

## EVALUACIÓN DEL RIEGO POR SURCOS ALTERNOS EN EL CULTIVO DE MAÍZ.

Neffen, E.<sup>1,2</sup>, R.S. Martínez<sup>1,2</sup>, L.G. Reinoso<sup>1,2</sup>

EEA INTA Valle Inferior Río Negro, (8500) Viedma, Argentina. \*Autora de contacto: [neffen.evelyn@inta.gob.ar](mailto:neffen.evelyn@inta.gob.ar), <sup>2</sup> Universidad Nacional de Río Negro. Sede Atlántica. (8500) Viedma, Argentina.

### RESUMEN

El presente estudio caracterizó diferentes manejos de riego y su relación con el cultivo de maíz (eficiencia en el uso del agua y productividad). Los 6 tratamientos se establecieron combinando 2 frecuencias de riego: alta frecuencia (AF) con un factor de agotamiento (p) de 0,6: periodo medio entre riegos de 10 días y baja frecuencia (BF) con un p de 0,4: periodo entre riegos de 16 días; y 3 técnicas de distribución del agua en los surcos: riego por surco Tradicional (RST), riego por surco Alterno reducido (RSA) y riego por surcos Alterno doble boquilla (RSAD). RST y RSAD aplicaron la misma cantidad de agua.

De las técnicas bajo estudio, el RSA con BF se destacó con una eficiencia de aplicación (EA) de 85%. Los tratamientos que presentaron un equilibrio entre el agua requerida y aplicada, se asociaron a los mayores valores de eficiencia en el uso del agua (EUA), productividad del agua (PA) y rendimiento. La técnica de RSA presentó los mayores valores de EUA, 2,3 Kg.m<sup>-3</sup>, de PA 2,9 Kg.m<sup>-3</sup> y de rendimiento de grano 18950 kg.ha<sup>-1</sup>. Los manejos RSA y RSAD expresaron un rendimiento superior, 20% más que el RST. Considerando las condiciones de uniformidad del estudio en cuanto al plan de fertilización y utilización de un único híbrido de maíz para todos los tratamientos, las diferencias de rendimiento registradas, evidencian una influencia de las técnicas de riego respecto de la dinámica de nutrientes del suelo, especialmente cuando se comparan RST y RSAD, ya que aplicaron la misma cantidad de agua por unidad de riego.

Las frecuencias de riego bajo estudio, no registraron diferencias estadísticas en el rendimiento de grano, aunque una reducción moderada del agua de riego del 15%, asociada a BF, permitió aumentar un 10% la EUA sin disminuir el rendimiento.

**PALABRAS CLAVE:** Riego por surco alternativo, eficiencia en el uso del agua, *Zea mays* L.

### INTRODUCCION

El Valle Inferior del río Negro presenta un 90% de su superficie productiva con el método de riego gravitacional, producto de una serie de obras hidráulicas de conducción y distribución del agua que permiten su desarrollo desde la década del 70'. La superficie regable del valle muestra un aumento de su superficie productiva desde 2005, con predominancia de cultivos de especies forrajeras, luego frutales, cereales y hortalizas. Actualmente existen 24.000 hectáreas bajo riego, parceladas en 500 chacras aproximadamente. En cuanto a la producción de maíz, la superficie sembrada está en aumento, debido a su alto rendimiento y uso en la producción animal.

Según trabajos realizados por el INTA Valle Inferior en condiciones hídricas y nutricionales óptimas el rendimiento potencial supera las 18 toneladas por hectárea. (Reinoso *et al.*, 2009, 2014; Neffen, 2020). Sin embargo, diversos factores, entre otros, la heterogeneidad de los suelos, el manejo del agua, la aplicación de fertilizantes y el control de malezas hacen que no se observe en grandes extensiones altos rendimientos (Martínez *et al.*, 2012).

Diversos autores estiman bajas eficiencias de riego gravitacional en promedio para el país (35-40%), encontrándose en el Valle Inferior de Río Negro valores similares (Lui *et al.*, 2012). Una de las prácticas que aumentan la eficiencia de riego es el riego por surco alternativo (RSA),



consiste en regar un surco dejando el surco adyacente sin regar, ya que permite la distribución del agua con una menor lámina (Arbat *et al.*, 2009).

En el presente estudio se destaca la importancia del manejo del agua y su vinculación con la posibilidad de lograr rendimientos potenciales en el cultivo de maíz. Por lo cual estudiar la dinámica del agua y su relación con el cultivo de maíz (crecimiento, desarrollo, eficiencia en el uso del agua y productividad), bajo diferentes técnicas de manejo y frecuencia de riego por surco es fundamental para optimizar el uso del agua de riego.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Estación Experimental Agropecuaria Valle Inferior de Rio Negro (EEAVI), sobre la serie Chacra (Guerra *et al.*, 1966): 40° 47' Sur y 63° 03' Oeste, descripta por FAO como suelos moderadamente profundos, se han desarrollado como sobre material franco, arcillo limoso, moderadamente drenados.

El criterio para planificar la distribución de los riegos se fundamentó en un balance de agua simplificado (Allen *et al.*, 1998), en donde la evapotranspiración de referencia (Eto) se estimó con el software CROPWAT 8.0 con datos agroclimáticos históricos (1965-2017) y los siguientes valores de coeficiente de cultivo (kc) (inicial 0,6, medio 1,2 y final 0,4). Para establecer las frecuencias de riego se utilizó el factor de agotamiento (p) según la tolerancia del maíz al déficit hídrico, 0,4 para alta frecuencia (AF) y 0,6 baja frecuencia (BF), recomendada tanto en bibliografía internacional como estudios locales.

Todos los tratamientos se regaron con mangas de polietileno flexible con compuertas de plástico regulables de 50 mm de diámetro (erogan entre 1-3 L.s<sup>-1</sup>) y se establecieron 3 técnicas/manejo:

RST (riego por surco tradicional o convencional): todos los surcos regados, una boquilla por surco.

RSAD (riego por surco alterno doble): mitad de los surcos regados, dos boquillas por surco que equiparan la misma cantidad de agua aplicada en RST.

RSA (riego por surco alterno reducido): mitad de los surcos regados, una boquilla por surco.

*Tabla 1: Tratamientos evaluados en el ensayo de riego en maíz.*

| Factor 1:<br>Frecuencia | Factor 2: Técnica |               |                      |
|-------------------------|-------------------|---------------|----------------------|
|                         | Tradicional (RST) | Alterno (RSA) | Alterno doble (RSAD) |
| Alta (AF)               | RST_AF            | RSA_AF        | RSAD_AF              |
| Baja (BF)               | RST_BF            | RSA_BF        | RSAD_BF              |

El ensayo tuvo una superficie aproximada de 10.000 m<sup>2</sup> nivelada a láser, dividido en 16 parcelas iguales (6 tratamientos de riego con tres repeticiones cada uno). Las unidades experimentales estuvieron estratificadas en parcelas divididas, organizadas en bloques con aleatorización restringida. El tiempo de riego se estableció cuando en la mitad de los surcos evaluados el agua llegó al final del mismo. Los surcos presentaron 100 metros de largo y 0,7 metros de ancho y se bloquearon al final para evitar pérdidas por escorrentía.

Se utilizó un híbrido de maíz de ciclo intermedio, se aplicaron valores óptimos de fósforo y nitrógeno según el criterio de extracción de nutrientes del Instituto Internacional de Nutrición de Plantas (IPNI) (Ciampitti & Garcia, 2007), específicamente 75 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato monoamónico (11-52-0) en la línea de siembra y 350 kg ha<sup>-1</sup> de Urea (46-0-0) en dos dosis. La siembra se realizó mecánicamente noviembre.

La determinación de la lámina de reposición u objetivo para el cultivo se calculó por la suma de evapotranspiración para la temporada en estudio y se contrastó con el método directo gravimétrico en 3 lugares por réplica. En el último método se afectó por la profundidad de enraizamiento y densidad aparente del suelo.

El desempeño de riego se caracterizó según: Eficiencia de aplicación (EA), cociente entre el volumen de agua almacenado en el perfil de suelo y el volumen de agua aplicado en la

parcela; Eficiencia de almacenaje (EAL), relación entre la lámina almacenada en el perfil después del riego, respecto de la lámina necesaria que se esperaba almacenar y Uniformidad de Distribución (UD) definida como la relación entre la menor lámina media infiltrada en la unidad de riego respecto del valor de lámina media infiltrada en todo el perfil.

Los componentes del rendimiento de cultivo se determinaron cuando la humedad de grano promedio fue del 30 %, se cosecharon en R6 todas las espigas en forma manual sobre los dos surcos centrales de cada unidad experimental, en 3 lugares por réplica.

La productividad de agua (PA), y la eficiencia de uso del agua (EUA), se calcularon a través de los cocientes (Van Halsema & Vincent, 2012; Caviglia *et al.*, 2004):

$PA = \text{rendimiento} / (\text{agua consumida} = \text{evapotranspirada}) \text{ (kg.m}^{-3}\text{)}$

$EUA = \text{rendimiento} / \text{agua aplicada (kg.m}^{-3}\text{)}$

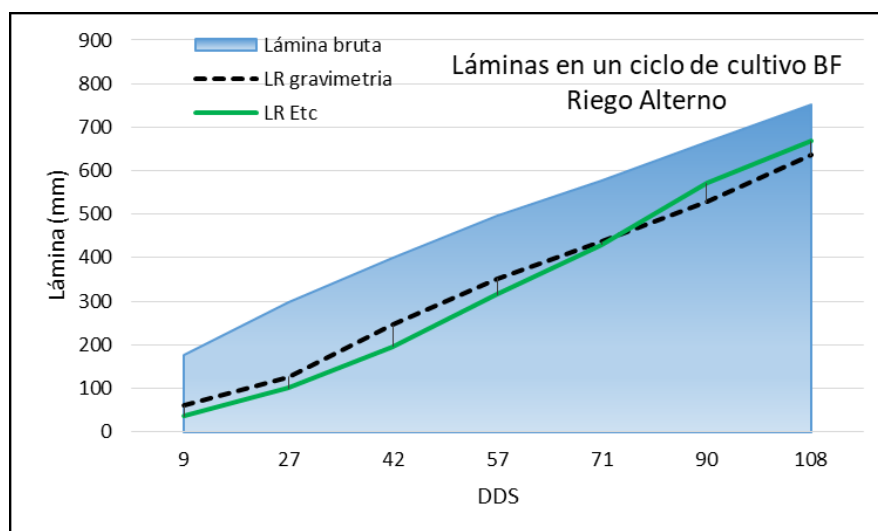
Los resultados de rendimiento en grano, lámina objetivo, EUA y PA sometidos a análisis de la varianza (ANOVA), DGC con nivel de riesgo  $\alpha$  del 5 %. Se aplicaron técnicas de estadística descriptiva y de modelación para responder a las preguntas de investigación: Efecto de la Frecuencia de Riego, del Manejo y la interacción de ambos factores sobre las variables respuesta mediante la aplicación de modelos generales y mixtos (MGM) en R, se evaluó el efecto de los factores fijos: “Bloque”, “Frecuencia”, “Manejo” y sus interacciones, y se estableció como factor aleatorio la Unidad Experimental. Se evaluaron los modelos con la secuencia de riegos como ordenamiento temporal.

## RESULTADOS Y DISCUSION

La lámina requerida (LR) para un cultivo de maíz de 125 días en el valle Inferior de Rio Negro fue de 648 mm, no registró diferencias significativas entre métodos de estimación ( $p=0,1314$ ), suma de evapotranspiración diaria ( $652 \pm 26$  mm) y diferencias gravimétricas en el suelo entre eventos de riego ( $619 \pm 80$  mm). Otros estudios mencionan que el maíz evapotranspira entre 400 y 700 mm en su ciclo, según condiciones ambientales y genéticas.

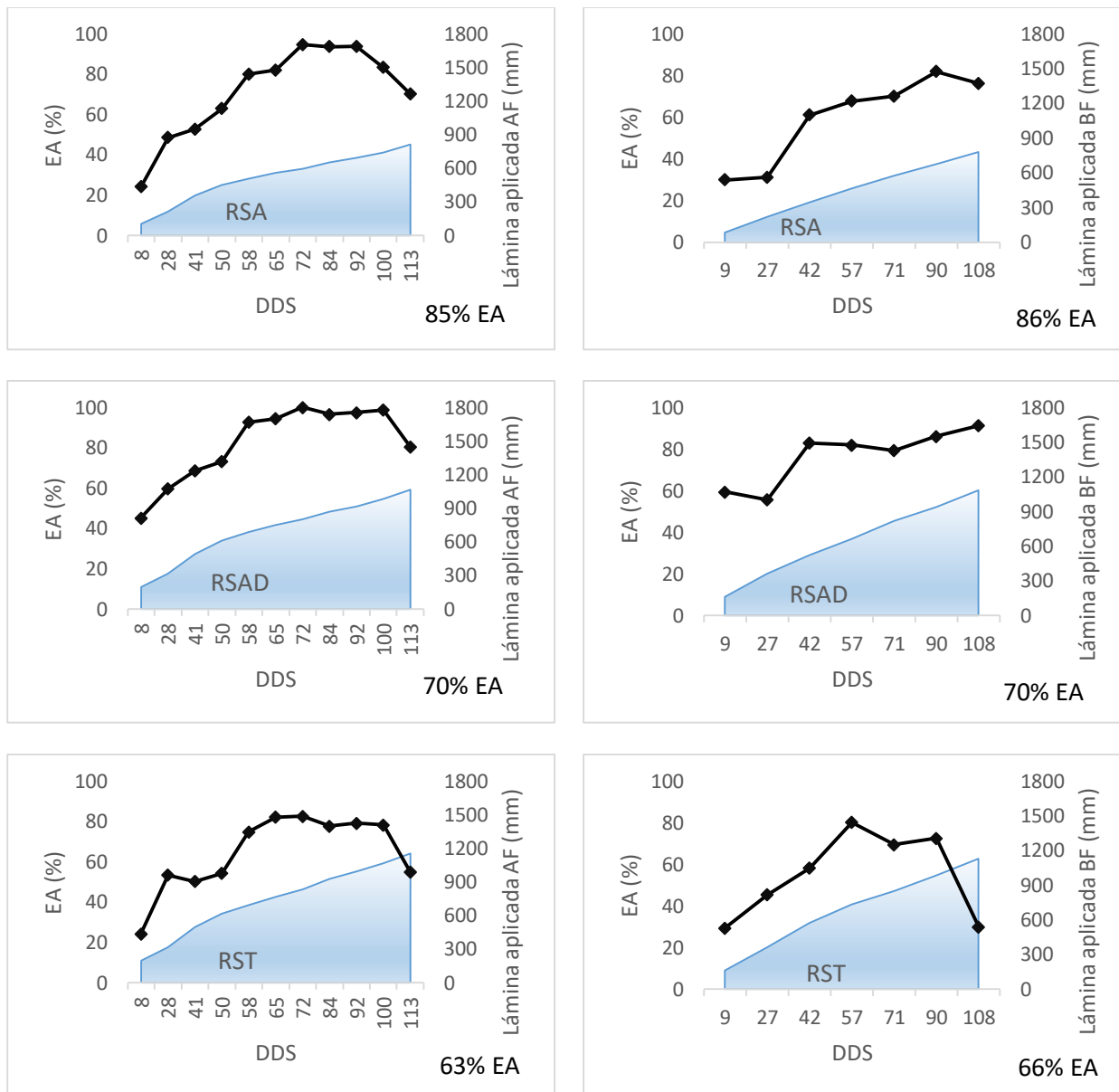
La lámina bruta (LB) promedio aplicada para el RSA fue de 820 mm, 880 mm en AF y 760 mm en BF (Figura 1), mientras que el RSAD y RST presentaron valores promedio iguales de 1050 mm, 1100 mm en AF y 970 mm en BF.

*Figura 1: Estimación de lámina aplicada acumulada (Área) en BF y RSA, lámina requerida acumulada según suma de evapotranspiración (línea continua) y gravimetría (línea punteada), para una progresiva de días después de la siembra (DDS).*



El análisis estadístico determinó existen diferencias entre medias de EA en función del factor manejo ( $p < 0,0001$ ) y no se hallaron diferencias entre frecuencias ( $p = 0,0928$ ) (Figura 2).

*Figura 2: Comparación entre las variables Eficiencia de aplicación y lámina bruta, para las diferentes técnicas de riego y frecuencias.*



\*Variables analizadas: Eficiencia de aplicación (EA%) por riego en el eje Y, lámina aplicada (mm) en eje X, en el margen izquierdo inferior para cada caso se presenta la EA% global por manejo y frecuencia. DDS: Días después de la siembra.

\*Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

El porcentaje de uniformidad de distribución (UD) promedio para el total de los riegos fue de  $89 \pm 6\%$ , sin hallarse diferencias entre tratamientos. En cuanto a EAL el RSA se diferenció del resto de los manejos, presentó un almacenamiento promedio de 90%, sin encontrarse diferencias entre frecuencias ( $p = 0,2514$ ).

La EA global promedio fue de  $61 \pm 16\%$ , se obtuvo a través de la lámina requerida durante el ciclo de cultivo (LR) y la lámina promedio total aplicada (LB); presentó menores valores que la EA (media de todos los eventos de riego), específicamente la diferencia fue de 6% en RSA,

7% en RSAD y 11% en RST. En la siguiente tabla se presenta un resumen de las variables que caracterizaron los manejos propuestos (Tabla 2).

*Tabla 2: Variables en estudio según manejos de riego propuestos en un cultivo de maíz en el Valle Inferior de Río Negro.*

| Manejos | n   | EA     | LB   | LR  | EA global | n  | Rto kg.ha <sup>-1</sup> | EUA kg.m <sup>-3</sup> | PA kg.m <sup>-3</sup> |
|---------|-----|--------|------|-----|-----------|----|-------------------------|------------------------|-----------------------|
| RSA     | 162 | 85 % a | 820  | 648 | 79 %      | 54 | 18950 a                 | 2,3 a                  | 2,9 a                 |
| RSAD    | 162 | 70 % b | 1017 | 648 | 63 %      | 54 | 17840 a                 | 1,8 b                  | 2,7 a                 |
| RST     | 162 | 64 % b | 1070 | 648 | 53 %      | 54 | 15800 b                 | 1,5 b                  | 2,4 b                 |

\*DE: Desvío estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas (DGC p≤0,05)

A continuación, se presentan las principales variables que caracterizaron a los tratamientos (EA, EAL, UD): las mismas fueron la variable respuesta en la estructura del modelo estadístico. Se modeló la estructura de la varianza usando los modelos de simetría compuesta y autoregresivos realizados en el marco de los modelos generales y mixtos, presentándose el modelo Auto regresivo de orden 1 como el mejor.

*Tabla 3: Modelos de estructura de varianza analizados.*

|     | Autoregresivo<br>de orden 1 | Autoregresivo<br>continuo | Simetría<br>compuesta |
|-----|-----------------------------|---------------------------|-----------------------|
|     | AIC                         | AIC                       | AIC                   |
| EA  | 1803,7                      | 1803,72                   | 1867,5                |
| EAL | 1502,0                      | 1502,8                    | 1511,6                |
| UD  | 1323,7                      | 1323,9                    | 1363,6                |

Para la EUA existen diferencias estadísticamente significativas en función del factor manejo ( $p<0,0001$ ) y con un valor p menor en función de la frecuencia de riego ( $p=0,0235$ ), 1,57 kg.m<sup>-3</sup> en AF y 1,7 kg.m<sup>-3</sup> en BF. Mientras que para PA solo existen diferencias en función del factor manejo  $p<0,0026$ . Otros autores han encontrado para técnicas de riego por surco en maíz valores de EUA del orden de 1,15-3,04 kg.m<sup>-3</sup> (Reinoso, 2014), 1,5-2 kg.m<sup>-3</sup> (Montemayor Trejo *et al.*, 2012) y valores similares en condiciones de secano 0,8-1,6 kg.m<sup>-3</sup>.

El rendimiento de grano promedio fue de 16660 kg.ha<sup>-1</sup>, estadísticamente separó los manejos por surco alterno (RSA, RSAD) asociados a los mayores valores de rendimiento y PA, del manejo RST. El RSA presentó el rendimiento máximo fue de 18950 kg.ha<sup>-1</sup> con una de PA de 2,9 kg.m<sup>-3</sup>. La variable rendimiento no registró disminuciones cuando se redujo un 15 % el volumen de agua asignado, asociado a BF ( $p=0,1853$ ). En otros sistemas de producción de maíz bajo riego gravitacional redujeron hasta un 32% el volumen asignado sin afectar el rendimiento. (Grassini, 2014)

## CONCLUSIONES

A partir del conjunto de evaluaciones durante el ciclo de cultivo, la EA promedio fue de 63%, si se compara con la EA global, es decir sin realizar un promedio de las evaluaciones individuales de los riegos, el desempeño fue menor y por lo tanto se subestima; debería considerarse como una desventaja de la metodología, ya que en algunos casos la diferencia superó el 10%.

En cuanto a las variables, PA y rendimiento del cultivo de maíz, diferenciaron estadísticamente a los manejos de riego Alterno (RSA, RSAD) del riego por surco tradicional, incluso cuando

se aplica la misma cantidad de agua. Los manejos RSA y RSAD expresaron un rendimiento superior, 20% más que el RST. Considerando las condiciones de uniformidad del estudio en cuanto al plan de fertilización y utilización de un único híbrido de maíz para todos los tratamientos, las diferencias de rendimiento registradas, evidencian una influencia de las técnicas de riego respecto de la dinámica de nutrientes del suelo, especialmente cuando se comparan RST y RSAD, ya que aplicaron la misma cantidad de agua por unidad de riego. Las frecuencias de riego bajo estudio, no registraron diferencias estadísticas en el rendimiento de grano, aunque una reducción moderada del agua de riego del 15%, asociada a BF, permitió aumentar un 10% la EUA sin disminuir el rendimiento.

## BIBLIOGRAFIA

- Allen, RG, Pereira, LS, Raes, D., Smith, M. 1998. Evapotranspiración de cultivos: directrices para calcular las necesidades de agua de los cultivos. Papel de riego y drenaje de la FAO 56. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.
- Arbat, G.; Olivé, F.D.; Roselló, A.; Puig-Bargués, J. y Ramírez de Cartagena, F. 2009. Distribución del agua en el suelo en riego por surcos alternos y no alternos en el cultivo de maíz. Estudios en la Zona no Saturada del Suelo. Vol IX. Barcelona.
- Caviglia, O.P., V.O. Sadras, y F.H. Andrade. 2004. Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas. I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double-cropped wheat-soybean. *Field Crops Res.* 87:117-129.
- Ciampitti, I. & F. Garcia. 2007. Requerimientos nutricionales, absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. *Informaciones Agronómicas* N° 33, Archivo Agronómico N° 11. IPNI Cono Sur. Acassuso, Bs. As., Argentina.
- Grassini, P.; Haishun, Y.; Suat, I.; John, T.; Charles, B.; Kenneth, G. C. 2014. High-yield irrigated maize in the Western U.S. Corn Belt: II Irrigation management and crop water productivity. *Field Crops Res.* 120 (133-141). Available in: Science Direct, Ipswich, MA
- Guerra, P; Masota, H.T; Olivieri, J.J. 1966. Estudios de suelos con fines de riego. Proyecto FAO/ Viedma.
- Lui, E.; Roa, R.; Martínez, R.S.; Zelmer, H.; Reinoso, L.; D'Onofrio, M. 2012. Evaluaciones de riego parcelarias en el valle inferior del Río Negro, estrategias para la mejora de indicadores. VI Jornadas de Actualización en Riego y Fertirriego. Mendoza. Argentina.
- Montemayor Trejo, A; Lara Míreles, J. ; Woo-Reza, L.; Munguía López, J.; Rivera González, M.; Trucíos Cacicano, M. 2012. Producción de maíz forrajero (*Zea mays* L.) en tres sistemas de irrigación en la comarca Lagunera de Coahuila y Durango, México. *Agrociencia* 46: 267-278.
- Neffen, E. 2020. Alternativas de manejo en riego por surco para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el valle inferior del río Negro. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad.
- Reinoso, L.; R.S. Martínez; F. Margiotta; R.M. Martínez y P. Zalba. 2009. Estudios de frecuencias de riego sobre el rendimiento de maíz en el Valle Inferior del Río Negro. En *Congreso Nacional del Agua* Ed: Dirección Oficial de Impresiones, Rawson. 318 pp. ISBN: 978-987-25369-0-9.
- Reinoso L. 2014. Rendimiento de maíz en el Valle Inferior del Río Negro: Evaluación de la frecuencia de riego y la fertilización nitrogenada. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Sur. Buenos Aires.
- Van Halsema, G.E. & L., Vincent. 2012. Efficiency and productivity terms for water management: a matter of contextual relativism versus general absolutism. *Agricultural Water Management*. Volumen 108: 9-15. ELSEVIER.