción de materia seca anualizada.

Cuadro 4. Resultados de la producción de materia seca de pasturas regadas y en secano de acuerdo a los tratamientos de anchos de melga. (Fuente: Elaboración propia, datos publicados en tesis de grado y jornadas técnicas).

4. COMENTARIOS FINALES

Por lo expuesto, resulta claro que el riego por superficie en pasturas puede ser una alternativa tecnológica no solo viable desde el punto de vista técnico (por los datos presentados) sino también desde el punto de vista económico y ambiental.

El tema económico de la aplicación no se detalla porque eso es muy dependiente de cada situación en particular, pero existen coeficientes que están generados y publicados en la Serie Técnica INIA N°232 (2017).

Se pueden manejar caudales bajos y láminas chicas, sin

necesidad de inundar el campo; y sí aplicando el agua de riego de acuerdo a las necesidades de las plantas. Sumado a esto hay evidencia científica, tanto de INA como de Facultad de Agronomía, de que el riego por superficie puede ser tan eficiente en su aplicación como en su distribución como cualquier sistema de riego presurizado.

La asociación de pasturas con riego y el método de riego superficial, es una tecnología aún sin desarrollo masivo en el país pero que tiene mucho potencial por su posibilidad de adaptación a la producción pecuaria, no solo por costos de inversión y mantenimiento bajos sino porque el impacto de regar una pequeña área del predio repercute en todo el sistema productivo.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bourdin Medici, A.; Franco Fraguas Souto, J.; Burgos Valiente, M. 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, 2015.

FAO. 2016. Sitio web AQUASTAT. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Acceso el [13/06/2019].

Formoso, D. y Norbis, H. 2017. ¿Cuán estables son las pasturas bajo riego?. In: PRODUCCIÓN INTENSIVA DE CARNE EN PASTURAS REGADAS CON PIVOT CENTRAL. SERIE TÉCNICA INIA N°231.

Hofstadter, R. 1983. "Producción de maíz, alfalfa y trébol blanco en condiciones de riego". Agua en la Agricultura. 1:7-13

Mas, C. 2004. "Algunos resultados de riego de pasturas en el Este". INIA. Serie de Actividades de Difusión 364, pp. 31- 46.

Sawchik, J.; Mas, C.; Pérez Gomar, E.; Bermúdez, R.; Pravia, V.; Giorello, D.; Ayala, W. Riego Suplementario en pasturas: antecedentes de investigación nacional. In: Potencial del riego extensivo cultivos y pasturas. 1er. Seminario Internacional de Riego. Paysandú, 2010, 208p.

Plan Nacional de Agua, DINAGUA, MVOTMA. 2016.

Puppo L.; Aguerre, M.; Camio G.; Hayashi, R.; Morales, P. *Evaluation of Border Irrigation in the Southern Uruguayan Soils. Use of the WinSRFR Model: Preliminary Results.* *Agrociencia Uruguay* [online]. 2018, vol.22, n.2, pp.79-92. ISSN 1510-0839. <http://dx.doi.org/10.31285/agro.22.2.12>.





Las terrazas en los sistemas de riego

Fotos: Ing. Agr. Pablo Morales

Michel Koolhaas

Ing. Agr. (M.Sc.) Ex Profesor Adjunto de Topografía / Profesor Libre, Facultad de Agronomía, UDELAR.
michelkoolhaas@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

La conservación de suelos es posible en la medida que se realice un manejo de las tierras, lo que conlleva el manejo de suelos y el manejo de aguas. Es decir, el control de erosión de las tierras, lo que implica también control de sedimentos, se logra por la combinación de un buen manejo de suelos, o sea por rotación de cultivos, utilización de los suelos de acuerdo con su capacidad, coberturas adecuadas en momentos críticos de ocurrencia de precipitaciones, pero también con un control y manejo del agua de escorrentía.

En este artículo nos proponemos analizar y discutir la necesidad de implementar medidas para el manejo del agua, asunto muy importante a realizar en los sistemas de riego, para que las tierras beneficiadas no corran mayores riesgos de erosión.



Figura 1: Canal de ladera construido con arado de cuatro discos y terminado con pala de cola de tres puntos, para un sistema de riego. También puede considerarse un canal de drenaje, o sea una terraza de drenaje no cultivable.



Figura 2: Sistema de riego superficial por desborde de canal, que después de más de 2 kilómetros empieza parte del área de riego de praderas. Las pendientes más críticas en el área oscilan entre 3 y 4 %. El sistema es muy elemental y económico: un lomo regulador a nivel cero, a unos 300 metros abajo regulariza las diferencias de altura de lámina hídrica aplicada.

Los canales de terraplén a un lado, “de una pierna” o de ladera, son los más comunes en las estructuras de conducción del agua en tierras de laderas, se pueden considerar como terrazas no cultivables (Figura 1 y 2).

En otras partes del planeta tierra, como en grandes extensiones en Asia por ejemplo, el cultivo de la tierra sólo es posible mediante terrazas banales o terrazas de banco, debido a la excesiva pendiente del terreno (25-30 %), que exige la modi-

ficación del perfil, formando una suerte de “escalera”. Incluso se realiza el cultivo bajo riego con terrazas banales, asunto que no analizaremos sino que lo mencionamos para que el lector entienda que existen básicamente dos tipos de terrazas, la terraza de banco y la terraza de canal. En la agricultura del Uruguay la única terraza que se utiliza ocasionalmente, pero que debería utilizarse con mayor frecuencia, es la terraza de canal. No tiene sentido implementar la terraza de banco en nuestra agricultura.

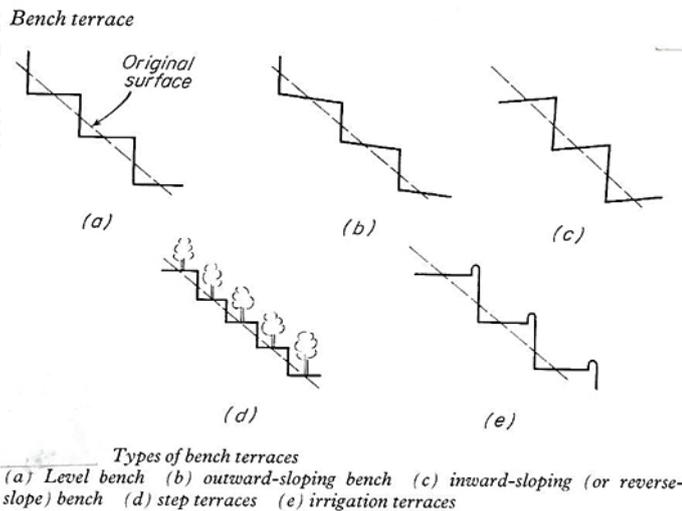


Figura 3: (Hudson, N. 1981) Se pueden visualizar los distintos tipos de terraza de banco, según sea el cultivo de secano, frutales o de riego, y distintas opciones para el drenaje.

una compuerta o bomba) y salida a la chacra Q_2 , donde $Q_1=Q_2$. En condiciones de drenaje, por ejemplo en el canal de una terraza, donde el agua escurre en ocasión de lluvias más o menos intensas en la chacra que son captadas por el canal de drenaje, la mayor parte del tiempo el flujo hídrico en la terraza es acelerado. El supuesto o el empleo de fórmulas de flujo uniforme es una modelización para simplificar un diseño hidráulico, pero la realidad es diferente.

La terraza de canal como se muestra en la Figura 2, tiene una extensión de sólo 5.000 metros, es un canal de distribución del agua de riego proveniente del embalse sobre la derecha de aquella imagen. El ejemplo mostrado, forma parte de un esquema de riego por superficie de pasturas, por el sistema de desborde y que conduce agua hacia otras partes del predio bajo riego. El área de captación de aguas superficiales en ocasión de lluvias, hasta la progresiva 3+440 asciende a unas 70 hectáreas, y es un sistema que ya tiene en funcionamiento más de 20 años, con algún mantenimiento obviamente. Dicha terraza o canal de distribución maneja o controla los escurrimientos y sedimentos generados aguas arriba de la misma. Esa es una función muy importante de dichas estructuras, que dominan parte de un sistema más efectivo del control de los sedimentos. Erosión de suelos implica transporte de sedimentos y son la fuente clave y causa de la contaminación de cauces de cañadas y arroyos.

Por ello, frente a los problemas existentes en la actualidad con lluvias excedentes de gran importancia y muchos años de agricultura especialmente de verano —con la consecuente erosión y sedimentos que contaminan arroyos y ríos— es realmente preocupante que no se esté pensando ni teniendo en cuenta el agregado de una práctica de conservación de suelos milenaria.

2. MANEJO DEL AGUA

El manejo del agua puede implementarse de variadas formas, como las prácticas de manejo de suelos que tienden a mejorar la infiltración del suelo con la aplicación de productos orgánicos o químicos. La incorporación de materiales vegetales de cobertura cuando son enterrados contribuye a la aireación de la capa superior del suelo y mejorar su capacidad de absorción del agua precipitada. La roturación de un campo bajo pradera por una serie de años, es una excelente práctica de manejo de suelos para luego incorporar una serie de años cultivos de semilla fina o gruesa. Pero todas estas prácticas, no son de un gran impacto frente a caídas de lluvia importantes, por lo cual para tener un efecto drástico de control de las aguas de escorrentía en ocasión de lluvias excesivas, la única manera es mediante estructuras hidráulicas, como por ejemplo un canal de intercepción.

En resumen, la manera más efectiva y drástica de controlar escurrimientos de agua sobre el terreno, es mediante estructuras colectoras de canales en tierra, que se conocen como terrazas de canal. Si bien todas las otras medidas de manejo de suelos conducentes a mejorar las tasas de infiltración de los suelos son positivas, no determinan un control efectivo de los excesos hídricos en ocasión de lluvias intensas. Por tanto, afirmamos enfáticamente que el control máximo de los sedimentos se logra con terrazas agrícolas de canal.

Como toda estructura hidráulica que en definitiva es la terraza agrícola, requiere un diseño adecuado a través de una rutina de cálculo que no vamos a detenernos en su análisis, porque está por fuera de los objetivos de este artículo. Pero sin embargo, debemos aclarar al lector que el tema se ha dejado de lado en el país, cuando debería analizarse, discutirse en

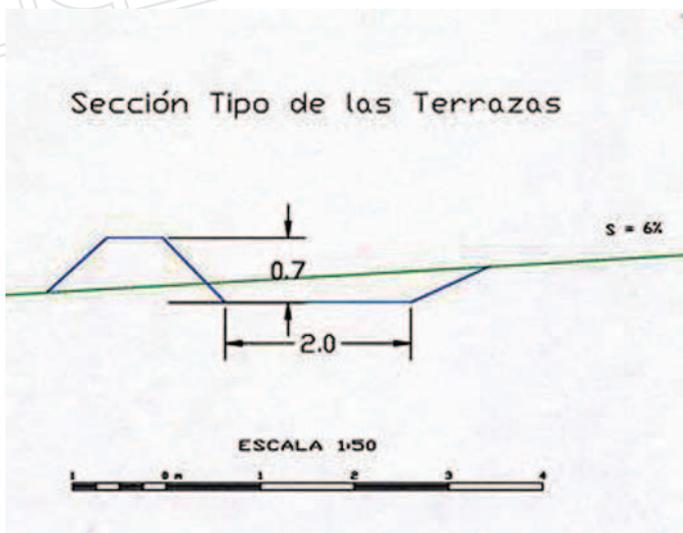


Figura 4: La sección tipo de las terrazas es trapezoidal, con ancho de fondo $1 \leq b \leq 3$ metros y alturas del lomo con respecto al fondo del canal $0,4 \leq H \leq 0,7$ metro.

En los sistemas de riego puedo emplear canales propiamente de riego en los cuales la descarga de los mismos se puede considerar constante, es decir, la descarga no varía en el tiempo, en otras palabras, el flujo es permanente.

Pero también hay situaciones que emplearemos en el sistema de diseño del riego, canales de drenaje, como por ejemplo terrazas, que funcionan como un canal de riego y también de drenaje de los excesos hídricos de escorrentía, y estos canales de drenaje tienen una descarga o flujo que varía en el tiempo y el flujo no es permanente. Por lo tanto, esencialmente un canal de riego no funciona teóricamente exactamente igual que un canal de drenaje y es una diferencia conceptual que debemos tener en cuenta a la hora de realizar los diseños y manejar pendientes especialmente en las condiciones agropecuarias del Uruguay, con canales en tierra sin revestimientos.

El flujo normal o flujo uniforme se da en un canal de riego que está funcionando a régimen, es decir luego del llenado del mismo en toda su extensión y con una entrada Q_1 (descarga de

profundidad los criterios, e investigarse sobre diferentes formas y maneras del diseño de sistema de terrazas.

El asunto importante de análisis es el caso del sistema de riego por Pivot Central, un sistema de riego presurizado que ha tenido un desarrollo de cierta importancia en los últimos veinte años en el Uruguay y que requiere una atención particular de manejo del agua de escorrentía. El pivot central no ha tenido la adecuada atención por parte de técnicos y de autoridades, se ha desatendido la problemática intrínseca del sistema, que representa un incremento del potencial erosivo de la lluvia en el lugar, siendo el tema central de atención de este artículo. Se ha pensado hasta la actualidad que dicho sistema de riego estaba exento de problemas erosivos, lo que resulta gran falacia. Los pivotes han generado problemas erosivos en muchos lugares donde aplican agua en tierras con cierta pendiente, asunto muy típico en casi todas las tierras agrícolas del Uruguay.

Las terrazas agrícolas se aplican sin discusión en general en la solución de la recuperación de campos erosionados con cárcavas, porque de lo contrario el «tapado» o regularización del campo con palas niveladoras o buldócer en general, conduce a un trabajo en el que en pocos años vuelve a reproducirse el zanjado de la chacra, incluso con la introducción de pasturas artificiales.

3. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE PIVOT CENTRAL

La patente del sistema data de 1950 en EE.UU, y en Uruguay se introdujeron los primeros equipos hacia fines del siglo pasado, existiendo actualmente alrededor de 520 equipos que estarían regando aproximadamente 35.000 ha.

El sistema se conforma por una línea o tubería lateral que se mueve en forma circular centrada en un punto del terreno,

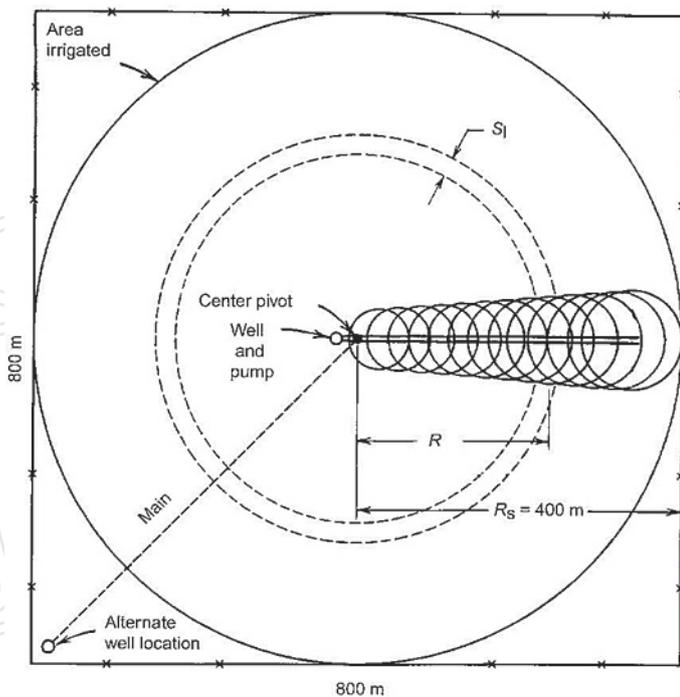


Figura 5. Esquema de un pivot y las distintas pluviometrías de los aspersores a lo largo de la barra lateral estándar de 400 metros máxima, con aspersores de tamaño variable, crecientes hacia el extremo.

por donde entra el agua a presión, y el extremo final del lateral se mueve en forma circular. Esa tubería lateral está montada en una serie de torres con propulsión propia y tiene montado la cantidad suficiente de aspersores, siendo variable la extensión de esta tubería lateral entre 60 y 400 metros, aunque se han implementado variantes que llegan hasta los 800 metros. Vamos a detenernos en el detalle de las tasas de aplicación de agua al suelo que tiene la máquina de riego así diseñada para entender el problema de cómo pueden aumentar el potencial erosivo de la lluvia en un lugar, por aplicación de un sistema de pivot central mal diseñado. Entender el origen de este problema nos permite ver la conveniencia de implementar un sistema de manejo del agua de escorrentía (terrazas) para disminuir los riesgos de erosión.

El sistema de pivot central es muy atractivo a primera vista sin ninguna duda, porque puede adaptarse a diferentes condiciones de suelos, cultivos y topografía, siendo además un sistema que puede hacerse totalmente automatizado. El sistema originalmente fue diseñado para regar un área máxima de 50 has, es decir con una tubería lateral máxima de 400 metros, pero también en áreas relativamente planas, los grandes llanos de Norteamérica.

El costo de un pivot central es importante, entonces al aumentar el área de riego, por extensión de la barra lateral, se disminuyen los costos por unidad de área regada. En orden de disminuir costos, aumentar la productividad y mejorar el retorno de la inversión en una máquina de este tipo, se ha buscado por los vendedores en el país, de sistemas que operen en bajas presiones con los adecuados aspersores que en definitiva conducen a menores consumos de energía y extensiones mayores de la barra lateral hasta 800 metros. Sin embargo, estos sistemas de baja presión se caracterizan por altas tasas de aplicación de la lluvia que prácticamente en nuestras condiciones, exceden la capacidad de infiltración de los suelos, conduciendo a generar escurrimiento y erosión.

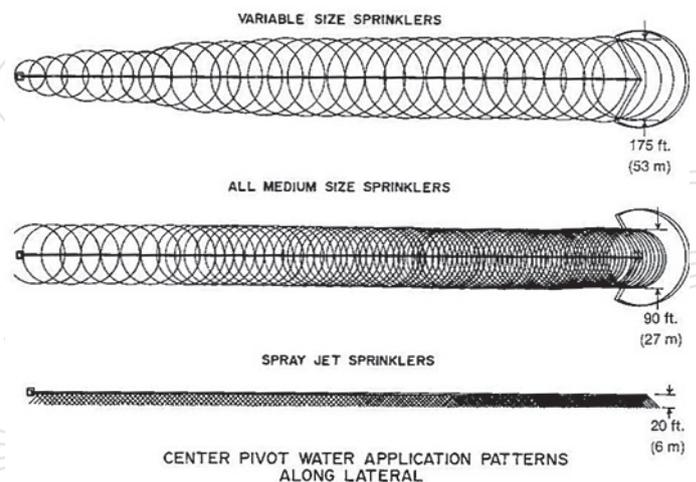


FIGURE X-11
Sprinkler arrangements along the lateral.

Figura 6. (Sears, R.C. 1983) Esta es otra alternativa de colocar los aspersores, el esquema superior es el señalado en primer término de aspersores progresivamente de mayor caudal y diámetro, o un mismo tipo de aspersor con menores espaciamientos que progresivamente se alejen del centro de pivot, y en último término aspersores de gotas muy finas y poco alcance.

Asociada a estas altas tasas de aplicación del agua de riego se produce una alta energía cinética de la lluvia artificial generada, que produce encostramiento de la capa superficial del suelo, favoreciendo el escurrimiento y la erosión del suelo.

Por lo tanto, está demostrado también en otros países que la erosión debida a sistemas de riego con pivot central puede ser de la misma o mayor magnitud que la erosión debida a la lluvia natural (Marques da Silva J.R & Silva L.L . 2010).

3.1. TASAS DE APLICACIÓN DEL AGUA

Primer concepto básico para entender la problemática del pivot central, con relación al potencial erosivo de la máquina, es que para una velocidad angular (número de vueltas / unidad de tiempo) dada, la velocidad en el extremo de la longitud del lateral (velocidad periférica) va a ser mayor que a la mitad de esta barra, por consiguiente la tasa de aplicación de agua al suelo varía a lo largo de la tubería central del pivot, porque la velocidad periférica aumenta al alejarnos del centro del pivot.

Por ello un sistema posible o común de diseño de un fabricante, es colocar cerca del punto central pequeños aspersores, o sea con una tasa de aplicación algo mayor hacia la mitad de la tubería lateral, y aspersores de mayor descarga hacia el extremo final de la tubería, que viaja a mayor velocidad lineal o periférica (Figura 5). De esta forma se obtiene una aplicación más o menos uniforme de agua en el área circular que moja la máquina de pivot central, porque el objetivo del fabricante es la aplicación de una lámina hídrica lo más uniforme posible.

4. CASO DE EROSIÓN SIGNIFICATIVA DE UN SISTEMA DE RIEGO POR PIVOT

En la figura 7 se muestra la situación de un proceso erosivo importante, generado por la instalación y operación incorrecta de un sistema de dos pivotes, básicamente por pendiente importante del área y el tamaño del círculo o longitud excesiva de la barra lateral.

Las características fundamentales del sistema al Oeste del tajamar son: lámina aplicada a velocidad periférica máxima 3,5 mm, la pluviometría media es de 75 mm/hora y la pluviometría máxima en el extremo es de 95 mm/hora. Es una pluviometría de una intensidad muy elevada para la permeabilidad de nuestros suelos, en su mayoría pesados a muy pesados a nivel subsuperficial. Consideramos que la pluviometría media debería ser del orden de 20 a 30 mm/hora, pero no se han realizado investigaciones en el país al respecto. No obstante la observación empírica sabiendo datos de las máquinas permite hacer algunas aseveraciones.

Elevar la longitud de la barra lateral al doble del diseño original de la máquina, es totalmente inconveniente por el incremento importante de la intensidad media. La otra situación inconveniente es las pendientes críticas en parte del área de riego que oscila entre 5 y 6 %, por lo cual suelos pesados de baja permeabilidad recibiendo altas tasas pluviométricas en lugares de pendientes importantes, y además longitudes de laderas del orden de 300 a 350 metros, dan como resultado seguro una erosión laminar y en cárcavas.

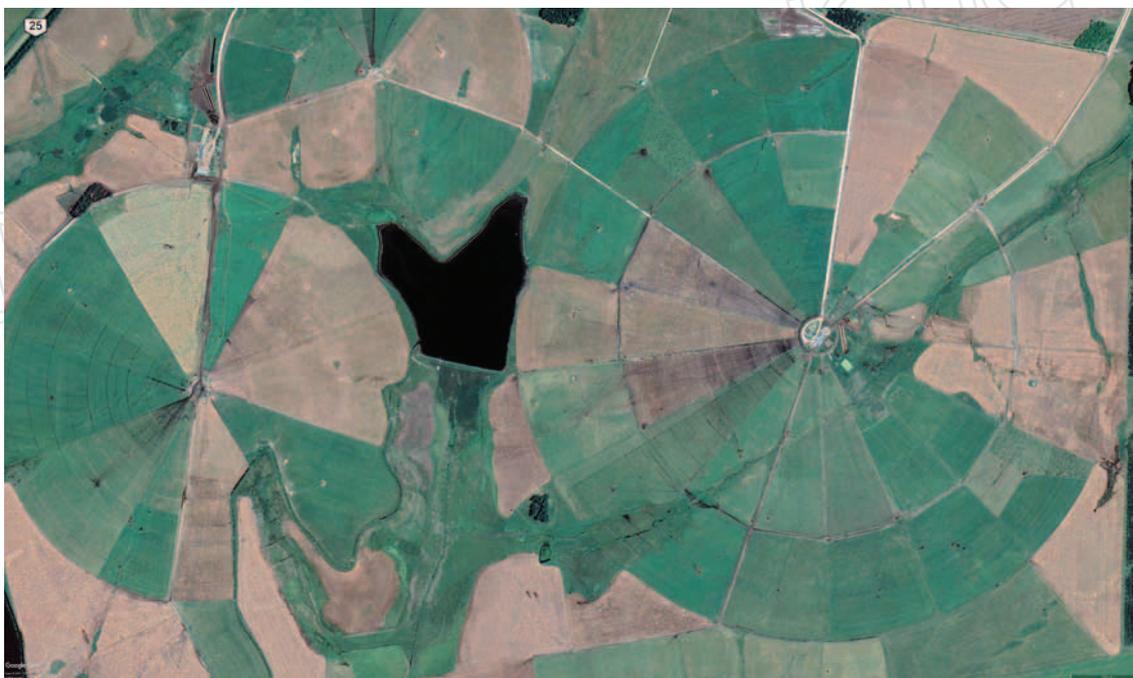


Figura 7. En esta zona se observan dos círculos de riego, ambos con excesivas longitudes de la barra lateral: 590 metros el que se encuentra a la izquierda, o sea al Oeste del tajamar, y de 840 metros el de la derecha. La erosión es severa en ambos casos, pero mucho más grave en el que está al Este del tajamar. La razón de esta observación está en la diferencia de longitudes de la barra lateral, lo cual convierte al sistema pivot de la derecha con un mayor potencial erosivo.



Figura 8. Esta imagen muestra la topografía del área bajo riego, curvas a un metro de intervalo, donde las pendientes críticas están sobre las laderas que vierten hacia el cauce interceptado para la reserva de agua. Se puede observar en color azul las terrazas propuestas para controlar el escurrimiento y volcarlo nuevamente hacia la reserva hídrica, aumentando la eficiencia del uso del agua almacenada y aumentando la cuenca vertiente. Una terraza tiene una longitud de 1.950 y la otra 1.050 metros.

En la figura 8 se muestra la planialtimetría del área y una posible solución para mitigar el alto potencial erosivo resultante de aplicar una máquina de riego de semejantes características, con 840 metros de longitud de la barra. Por más que el vendedor se esfuerce en desmentir la problemática de la máquina, bajando la presión de trabajo recomendada para bajar la tasa de aplicación, igual será elevada para las condiciones de nuestros suelos. En general los sistemas de pivot hasta hoy instalados en el Uruguay no son de diseños tan extremos pero este es un ejemplo de la necesidad de recuperación de

un campo con erosión severa, que exige además de cambios en el sistema de producción e inclusión del manejo del agua por terrazas de canal.

En la figura 8 se puede notar la diferencia de cobertura de un pivot estándar y los que fueron colocados. Cualquiera sea la rugosidad del terreno donde se vaya a instalar este tipo de máquina de riego, un problema más a resolver es el surco de las ruedas de las torres y el eventual daño que pueda generar, encauzando escurrimientos (Figura 9).



Figura 9. Esta imagen muestra el surco generado por el rodado de una de las torres del sistema de Pivot, donde los riesgos dependen de la cobertura existente, las condiciones topográficas y tipo de suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- Chow, Ven Te.** 1959. *Open-Channel Hydraulics*. International Student Edition, McGraw-Hill Book Co. Inc. 378 p.-
- Fangmeier, D.D. et al.** 2006. *Soil and Water Conservation Engineering*. 5ª Edition. Thomson Delmar Learning. pp 403-409.-
- Hudson, N.** 1981. *Soil Conservation, Second edition*. Cornell University Press, New York, 324p.-
- Koolhaas, M.** 2003. *Embalses Agrícolas. Diseño y Construcción*. Edit. Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. 336p.-
- Marques da Silva, J.R. & Silva, L.L.** 2010. *Comparative analysis of potential soil erosion in dry farming and centre-pivot irrigation*. Department of Rural Engineering, University of Evora, Portugal. www.geospatial.world.net
- Ritzema, H.P. (Editor)** 1994. *Drainage Principles and Applications*. International Institute for Land Reclamation and Improvement. Wageningen. The Netherlands. 1124p.
- Sears, R.C. (Editor)** 1983. *Irrigation (formerly Sprinkler Irrigation)*. 5th edition. Second Printing. The Irrigation Association. Chapter X, pp.323-345.-
- Simon, A.L.** 1981. *Practical Hydraulics*. 2º Edition. New York. John Wiley and Sons, Inc. 310p.-

Fotografías de Michel Koolhaas, excepto la indicada.



Inicio del canal de riego o terraza de canal de la estructura que se muestra en la Figura 1 con un ancho de fondo $b = 1,0$ metro y gradiente de pendiente de $0,001$ m/m..



Técnicos, productores que practican el riego y otros interesados en esta práctica, así como estudiantes avanzados de ingeniería agronómica, confluyeron en el campo experimental de riego de la EEMAC.

Jornada de Riego de Cultivos en la EEMAC: la actividad en imágenes

Foto: Unidad Difusión EEMAC

En ocasión del décimo aniversario del Grupo de Desarrollo del Riego (GDR) y de los 20 años de del desarrollo de la investigación en riego de cultivos dentro de la EEMAC, el 10 de febrero de 2017 se celebró en la estación agronómica de Paysandú una Jornada de Riego de Cultivos, que congregó a casi un centenar de personas.

La actividad contó con la participación del entonces ministro en funciones de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP), Ing. Agr. Enzo Benech; y quien era la responsable de la Dirección General de Recursos Naturales (DGRN) del MGAP, Ing. Agr. Mariana Hill.

Durante la mañana se visitaron los ensayos en el campo experimental de riego, que pertenecen al trabajo en riego que desarrolla el grupo de Cultivos del Grupo Disciplinario Ecofisiología y manejo de cultivos anuales del Departamento de Producción Vegetal de la Fagro. En paralelo, se presentó un resumen de los resultados de investigación.

Los ingenieros agrónomos Luis Giménez, coordinador del GDR, y Federico Rovegno, junto a tres tesis, presentaron dos áreas de trabajo en riego de cultivos: manejo del agua en maíz y soja -ensayos de riego deficitario de ambos cultivos- y manejo de cultivos de verano en condiciones de riego -tres ensayos de diferentes medidas de manejo en soja en condiciones de riego-.

Posteriormente el GDR realizó una reunión abierta que incluyó una serie de exposiciones por parte de productores regantes, MGAP y empresas de venta de equipos de riego. También tuvo lugar una breve exposición de las actividades del grupo a partir del acuerdo de creación firmado en octubre de 2008 y posteriormente se realizó un debate acerca de cómo visualizan los diferentes sectores involucrados el crecimiento de esta tecnología y cómo continuar aportando a su desarrollo en el país.



El entonces titular interino de MGAP, Enzo Benech, dialoga con el docente del departamento de Producción Vegetal de Fagro, Oswaldo Ernst.



Parte del equipo que llevó adelante la investigación en riego de los cultivos de verano de mayor importancia en nuestro país.



Experimento de riego deficitario controlado en el cultivo de maíz.



Ensayo llevado adelante en la EEMAC sobre el cultivo de soja.



Durante la mañana tuvo lugar la recorrida por los experimentos.