

Análisis del impacto del riego por goteo subterráneo para maíz en el Valle Bonaerense del Río Colorado

Patricio Varela

ISSN 0328-3399
Informe Técnico de la E.E.A. Hilario Ascasubi N° 53



INTA Ediciones

INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN

Colección

Análisis del impacto del riego por goteo subterráneo para maíz en el Valle Bonaerense del Río Colorado



Ministerio de Agroindustria
Presidencia de la Nación

Resumen

P. Varela.

El maíz es el cereal que ocupa la mayor superficie regada del Valle Bonaerense del Río Colorado (VBRC). Habitualmente se utiliza riego gravitacional, con un manejo que presenta baja eficiencia de uso del agua (EUA) y baja eficiencia agronómica del nitrógeno (EA_N). En el VBRC el rendimiento del maíz apenas alcanza la media nacional, cercana a 8 t ha^{-1} , a pesar del elevado potencial generado por la factibilidad del riego.

La finalidad de este trabajo fue alcanzar el rendimiento potencial del híbrido ensayado con RGS en dos épocas de siembra y establecer una comparación entre los resultados obtenidos con RGS, los del mismo híbrido en los ensayos comparativos de rendimiento del INTA Hilario Ascasubi y los valores medios de la producción de maíz del VBRC.

En una unidad piloto del campo experimental del INTA Hilario Ascasubi se desarrolló una experiencia que combinó la tecnología de siembra directa con el riego por goteo subterráneo (RGS). A los fines de poner en valor un lote fuera de cota de riego gravitacional, se sistematizó mediante RGS y se practicó la siembra de maíz a principios de noviembre y a mediados de diciembre. Los riegos fueron establecidos en base a las necesidades hídricas del cultivo.

Con RGS el rendimiento del maíz bajo siembra temprana alcanzó 18 t ha^{-1} . Este valor duplicó la media regional y fue 27% mayor que el mismo híbrido en un ensayo lindero realizado con riego gravitacional. El RGS quintuplicó la EUA y tuvo una EA_N 25% superior que la estimada para el cultivo bajo condiciones medias del VBRC.

Cuando se atrasó la fecha de siembra, el rendimiento del maíz con RGS disminuyó 33%, reduciéndose 50% y 33% la EUA y la EA_N respecto al maíz temprano.

Considerando los parámetros evaluados puede mencionarse que el RGS mejoró los valores de EUA, EA_N y produjo rendimientos superiores a la media regional, incluso con retraso de la fecha de siembra.

Introducción

La actividad agrícola de Valle Bonaerense del Río Colorado (VBRC) está sustentada en el riego complementario con agua derivada del río Colorado. Poco más de medio millón de ha están circunscriptas entre los canales matrices hacia ambos márgenes del río. Anualmente, en forma alternativa o reincidente, con la infraestructura de canales de riego y drenajes (sin revestimiento), a cielo abierto, se irrigan cerca de 140.000 ha. En forma casi excluyente los métodos de riego empleados son gravitacionales (Sánchez, 2013, CORFO, 2016).

En el VBRC el 52% del área irrigada se destina a pasturas, el 39% a cereales y solo el 9% a cultivos hortícolas (Lucanera *et al*, 2013-15). A pesar de la escasa participación relativa, la cebolla y otros hortícolas utilizan cerca de la mitad del agua del sistema. En cada explotación, el agua de riego suele generalmente priorizarse para el cultivo de cebolla (Sánchez, 2013).

El área ocupada por el maíz muestra una tendencia incremental, que posiciona a este cultivo como el principal cereal (Lucanera *et al*. 2005-15). En las últimas cinco campañas se sembraron 12.940 ha de maíz, reflejando un crecimiento de más de dos veces y media la referencia de una década atrás. Sin embargo, la utilización de agua por el cultivo es baja, ya que solo representa el 9,5% del área con concesión de riego.

Sin diferenciarse del resto de las producciones, el cultivo de maíz habitualmente se riega por gravedad. En situaciones óptimas suelen emplearse hasta cinco riegos, de al menos 84 mm cada uno (Sánchez, 2013). De acuerdo a la textura del suelo, fenología del cultivo, grado de enmalezamiento del lote y desempeño del regante, las láminas aplicadas frecuentemente suelen ser aún mayores (Varela *et al*, 2014). Esta situación hace que los valores de eficiencia de aplicación del agua de riego en la parcela rara vez superen el 50% (Sánchez, 2013; Varela *et al*, 2014).

Los rendimientos medios de los productores son menores 8 t ha^{-1} (Lucanera *et al*, 2015), similares a los valores nacionales (MAIZAR, 2011) bajo condiciones predominantes de secano. El rendimiento obtenido por los productores del VBRC está alejado del techo de rendimiento señalado por Rivas (2015).

En un sitio determinado el rendimiento del maíz depende de los límites que el ambiente le imponga para crecer y destinar ese crecimiento a los órganos cosechables. La latitud, la época del año, la heliofanía, y la intercepción de la radiación son algunos de los factores para ello. Generalmente la brecha entre los

rendimientos obtenidos y los máximos alcanzables están explicados por la oferta hídrica durante estadíos fenológicos claves (Cirilo *et al*, 2012).

Aunque se pueden lograr mejoras en los valores de eficiencia de aplicación del agua de riego bajo sistema gravitacional (Varela *et al*, 2014), existe fuerte evidencia de la superioridad del riego por goteo subterráneo (RGS, Camp, 1998). Según Lamm y Trooien (2003), el consumo de agua del maíz se redujo más de la mitad mediante RGS. Este sistema también presenta menor percolación profunda de agua y aumenta la eficiencia del uso de los fertilizantes (Ayars *et al*, 1999, Lamm *et al*, 2001; Trakalson *et al*, 2009). Ello redundo en una mejora generalizada del rendimiento de los cultivos regados con RGS, incluyendo al maíz (Camp, 1998; Ayars, 1999; Lamm, 2003).

La finalidad de este trabajo fue alcanzar el rendimiento potencial del híbrido ensayado con RGS bajo condiciones hídricas y nutricionales controladas en dos épocas de siembra y establecer una comparación entre los resultados obtenidos con RGS, los del mismo híbrido en los ensayos comparativos de rendimiento del INTA H. Ascasubi y los valores medios de la producción de maíz del VBRC.

Materiales y métodos

Parte I

En la experiencia de campo se evaluó la productividad del maíz en RGS, bajo dos fechas de siembra.

La experiencia se desarrolló en una parcela fuera de cota para el riego gravitacional, de la EEA INTA Hilario Ascasubi (39°23'54" S, 62°37'55" O). Por su condición topográfica la producción de esa parcela estaba limitada a ganadería con recursos forrajeros implantados eventualmente, como verdeos de invierno, o simplemente la oferta natural de las especies presentes en el banco de semillas del suelo.

Previo a la siembra del cultivo se realizó un estudio de suelo en la capa superficial de 0-20 cm para conocer la condición inicial en cuanto a fertilidad química y algunos parámetros físicos.

Para utilizar la siembra directa, a principios del mes de junio se implantó centeno como cultivo de cobertura. El 16 de octubre se detuvo el ciclo del cereal mediante la aplicación de glifosato (2,5 L ha⁻¹).

Bajo la cobertura vegetal existente se dispuso el sistema de riego subterráneo NETAFIM® utilizando el implemento enterrador de cintas, con órganos de corte delante del timón enterrador, para evitar el amontonamiento de residuos de la cobertura durante el avance de la máquina (Figura 1).



Figura 1. Izq. Vista del implemento enterrador de tubería utilizado. Der. Detalle de la labor de corte de cobertura y enterrado de lateral de goteo.

Los laterales de riego se instalaron en un marco de 0,70 m en el plano horizontal, correspondiéndose con el distanciamiento de las salidas integradas de la conducción hidráulica FlatNet® (manguera plana) y a 0,20 m de profundidad (Figura 2, 3 y 4).

La equidistancia usada entre los emisores integrados en la tubería de riego fue de 0,30 m con un caudal nominal por goteo de 1 L h⁻¹. El esquema planteado dispuso que, en la ha de riego, sobre 14.285,70 m de laterales de goteo los 47.619 emisores tuvieran la capacidad de erogar una lámina de riego de 4,7 mm h⁻¹.

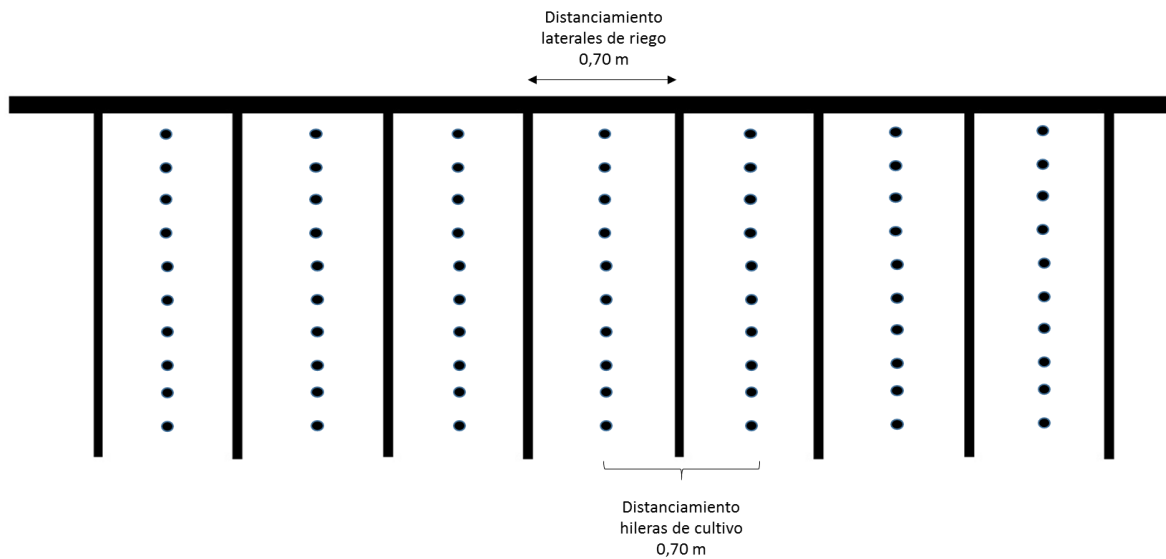


Figura 3. Esquema del arreglo espacial de los laterales de riego utilizados para regar el cultivo.



Figura 3. Vista del perfil del suelo con el lateral de riego dispuesto a 0,20 m de profundidad.

El cultivo de maíz fue regado en base a los requerimientos hídricos, según las estimaciones propuestas por Sánchez (2013). La metodología empleada para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo (ET_c) fue la propuesta por Allen *et al* (2006) y ajustada con los datos meteorológicos relevados en la estación meteorológica del INTA Hilario Ascasubi (Cepeda, 2015).



Figura 4. Conducción de riego FlatNet® en cabecera con salidas integradas a 0,70 m.

La fecha de siembra del maíz temprano (Maíz I) fue el 6 de noviembre, mientras que el maíz tardío (Maíz II) se sembró el 15 de diciembre. En ambos casos se utilizaron parcelas de 3.850 m² cada una. El híbrido comercial utilizado fue DK72-10VT3P (Dekalb). Se usó una sembradora con dosificación neumática por succión, y tren de siembra compuesto por cuchilla turbo, abresurco doble disco, doble rueda limitadora de profundidad, contactador de semilla suelo tipo “cola de castor” y doble rueda conformadora de surco con disco escotado (Figura 4). La semilla presentaba un

poder germinativo de 98,7%. La densidad de siembra planteada fue 90.000 pl ha⁻¹, con 0,70 m de separación entre hileras.



Figura 4. Labor de siembra posterior al enterrado de los laterales de riego.

El maíz temprano y el tardío se fertilizaron a la siembra con 192 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico (DAP) aplicados lateralmente a la línea. El resto de la fertilización nitrogenada se realizó mediante el fertirriego. La partición de la fertilización se realizó entre los estadios fenológicos V4 (cuarta hoja desarrollada) y R1 (emergencia de estigmas) (Ritchie y Hanway, 1984). Como fuente de nitrógeno (N) se usó solución de urea (46-0-0) incorporada al sistema con una bomba inyectora de pistón hidráulico marca Amiad®.

Parte II

Como segunda parte del trabajo se compararon tres situaciones de manejo productivo para maíz, observadas en el VBRC:

Medio: Se consideraron las condiciones del cultivo de maíz de los últimos cinco ciclos agrícolas en el VBRC informadas por Lucanera *et al* (2015).

Ensayo: Se consideró el comportamiento del híbrido DK72-10VT3P (Dekalb) en los tres últimos ensayos comparativos de rendimiento (ECR) de maíz, con riego gravitacional en el INTA H. Ascasubi (Rivas, 2015; Rivas, 2014; Rivas, 2013).

Máximo: Comportamiento del híbrido DK72-10VT3P en el Maíz I en la unidad piloto con el RGS.

Las variables analizadas fueron:

Cantidad de riegos: Número de eventos de riego que recibió el cultivo.

Láminas de riego aplicadas: Altura de la lámina de agua de riego aportada expresada en mm. Para la situación I fue estimada según Sánchez (2013), mientras que para la situación II fue la registrada por Rivas (2015). La lámina de riego en la situación III se estableció de acuerdo a las condiciones climáticas y las necesidades de agua del maíz según Sánchez (2013).

N aportado: Cantidad de nitrógeno aportado expresado en KgN ha^{-1} . Para todos los casos se estimó el equivalente en kg de N aportado por los fertilizantes incorporados a la siembra y a lo largo del ciclo productivo. La dosis de N para la situación Medio se estableció en base a Rivas, J; Urrutia, G. y Ramírez, W. (comunicación personal). Para la situación Ensayo se consideró la dosis de N informada por Rivas (2013-15) en los ECR de maíz en el INTA H. Ascasubi. La dosis de nitrógeno para la situación Máximo se definió en base a la recopilación bibliográfica (García, 2005; Steinbach *et al*, 2006; Ciampitti *et al*, 2010; Bender *et al*, 2013).

Rendimiento comercial (Rend.): Peso del maíz cosechado por unidad de superficie expresado en kg ha^{-1} . Para la determinación del rendimiento se cosecharon las mazorcas en 5 sitios al azar sobre una superficie de $3,5 \text{ m}^2$ cada uno. Este procedimiento se realizó en las parcelas sembradas sobre el RGS. El resto de los valores de rendimiento corresponden a los informados por Lucanera *et al* (2015) y Rivas (2015).

Eficiencia en el uso del agua de riego (EUA): se obtuvo mediante la relación entre el peso del grano cosechado y el volumen de agua de riego aplicado expresada en kg m^{-3} . El volumen aplicado se calculó mediante el producto de la sumatoria de horas de riego y el caudal que eroga el sistema descrito precedentemente.

Eficiencia agronómica del N (EA_N): Relación ente el peso del producto y la cantidad de nitrógeno aportado expresado en $\text{kg}_{\text{grano}} \text{kgN}^{-1}$.

En la primera parte del trabajo, además de contemplar las variables anteriormente mencionadas se compararon:

Peso de 1000 granos (P_{1000}): Expresado en g cada 1000 granos. Este se realizó siguiendo el protocolo propuesto por las reglas ISTA (2011).

Número de granos por metro cuadrado (granos m^{-2}): Se calculó mediante el cociente entre el rendimiento y el peso individual del grano.

Peso hectolítrico (PH): Se determinó a partir del muestreo usado para rendimiento respetando la normativa establecida por la SAGyP (1994).

Materia seca acumulada ($MS \text{ ha}^{-1}$): Se determinó a partir del producto entre peso seco de la planta y el número de plantas en la ha. El valor promedio por planta se obtuvo sobre un muestreo de 30 plantas tomadas al azar para cada fecha de siembra. Para la determinación se consideró la parte aérea de la planta (Figura 6). Estos muestreos se realizaron cuando la materia seca del grano estuvo por debajo de 30% coincidiendo con el estadio R6 o madurez fisiológica (Ritchie y Hanway, 1984).

Índice de cosecha de la materia seca (IC_{MS}): obtenido a partir del cociente entre el peso de la materia seca del grano (MS_{grano}) y el peso seco total de la biomasa aérea compuesto además del grano por: hojas, caña, marlo, chalas, estigmas y panoja masculina (Steinbach *et al*, 2006).

Altura de planta: Se midió la longitud (cm) en altura de las plantas desde la superficie del suelo hasta el extremo apical de la panoja.



Figura 5. Corte a ras de suelo de las plantas de maíz para determinar MS.

Del mismo set de muestras usado para determinar el IC sobre cinco plantas al azar de cada fecha de siembra, se determinó el contenido de nitrógeno (N), mediante Kjeldahl modificado (IRAM, 2010), separando en grano y resto de la planta (hojas, caña, marlo, chalas, estigmas y panoja masculina) sin involucrar las raíces. Siguiendo a Steinbach *et al* (2006), los resultados del análisis de tejido vegetal se utilizaron para determinar:

Nitrógeno absorbido por el maíz ($N_{abs.}$): Se obtuvo como producto entre la cantidad (kg) de N absorbido por planta multiplicado por el número de plantas en la ha.

Eficiencia de conversión de nitrógeno ($EF_{conv.}$): Se determinó a través del cociente entre la cantidad (kg) de MS_{grano} y el $N_{abs.}$

Índice de cosecha del nitrógeno (IC_N): El resultado se calculó mediante la relación N grano y el total de N de la biomasa aérea Ciampitti *et al* (2010).

Eficiencia conversión total ($EF_{c.total}$): Relación entre la cantidad de N requerida para producir una tonelada de materia seca ($KgN\ tMS^{-1}$) Ciampitti *et al* (2010).

Proteína del grano ($Proteína_{grano}$): Porcentaje de proteína en el grano expresado en porciento. Estimado mediante el contenido de nitrógeno en el grano a través de Kjeldahl modificado (IRAM, 2010).

Todas las variables mencionadas se calcularon sobre base seca, mediante el secado de las muestras en estufa de aire forzado a 60 °C hasta llegar a peso constate. Los valores de rendimiento, P_{1000} y PH fueron corregidos a 14,5% de humedad, fijado en las bases de comercialización de maíz (SAGyP, 1994).

Los datos se evaluaron estadísticamente por análisis de rango estudentizado Tukey, para la comparación de las medias. Se usó el test de Student para la comparación de las medias de a pares. Para ello se utilizó el software estadístico Infostat® (Di Renzo *et al*, 2016).

Resultados y discusión

Producción de maíz con RGS bajo dos épocas de siembra

De acuerdo a Mass y Hoffman (1977) el lote en el cual se sembró el maíz carecía de concentración de sales perjudiciales para el desarrollo y efectos contra restantes en el rendimiento del cultivo (Tabla 1). El pH se encontró desplazado levemente hacia la basicidad. El porcentaje de MO y los valores de densidad aparente estuvieron dentro de los parámetros normales para los suelos de la zona (Sanchez, 1998). Los niveles de P indicaron buena provisión contraponiéndose con los de Nt que fueron bajos.

Tabla 1. Parámetros edáficos del sitio de la experimentación. **CE:** conductividad eléctrica; **MO:** materia orgánica; **P:** fósforo; **Nt:** nitrógeno total; **δ:** densidad aparente; **%A:** % arena; **%L:** % limo y **%Ar:** % arcilla.

CE (dS m ⁻¹)	pH	MO (%)	P (ppm)	Nt (mg/g)	δ (Mg m ⁻³)	Clase textural		
						%A	%L	%Ar
0,56	7,62	1,53	23,5	0,88	1,3	5,5	9,5	85,0
						Arenoso franco		

Las lluvias acumuladas durante el experimento fueron 82% superiores al valor promedio (Tabla 2). A su vez, los valores contemporáneos de evapotranspiración de referencia (ET_o) fueron considerablemente inferiores a los registrados por Cepeda (2016), durante gran parte del ciclo del maíz, fundamentalmente en los meses de máxima demanda hídrica del cultivo (Figura 1).

Tabla 2. Valores mensuales de ET_c, precipitaciones y balance hídrico para el cultivo de maíz.

Mes	ET _c (mm)	Precipitación (mm)	Balance mensual (mm)
Noviembre	40,2	64,0	23,7
Diciembre	123,8	116,5	- 7,2
Enero	186,3	132,5	-53,7
Febrero	134,7	74,3	-60,3
Marzo	35,3	5,0	-30,28
Total	520,2	392,3	-127,9

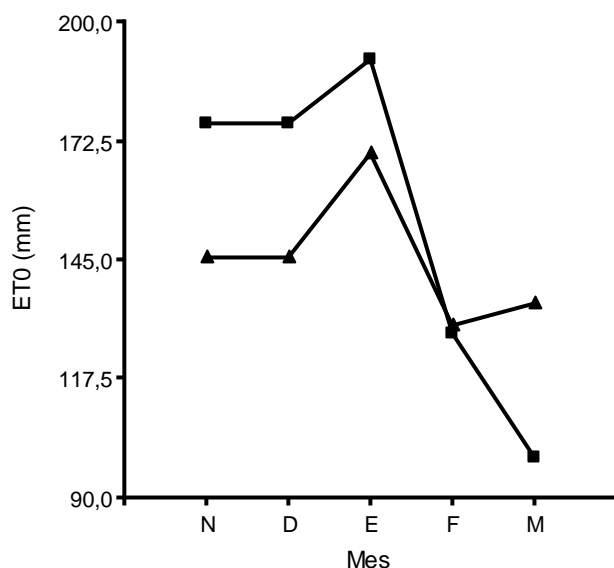


Figura 6. Evolución mensual de la ETo histórico (cuadrados) y ETo 2015-16 (triángulos).

Las precipitaciones acompañaron los picos de máxima demanda del cultivo (Figura 2). La principal diferencia entre las épocas de siembra fue la etapa final durante marzo. En la primera fecha de siembra el maíz estaba en R6, mientras que el tardío se encontraba en R2 (ampolla o blíster). Bajo esas condiciones, durante la primera semana de marzo se concluyó el riego del maíz temprano, mientras que el maíz tardío se regó durante marzo. En general, para las dos siembras los balances estuvieron cercanos al cero.

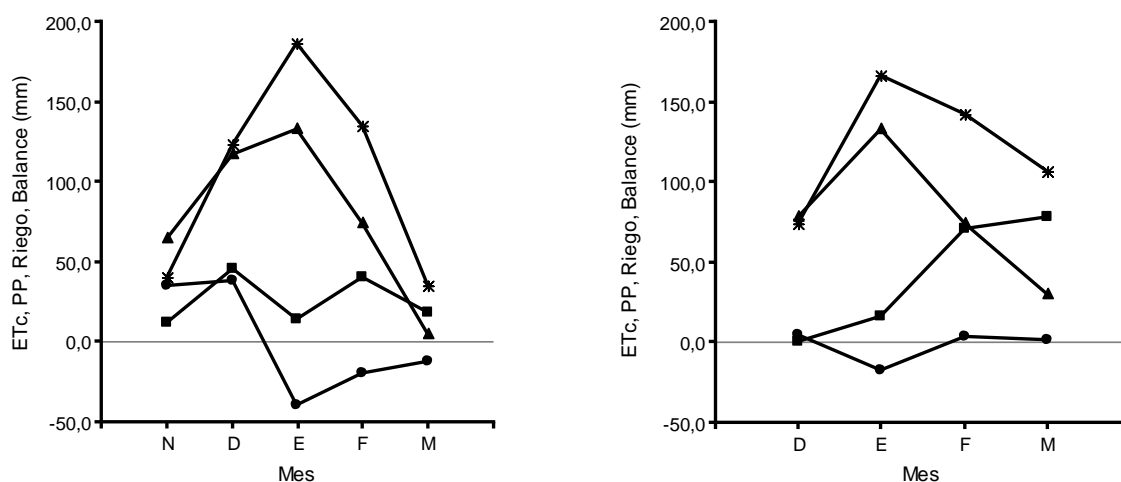


Figura 7. Valores expresados en mm de la evolución de la evapotranspiración del maíz (ETc), precipitaciones (PP), riego y el balance hídrico a lo largo del ciclo de riego de maíz I (izquierda) y del maíz II (derecha). Estrellas: ETc; Triángulos: PP; Cuadrados: Riego y Círculos: Balance hídrico.

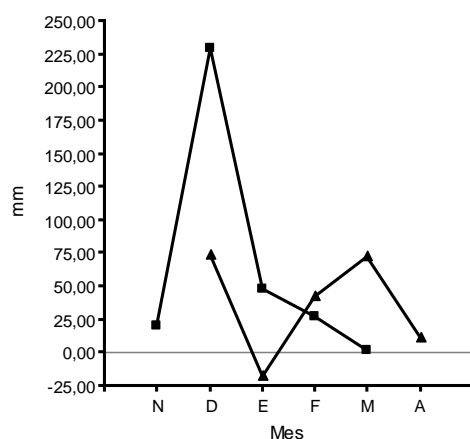


Figura 8. Valores acumulados en mm. Cuadrados: Maíz I y Triángulos: Maíz II.

Lamina de riego aplicada

El Maíz II requirió un episodio más de riego, con 37 mm adicionales respecto al Maíz I (Tabla 3).

Tabla 3. Cantidad de riegos y láminas totales aplicadas en cada fecha de siembra del cultivo.

	Maíz I	Maíz II
Riegos (n)	14	15
Lámina (mm)	130,0	167,0

Fertilización nitrogenada

Las dos fechas de siembra recibieron el mismo aporte de N mediante la aplicación de fertilizantes químicos (Tabla 4). La diferencia entre las dos fue: por un lado, el número de particiones del fertirriego que se realizaron desde V4 hasta R1 y por el otro, los kg-N ha⁻¹ aplicados en cada uno de ellos, para completar el total de N previsto. El maíz II, al acelerar el ciclo hasta llegar a la fase reproductiva, insumió dos aplicaciones de fertilizantes menos, aunque debió aumentarse la concentración de N en cada una de ellas para que el valor total suministrado quedara equiparado.

Tabla 4. Fertilización realizada para dos épocas de siembra del maíz.

Fecha siembra	Estado de aplicación			TOTAL N Fertilizante (kg ha ⁻¹)
	Siembra	V4 – R1		
	N-DAP (kg ha ⁻¹)	Fuente		
		N-UREA	Fertirriego	
	(kg ha ⁻¹)	Partición (N°)		
Maíz I	34,50	241,50 (23+23+23+23+46+46+57,5)	7,00	276,00
Maíz II	34,50	241,50 (46+46+46+46+57,5)	5,00	276,00

Rendimiento

La eficiencia de implantación fue elevada, mayor a 95% en ambos casos. La densidad (δ) de plantas a cosecha resultó diferente entre las dos épocas de siembra. En las dos fechas el híbrido produjo una espiga por planta (Tabla 5).

Tabla 5. Dosis de siembra, densidad (δ) de plantas logradas a cosecha, eficiencia de implantación (Ef.) y prolificidad del maíz para las dos fechas de siembras evaluadas.

Fecha de siembra	Dosis de siembra (semillas ha ⁻¹)	δ a cosecha (plantas ha ⁻¹)	Ef. (%)	Prolificidad (espiga pl ⁻¹)
Maíz I	90.000	85.714 a	95,23	1,00
Maíz II	95.714	94.857 b	99,10	1,00
p-valor	-----	0,0245	0,3043	-----

Letras diferentes indican diferencias significativas entre fechas de siembra según test de Tukey ($\alpha=0,05$)

El rendimiento obtenido con el Maíz I fue 48,4% superior que en el Maíz II (Tabla 6). Los principales componentes del rendimiento que diferenciaron las dos fechas fueron el número de granos m⁻² y el peso de los 1000 granos. En ambos casos fueron significativamente superiores para el maíz I, en 28% y 15,6% respectivamente. El peso hectolítrico de los granos no se diferenció entre las dos situaciones. En ambos casos clasificó como grado 1 dentro del estándar de comercialización de maíz (SAGyP, 1994).

Tabla 6. Comparación de diferentes componentes del rendimiento y peso hectolítrico entre las dos fechas de siembra.

Fecha siembra	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	P ₁₀₀₀ (g)	Granos m ⁻² (N°)	PH (kg/hl)
Maíz I	18.273 a	325 a	5.626 a	76,2
Maíz II	12.314 b	281 b	4.392 b	75,5
p-valor	<0,0001	<0,0001	0,0015	0,3212

Letras diferentes indican diferencias significativas entre fechas de siembra según test de Tukey ($\alpha=0,05$).

El retraso en la fecha de siembra de maíz generalmente refleja una reducción en el peso de los granos ligada a menores niveles de radiación y temperatura durante el llenado de grano, las cuales desfavorecen la producción de asimilados en la planta (Cirilo *et al* 2012). A su vez en concordancia con Cantarero *et al* (2000), el número de granos m⁻² fue significativamente menor para el maíz tardío.

La EUA y EA fueron considerablemente menores para el Maíz II (Tabla 7). La disminución en el rendimiento de la segunda fecha de siembra dio como resultado una EUA un 50% por debajo del Maíz I. A su vez la EA fue 21,6 kg_{grano} menor por Kg de nitrógeno aplicado al retrasar la fecha de siembra.

Tabla 7. Eficiencia del uso del agua (EUA) y agronómica del N (EA_N) para las dos épocas de siembra de maíz.

	Maíz I	Maíz II
EUA (kg m ⁻³)	14,05	7,37
EA _N (kg _{grano} kgN ⁻¹)	66,20	44,62

Índice de cosecha

La segunda fecha de siembra desarrolló mayor altura de planta (Tabla 8). Sin embargo, la producción de MS ha⁻¹ fue significativamente superior en el Maíz I, superando al Maíz II en casi un 20%. No se observaron diferencias en el IC_{MS}. La producción total de biomasa seca del Maíz I duplicó la producción de los maíces para silaje en el VBRC (Marinissen, J. y APROVIS comunicación personal).

Tabla 8. Comparación de la altura de planta, materia seca (MS) e índice de cosecha (IC_{MS}) para las dos fechas de siembra.

Fecha siembra	Altura planta (cm)	MS (kg ha ⁻¹)	IC _{MS}
Maíz I	273 a	35507 a	0,51 a
Maíz II	289 b	29621 b	0,52 b
p-valor	<0,0001	0,0002	0,0493

Letras diferentes indican diferencias significativas entre fechas de siembra según test de Tukey ($\alpha=0,05$)

El maíz I absorbió 94 kg ha⁻¹ más de nitrógeno respecto del Maíz II (Tabla 9). En ese caso, la fertilización fue sobreestimada ya que el contraste entre el N_{abs.} aportado y disponible dejó N remanente. Por cada kg de N absorbido la producción de MS_{grano} fue de alrededor de 45 kg en ambos casos. La remoción de N en grano, o IC_N, representó más del 60% del total de N acumulado por el cultivo a madurez comercial sin evidenciarse diferencias entre las fechas de siembra. El requerimiento de N por cada tonelada de MS producida fue superior en 1,28 kg para el maíz I.

Tabla 9. Valores medios de: nitrógeno absorbido (N_{abs.}); Eficiencia de conversión de nitrógeno (EF_{conv.}); Índice de cosecha del nitrógeno (IC_N); Eficiencia conversión total (EF_{c.total}) y Proteína del grano (Proteína_{grano}).

Fecha siembra	N _{abs.} (Kg N ha ⁻¹)	EF _{conv.} (kg MS _{grano} kg N _{abs.} ⁻¹)	IC _N	EF _{ctotal} (KgN tMS ⁻¹)	Proteína _{grano} (%)
Maíz I	387 a	46	0,64	11,3 a	8,5
Maíz II	293 b	44	0,61	10,0 b	8,4
p-valor	0,0250	0,5474	0,1562	0,0272	0,8190

Letras diferentes indican diferencias significativas entre fechas de siembra según test de Tukey ($\alpha=0,05$)

Los resultados reflejaron cierta concordancia con algunos autores. Tanto N_{abs.} y EF_{conv.} fueron coincidentes con el rango obtenido por Setibach *et al* (2006). La EF_{ctotal} fue superior a la determinada por Ciampitti *et al* (2010) cuyas determinaciones reflejaron hasta 18Kg de N para producir una tonelada de MS.

Comparación de tres situaciones de manejo productivo para maíz en el VBRC

Para analizar los resultados subsiguientes se consideró la situación Medio como el 100% y se compararon las situaciones Ensayo y Máximo con la primera.

Lamina de riego

La lámina y cantidad de riegos medidos o estimados fueron ajustados al sistema de riego y manejo (tabla 10). Dado que hubo abundantes precipitaciones los eventos de riego para la situación Medio fueron menores a los informados por Sánchez (2013). La situación Máximo resultó un 51,5% y 61,3% menor en lámina aplicada a las situaciones Medio y Ensayo respectivamente. A su vez la situación Medio manifestó 33% menos de lámina. Estos valores indican que el RGS permitió reducir al menos a la mitad la erogación de agua.

Tabla 10. Lámina y cantidad de riegos aplicados por situación de manejo. **Proporción %_{medio}**: proporción porcentual respecto a la situación Medio.

	Medio	Ensayo	Máximo
Riegos (n°)	3	4	14
Lámina (mm)	252	336	130
Proporción (% _{medio})	100,0	133,3	51,5

El principal factor que destacó favorablemente al RGS del riego gravitacional fue la elevada eficiencia de aplicación del agua dada la posibilidad de regar con láminas muy reducidas. Caso contrario ocurrió en los sistemas gravitacionales donde es muy complejo lograr valores de eficiencia elevados (Varela *et. al.* 2014). Por tal motivo, si bien la situación Máximo recibió hasta 10 eventos de riego más que las otras dos, el acumulado final fue tan bajo.

Fertilización nitrogenada

La fertilización nitrogenada de la situación Máximo estuvo orientada a satisfacer la demanda de un cultivo de maíz de alto potencial de rendimiento (Tabla 11). La posibilidad de fertirriego permitió particionar la dosis de N en siete aplicaciones semanales (23+23+23+23+46+46+57,5 kg-N ha⁻¹) que se aplicaron desde V4 hasta R1 (Ritchie y Hanway, 1984).

Tabla 11. Dosis de nitrógeno aplicado sobre el cultivo en cada situación de manejo. **Proporción %_{medio}**: proporción porcentual respecto a la situación Medio.

	Medio	Ensayo	Máximo
N (kg ha ⁻¹)	78	179	276
Proporción (% _{Medio})	100,0	229,5	353,8

Los niveles de fertilización establecidos para la situación Medio fueron considerablemente menores que las otras alternativas. Esto, no se debe a la falta de potencial de rendimiento, sino fundamentalmente a la oportunidad de uso del agua de riego que usualmente tiene el productor. En el VBRC, el principal cultivo demandante de agua es la cebolla, la cual insume alrededor de la mitad del agua disponible durante el ciclo hidrológico (Sánchez, 2013). Por ello es incierto decidir la fertilización correcta cuando se desconoce la disponibilidad de agua, mediante la cual los nutrientes de los fertilizantes se traduzcan en una mayor eficiencia agronómica.

Rendimiento

El rendimiento comercial registrado en el manejo bajo RGS fue de 18.274 kg ha⁻¹. Este representó 257,4% y 26,9% más referidos a las situaciones Medio y Ensayo respectivamente (Tabla 12).

Tabla 12. Rendimiento (**Rend.**) del maíz en cada situación de manejo. **Proporción %_{medio}**: proporción porcentual respecto a la situación Medio.

	Medio	Ensayo	Máximo
Rend. (kg ha ⁻¹)*	7.100	14.403	18.274
Proporción (%)	100,0	202,8	257,3

*Todos los valores están expresados en base 14,5% de humedad.

El RGS se destacó por encima de las situaciones de riego gravitacional. Este punto reflejó la importancia de poder suministrar, en diferentes momentos y con gran precisión, no solo la cantidad de agua requerida por el cultivo sino también la de nitrógeno más allá del estadio fenológico V6-V7 (Ritchie y Hanway, 1984). Si Este representa el momento en el cual, por el desarrollo vegetativo del maíz, no es posible seguir ingresando con maquinarias a los lotes sin perjudicar al cultivo con los daños mecánicos. Por lo cual la dosis total de N a aplicar al cultivo se realiza hasta ese período con el consecuente riesgo de pérdidas por lixiviación, provocada por el riego (Oyarzum Arrechea, 2010) así como por volatilización, dependiendo de la fuente nitrogenada y modalidad de aplicación (Ferraris *et al*, 2009).

Eficiencia de uso del agua de riego y del nitrógeno

En la tabla 13 se puso de manifiesto que el RGS quintuplicó y triplicó la EUA respecto a las situaciones Medio y Ensayo respectivamente. La EA_N en la situación Máximo, si bien fue 25% superior que la estimada para la situación promedio del VBRC estuvo 25% debajo de la registrada en los ensayos comparativos de rendimiento dentro del INTA H. Ascasubi.

Tabla 13. Eficiencia del uso del agua y agronómica del N y su proporción respecto a la situación Medio ().

	Medio	Ensayo	Máximo
EUA (kg m ⁻³)	2,82 (1,00)	4,28 (1,52)	14,05 (4,98)
EA_N (kg grano kgN ⁻¹)	53,4 (1,00)	80,4 (1,50)	66,2 (1,24)

Conclusiones

La performance productiva del maíz bajo RGS fue sustancialmente más alta que las observadas en el VBRC aplicando riego gravitacional. Ello puso de manifiesto el potencial productivo que dicha tecnología puede aportar al cultivo.

Los valores registrados para el rendimiento se alcanzaron principalmente por el aumento en la eficiencia de uso del agua y los elevados niveles de N aplicados de manera fraccionada mediante el fertirriego. La elevada absorción de N registrada en las plantas determinó que la eficiencia de uso del nutriente fuera alta.

Pese a los menores registros de EUA y EA, los rendimientos obtenidos en la segunda época de siembra, tanto en grano como en materia seca, posicionaron la tecnología de RGS como una alternativa factible para planteos intensivos, inclusive contemplando el doble cultivo, con la posibilidad de modificar el destino del recurso a producción de grano o forraje dependiendo de la situación coyuntural de los mercados.

La elevada eficiencia en el uso del agua postuló al RGS como una alternativa factible para aumentar la oportunidad de riego de los diferentes cultivos dentro de las explotaciones agropecuarias del VBRC, anticipando una mayor rentabilidad del agua derivada anualmente del río Colorado.

El presente trabajo se realizó sobre el módulo demostrativo y de experimentación establecido en la Estación Experimental Agropecuaria Hilario Ascasubi en el marco del convenio de asistencia técnica y colaboración que lleva adelante el INTA con Netafim Argentina y Agro Luro S.R.L.

Agradecimientos

Se agradece al Ing. Agr. J. Rivas por las sugerencias brindadas al momento de planificar y estructurar el trabajo. A Daniel Russo y Jorge Vera por la colaboración permanente para llevar adelante el ensayo. A J. P. D'Amico y M. A. Cantamutto y J. Rivas por la lectura crítica del informe.

Referencias

Allen R.G., L.S. Pereira, D. Raes y M. Smith. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje N° 56, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación, Roma, 298 pp.

Ayars, J. E., Phene, C. J., Hutmacher, R. B., Davis, K. R., Schoneman, R. A., Vail, S. S., & Mead, R. M. 1999. Subsurface drip irrigation of row crops: a review of 15 years of research at the Water Management Research Laboratory. *Agricultural Water Management*, 42(1), 1-27.

Bender, R R., J W Haegele, M L Ruffo, and F E Below. 2013. Modern Corn Hybrids' Nutrient Uptake Patterns. *Better Crops/Vol. 97* (2013, No. 1).

Camp, C. R. 1998. Subsurface drip irrigation: a review. *Transactions of the ASAE*, 41(5), 1353.

Cantarero, M.G., S.F. Luque, and O.J. Rubiolo. 2000. Effects of sowing date and plant density on grain number and yield of a maize hybrid in the central region of Cordoba, Argentina. *AgriScientia* 17:3-10.

Cepeda J. 2015-16. Boletines Agrometeorológicos. Disponibles web: <http://inta.gob.ar/documentos/informes-meteorologicos>

Ciampitti I.A. y F.O. García. 2007. Requerimientos nutricionales, absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. I Cereales, Oleaginosos e Industriales. *Informaciones Agronómicas* N° 33, Archivo Agronómico N° 11. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina. Disponible en <http://www.ipni.net/lasc>

Ciampitti, I. A., Boxler, M., & García, F. O. 2010. Nutrición de Maíz: requerimientos y Absorción de nutrientes. *Informaciones Agronomicas del Cono Sur. Int. Plant Nutr. Inst*, 4, 14-18.

Cirilo, A.; F. Andrade; M. Otegui; G. Maddoni; C. Vega y O. Valentinuz. 2012. Ecofisiología del cultivo de maíz. En: Eyherabide, G. (Ed.) *Bases para el manejo del cultivo de maíz*. INTA, Argentina. pp. 25-56.

CORFO, 2016. Corporación de fomento del Río Colorado. Disponible web: <http://corfo.gob.ar/corfo/sobre-corfo/>

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. *InfoStat* versión 2016. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

Análisis del impacto del riego por goteo subterráneo para maíz en el Valle Bonaerense del Río Colorado | Patricio Varela | varela.patricio@inta.gob.ar | Marzo 2017 | ISSN 0328-3399 Informe Técnico N° 53 | Cantidad de páginas: 24 |

Ferraris, G. N., Couretot, L. A., & Toribio, M. (2009). Pérdidas de nitrógeno por volatilización y su implicancia en el rendimiento del cultivo de maíz: Efectos de fuente, dosis y uso de inhibidores. *Informaciones Agronómicas*, 43, 19-22.

García, F. O. 2005. Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de maíz. Jornada "Maíz 2005". Córdoba, Julio de 2005.

IRAM, 2010. Esquema A de norma IRAM-SAGPyA 29572-1. Calidad ambiental. Calidad de suelo. Determinación de nitrógeno en el suelo por el método Kjeldahl modificado. Parte 1 – Escala semi-micro.

ISTA. 2011. International rules for seed testing. Bassersdorf, Switzerland, International Seed Testing Association.

Lamm, F. R., & Trooien, T. P. 2003. Subsurface drip irrigation for corn production: a review of 10 years of research in Kansas. *Irrigation Science*, 22(3-4), 195-200.

Lamm, F. R., Trooien, T. P., Manges, H. L., & Sunderman, H. D. 2001. Nitrogen Fertilization FOR Subsurface Drip-Irrigated Corn. *Transactions of the ASAE*, 44(3), 533.

Lucanera G.; A. Castellano y A. Barbero. 2005-15. Banco de datos socioeconómicos de la zona de CORFO - Río Colorado. Estimación del producto bruto agropecuario regional. Disponible web: <http://corfo.gob.ar/desarrollo/informes-estadisticos/>

MAIZAR. 2011. El maíz, primero en el mundo. Disponible web: <http://www.maizar.org.ar/vertex.php?id=392>

Oyarzun Arrechea, M. 2010. Respuesta productiva de un cultivo de maíz ("Zea mays" L. Var. Dracma) a distintas dosis de nitrógeno con dos tipos de riego (aspersión e inundación) y efecto sobre la lixiviación de nitratos. Disponible web: <http://academicae.unavarra.es/handle/2454/4443>

Ritchie S.W. & J.J. Hanway. 1984. How a corn plant develops: Special report No. 48, Iowa State University.

Rivas, J. 2013-15. Redes de evaluación de germoplasma inédito (INTA) y cultivares comerciales de Cereales.

SAGyP. 1994. Norma XXVI metodologías varias. Normas nacionales. Resolución SAGyP 1575/94. Disponible web: <http://www.recibidoresdegranos.org/repository/normativas/norma26-metodologias-varias.pdf>

Sánchez, R. 2013. Estimación de los requerimientos hídricos de los principales cultivos en el valle bonaerense del río Colorado. Informe Técnico 40. ISSN: 0328-

3399. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Ediciones INTA. Disponible web: <http://inta.gob.ar/documentos/estimacion-de-los-requerimientos-hidricos-de-loscultivos-en-el-valle-bonaerense-del-rio-colorado>.

Sánchez, RM; A Pezzola y J Cepeda. 1998. Caracterización Edafoclimática del Área de Influencia del INTA EEA H. Ascasubi. Partidos de Villarino y Patagones. Pcia. Bs. As. Boletín de divulgación N° 18, página 38.

Steinbach HS; Alvarez R; Roveri A; Salas J; Montané O; Grigera S. 2006. Ajuste en la estimación de los requerimientos de Nitrógeno del Cultivo de Maíz en la Pampa Ondulada. Disponible web: <http://www.maizar.org.ar/vertex.php?id=174>

Tarkalson, D. D., Van Donk, S. J., & Petersen, J. L. 2009. Effect of nitrogen application timing on corn production using subsurface drip irrigation. *Soil science*, 174(3), 174-179.

Varela, P; Bongiovanni, M; Arbizu, S; Sánchez, R. 2014. Evaluación de la eficiencia del riego gravitacional en el cultivo de cebolla. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bahía Blanca. 5 al 9 de mayo de 2014.

El maíz es el cereal que ocupa la mayor superficie regada del Valle Bonaerense del Río Colorado (VBRC). Habitualmente se utiliza riego gravitacional, con un manejo que presenta baja eficiencia de uso del agua (EUA) y baja eficiencia agronómica del nitrógeno (EA_N). En el valle el rendimiento del maíz apenas alcanza la media nacional, cercana a 8 t ha^{-1} , a pesar del elevado potencial generado por la factibilidad del riego.

La finalidad de este trabajo fue alcanzar el rendimiento potencial del híbrido ensayado con RGS en dos épocas de siembra y establecer una comparación entre los resultados obtenidos con RGS, los del mismo híbrido en los ensayos comparativos de rendimiento del INTA Hilario Ascasubi y los valores medios de la producción de maíz del VBRC.

En una unidad piloto del campo experimental del INTA H. Ascasubi se desarrolló una experiencia que combinó la tecnología de siembra directa con el riego por goteo subterráneo (RGS). Considerando los parámetros evaluados puede mencionarse que el RGS mejoró los valores de EUA, (EA_N) y produjo rendimientos superiores a la media regional, incluso con retraso de la fecha de siembra.

ISSN 0328-3399 - Informe Técnico de la E.E.A. Hilario Ascasubi N° 53



Ministerio de
Agricultura, Ganadería y Pesca
Presidencia de la Nación