



Trabajo Final Integrador
Área de Consolidación
Sistemas Agrícolas de Producción Extensiva

DISTANCIAMIENTO ENTRE LÍNEAS DE RIEGO POR GOTEO SUBTERRÁNEO: EFECTOS SOBRE EL CRECIMIENTO DEL CULTIVO DE TRIGO EN LA REGIÓN CENTRO DE CÓRDOBA

Alumno: Mozzicafreddo Mariano
Tutor: Ing. Agr. Severina Ignacio

Año 2015

RESUMEN

El riego por goteo subterráneo (RGS) es una tecnología que está asociada principalmente a cultivos intensivos e industriales de alto valor comercial, debido a los costos de inversión que éste implica. Sin embargo, desde hace algunos años se están realizando experiencias para evaluar su adaptabilidad y su funcionalidad en cultivos extensivos (trigo, soja y maíz), generalmente bajo siembra directa. Un aspecto importante cuando se instala el RGS consiste en definir el óptimo distanciamiento entre líneas de riego (D_{LR}) para cada sistema productivo, debido a que esto representa aproximadamente el 70% de la inversión total. En este sentido, algunos de los factores fundamentales que deben ser considerados son el tipo de suelo (textura), cultivo (patrones de enraizamiento) y régimen hídrico definido para la obtención de un rendimiento objetivo. Por otra parte, debe considerarse que las líneas de riego bajo este sistema se ubican con variada proximidad respecto de las hileras de plantas, lo que implica optimizar la estrategia de riego para conseguir un crecimiento sin limitaciones hídricas. El objetivo de este trabajo fue determinar los efectos del D_{LR} (agua aplicada) sobre el crecimiento del cultivo de trigo. El genotipo BioINTA 1005 fue sembrado a 17 cm entre hileras de plantas y en las parcelas se establecieron D_{LR} que constituyeron los tratamientos. Estos últimos fueron distanciamientos a 0,8 m, 1,05 m y 1,6 m. El número de riegos fue el mismo para todos los tratamientos a lo largo del ciclo del cultivo, diferenciándose la lámina aplicada en cada distanciamiento (a 0,8 m: 25 mm, a 1,05 m: 30 mm y a 1,6 m: 50 mm). El diseño experimental fue de bloques completos al azar con tres repeticiones por tratamiento. Las variables respuestas cuantificadas fueron rendimiento y sus componentes numéricos (número de granos y peso unitario del grano). Además, se calcularon las tasas de crecimiento del cultivo (TCC) y de la espiga (TCE) en el período crítico, mediante interpolación lineal para dicho período. Las láminas totales aplicadas fueron 325 mm, 268 mm, y 221 mm para los distanciamientos de mangueras 1,6 m, 1,05 m y 0,8 m, respectivamente. Los distanciamientos 0,8 m y 1,05 m superaron significativamente al distanciamiento 1,6 m en rendimiento. Las variaciones del rendimiento fueron explicadas principalmente por el número de granos ($r^2=0,93$; $P<0,0001$) y en menor medida por el peso del grano ($r^2=0,40$; $P<0,001$). Aquella reducción del rendimiento bajo el distanciamiento 1,6 m se debió a una marcada caída de la producción en el tercio más distante de la línea de riego, comportamiento que contrastó con iguales tercios de los restantes tratamientos. Dicha reducción se asoció a significativas caídas de la TCC ($P<0,004$) y TCE ($P<0,003$) en el período crítico. Estos resultados sugieren que el distanciamiento a 1,6 m estaría asociado a mermas en el rendimiento; no obstante, es necesario continuar explorando combinaciones entre D_{LR} , caudales de emisores y láminas de riego, y sus consecuencias sobre el rendimiento del cultivo.

INTRODUCCION

El agua dulce es un recurso escaso en el mundo y por ende, es imprescindible hacer un uso eficiente del mismo. La mayor parte del uso de este recurso es para riego (Shiklomanov , 1998), por lo que esta tecnología está expuesta a una constante presión de la sociedad que demanda producir más pero con menos agua. Bajo este contexto, la agricultura es uno de los actores más relevantes y con mayor potencial para resolver este problema mundial (Longo y Spears, 2003).

Desde la agricultura, el riego por goteo subterráneo (RGS) es una de las tecnologías con mayor proyección hacia el futuro ya que es promisoría en el uso del agua dulce. Las primeras evidencias sobre esta tecnología comenzaron a partir de la década del 70, en USA (Davis, 1967) e Israel (Blass, 1964), los estudios estuvieron centrados principalmente en cultivos hortícolas de alto valor económico, frutales, olivares, viñedos y caña de azúcar. Aquellos sistemas de riego presentaban serias limitaciones en cuanto a taponamiento de emisores, lo que provocaba desuniformidad de la lámina de riego aplicada y por ende, variabilidad de los rendimientos (Camp 1998). A partir de los años 80, los avances tecnológicos mundiales provocaron mejoras en la calidad de los materiales plásticos empleados en esta tecnología (polietileno (PE) y policloruro de vinilo (PVC)). Esto junto con las mejoras en el diseño y fabricación de tuberías, emisores y cintas, provocaron un fuerte impulso sobre esta tecnología y por ende el resurgimiento de los sistemas de RGS, tanto en actividades de investigación como a nivel comercial en campos de productores. Uno de los trabajos más relevantes sobre esta temática fue aquel de Lamm et al. (1995) que determinó mayor eficiencia en el uso del agua en RGS respecto a otros sistemas (aspersión y gravedad), pues bajo esa tecnología se reduce a la mínima expresión las pérdidas por evaporación, escurrimiento superficial y percolación profunda. Otra ventaja del RGS es la aplicación de los nutrientes en la zona radicular, lo que aumenta la eficiencia de su disponibilidad y reduce, en nitrógeno, pérdidas por lixiviación, volatilización y, en algunos casos se requieren menores cantidades aplicables de fertilizantes (Lamm et al., 2002). En cuanto a las desventajas de esta tecnología, el alto costo de instalación fue uno de los responsables de la baja adopción a nivel mundial, pues se convirtió en una alternativa económicamente inviable para cultivos como el maíz soja, trigo, etc. Sin embargo, el aumento del distanciamiento entre líneas de riego (DLR) fue una práctica que implicó importante reducción de los costos de inversión (Lamm et al., 2002) y por ende, exhibió al RGS como una tecnología oportuna para hacer un uso más eficiente del agua.

A partir de los años 90 surgen importantes estudios en esta materia entre los que se destaca aquel de Lamm et al. (2002) realizado en Kansas (USA), bajo un suelo franco limoso (similar al de la región centro de la provincia de Córdoba), con D_{LR} óptimos de 1.5 m y bajo el cultivo de maíz. Uno de los aspectos más sobresalientes fue la interacción, disponibilidad hídrica y D_{LR} . Cuando el cultivo creció sin restricciones hídricas, los rendimientos fueron similares entre los D_{LR} evaluados (1,5 m, 2,3 m y 3 m). Una respuesta diferencial se evidenció ante déficit hídrico, donde la productividad del cultivo disminuyó a medida que incrementó el D_{LR} . Similares resultados al de este estudio fueron hallados por Spurgeon and Manges (1990) ante un rango de distanciamiento de 0,75 m - 3 m. Camp (1998) evaluó, además, un rango de D_{LR} mayor al de los anteriores estudios (0,25 m - 5 m) interactuando con profundidades de enterrado de las manguera, estrategias de riego, ambientes y cultivos. En términos generales, la conclusión a la que se arribó es que los menores D_{LR} fueron más apropiados para climas áridos, suelos de textura más gruesas y en cultivos de alta rentabilidad.

En general, las evidencias de la literatura se generaron en base a experimentos realizados en latitudes contrastantes a la de la región agrícola de la provincia de Córdoba, como así también en sistemas laboreados que se diferencian de estos de siembra directa que predominan en la pampa semiárida de Argentina. Una de las más importantes diferencias es que la roturación del suelo previo a la siembra en campos del hemisferio norte permite que, todos los años, la dirección de la siembra sea paralela a las líneas de mangueras enterradas. Contrariamente, los sistemas de siembra

directa predominante en Córdoba provocan gran acumulación de los rastrojos en superficie que obliga a variar la dirección de siembra, año tras año, para propiciar una emergencia uniforme. Por lo tanto, la dirección de las LR generalmente no coincide con las hileras de plantas. Este escenario es aún más crítico en cultivos invernales donde las precipitaciones son escasas y el riego representa más que del 50% de la demanda del cultivo. En los cultivos estivales donde los requerimientos hídricos son cubiertos principalmente por las precipitaciones, el paralelismo o perpendicularidad entre hileras de plantas y LR no se convierte en un aspecto tan crítico sobre el crecimiento del cultivo (Severina et al., 2014).

Las características edafoclimáticas de la provincia de Córdoba ubican a la misma dentro de una zona marginal para la producción de trigo. La inestabilidad hídrica y térmica son las principales causas de las variaciones del rendimiento. Luego de 18 años de experimentación en la EEA Manfredi-INTA se determinó que el rendimiento promedio incrementó 114% bajo riego respecto de secano (Severina et al., 2014). El contrastante rango de láminas de riego aplicadas (56 m - 340 mm) en tales estudios, fueron consecuencia de la gran variabilidad interanual de las precipitaciones, lo que se tradujo en mayores contrastes cuando se analizaron las producciones bajo secano.

Ante la falta de información local sobre el RGS y la creciente demanda de conocimientos sobre esta tecnología se han establecidos módulos experimentales de RGS en la EEA Manfredi-INTA con el objetivo de determinar los efectos del distanciamiento entre laterales de riego subterráneos sobre el rendimiento del cultivo de trigo.

MATERIALES Y METODOS

El experimento se realizó durante la campaña agrícola 2014 en la EEA Manfredi-INTA (31°51'S, 63°44'O), ubicada en la provincia de Córdoba (Argentina). El clima es semiárido con promedio de precipitaciones anuales (serie 1931-2013) de 760 mm, distribuidos en un 80% durante la primavera y verano, y el 20% durante el otoño e invierno. El valor total de evapotranspiración potencial (ETo) calculado por el método Penman-Monteith es de 1320 mm, promediando un déficit hídrico anual de 560 mm (Figura 1).

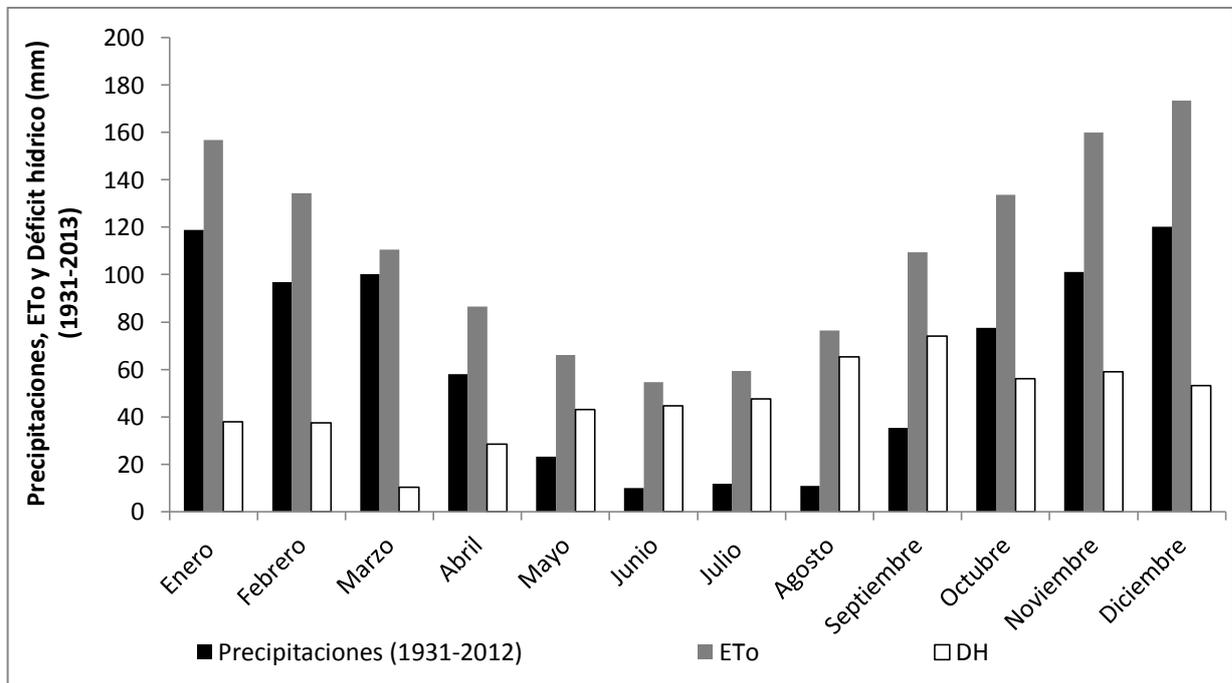


Figura 1: Valores mensuales de precipitación, ETo y déficit hídrico para la localidad de Manfredi, Córdoba.

El suelo pertenece a un Haplustol éntico franco-limoso y no presenta limitaciones para el crecimiento y proliferación de las raíces hasta la profundidad explorada por la mayoría de los cultivos de la región. Las características se detallan en las tablas 1 y 2 (USDA Soil Taxonomy, 1999).

Tabla 1. Datos analíticos del perfil modal de un suelo Haplustol éntico de la serie Oncativo.

Horizontes	A	AC	C
Profundidad (cm)	0-23	23-53	+53
Arcilla (g Kg ⁻¹)	167	122	102
Limo (g Kg ⁻¹)	687	711	719
Arena (g Kg ⁻¹)	165	170	158
Materia Orgánica	2.0	1.0	0.4
pH (1:1)	6.2	7.0	8.2
Densidad Aparente (g cm ⁻³)	1.23	1.22	1.20



Tabla 2. Valores de las constantes hídricas de capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y agua útil hasta los 200 cm de profundidad, para un suelo Haplustol éntico de la serie Oncativo.

Profundidad (cm)	PMP (mm)	CC(mm)	Agua Útil (mm)
0-20	28.6	68.2	39.6
20-40	27.8	61.4	33.6
40-60	26.4	56.0	29.6
60-80	25.8	55.6	29.8
80-100	24.0	53.0	29.0
100-120	24.0	53.0	29.0
120-140	24.0	53.0	29.0
140-160	24.0	53.0	29.0
160-180	24.0	53.0	29.0
180-200	24.0	53.0	29.0
Total	252.6	559.2	306.6

El cultivar BioInta 1005 fue implantado bajo siembra directa el día 16/06/2014 con una densidad de 160 kg ha^{-1} y una distancia entre surcos de 17 cm. Los tratamientos aplicados sobre el cultivo fueron diferentes distanciamientos entre los laterales de riego (0,8 m, 1,05 y 1,6 m) (tabla 3) y el diseño experimental fue en bloques completos al azar con tres repeticiones por tratamiento.

Tabla 3. Características de los módulos de riego por goteo subterráneo.

Tratamientos	Separación entre laterales (m)	Profundidad de laterales (m)	Separación entre emisores (m)	Pluviometría (mm/hs)
1	0,80	0,25 -0,30	0,50	1,5
2	1,05			1,9
3	1,60			1,3

La dirección de siembra del trigo fue paralela a los LR, de tal manera que uno de las hileras de plantas coincidió con el LR denominado surco n° 1. Los surcos n° 2, 3, 4, 5 y 6 estuvieron distanciados 17 cm, 34 cm, 51 cm, 68 cm y 85 cm de distancia respecto al LR. Cada tratamiento fue dividido en tres tercios de hileras de plantas que estuvieron comprendidas entre dos LR. En la tabla 4 se muestra la cantidad de surcos evaluados por tratamiento y el número de surco correspondiente a cada tercio.

Tabla 4: Cantidad de surcos evaluados para cada tratamiento y número del surco perteneciente a cada tercio para los tres tratamientos evaluados.

Tratamientos	Cantidad de surcos entre LR	N° de surco 1/3	N° de surco 2/3	N° de surco 3/3
1	3	1	2	3
2	4	1	2	3 y 4
3	6	1 y 2	3 y 4	5 y 6

El trigo fue fertilizado con nitrato de amonio (UAN) líquido y la aplicación se realizó en tres momentos: 12/08/2014 cuando el cultivo presentaba dos macollos con 120 l/ha, 01/09/2014 y 15/09/2014 con 200 l/ha cada una. El crecimiento de BioINTA 1005 se produjo en el marco de una rotación de tres cultivos en dos años (Trigo/Soja 2^a – Maíz 1^a).

Variables medidas y estimadas

- Agua en el suelo.

El contenido del agua en el suelo se determinó mediante el método gravimétrico. Los muestreos se realizaron en dos sitios: junto al LR y a la mitad de la distancia existente entre dos LR. Los momentos de muestreo fueron a la siembra, inicio de macollaje, inicio y fin de periodo crítico y a madurez fisiológica del cultivo, y se realizaron hasta los 200 cm de profundidad a intervalos de 20 cm. A partir de la determinación del contenido de agua a la siembra se iniciaron balances hídricos independientes, según Andriani (2012), en la línea y en la entrelinea. El software BAHICU versión 1.01 fue empleado para el seguimiento diario del contenido de agua en el suelo y la determinación de los momentos de aplicación de riegos. El umbral para la aplicación de riego correspondió al 50% del agua útil del perfil de suelo explorado por las raíces. Determinado el momento del riego, el número de riego total fue el mismo en todos los tratamientos (8 riegos durante el ciclo del cultivo), sólo diferenciándose las láminas aplicadas para cada D_{LR} . Se establecieron láminas de riego de 25 mm, 30 mm y 50 mm para D_{LR} de 0,8 m, 1,05 m y 1,6 m, respectivamente.

- Radiación fotosintéticamente activa interceptada.

La radiación incidente fue obtenida de una estación meteorológica automática Metos Compac (Pessl Instruments, Austria), ubicada a 500 m del área experimental. La radiación fotosintéticamente activa incidente (PAR_{inc} , MJ m⁻² d⁻¹) fue estimada diariamente multiplicando la radiación incidente por 0,5 (Monteith, 1972).

Se realizaron mediciones de interceptación de PAR_{inc} en cada tercio de los tratamientos a inicio y fin del período crítico del cultivo. Las mediciones fueron realizadas alrededor del mediodía con una barra interceptora AccuPAR PAR-80 (Decagon Devices Inc, USA), la cual se colocó perpendicular a las líneas de siembra. La fracción de PAR interceptada por el cultivo (f) se calculó de acuerdo a la siguiente ecuación 1:

$$f = 1 - \frac{I}{I_0} \quad (1)$$

donde I es el PAR ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), medido a nivel del suelo e I_0 es el PAR ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), sobre la canopia. Para el período determinado, el PAR interceptado (PAR_i , MJ m⁻²) fue calculado de acuerdo a la siguiente ecuación 1:

$$PAR_i = \sum_{N=1}^N f * PAR_{inc} \quad (2)$$

donde N es el número de días del período considerado. El valor f entre mediciones fue estimado diariamente por interpolación lineal.



- Producción de biomasa, tasa de crecimiento del cultivo y de la espiga.

Bajo cada tratamiento se determinó la producción de biomasa de cada uno de los tercios. La superficie muestreada fue 1 m^2 y la biomasa fue secada en estufa con aire forzado a $70 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta peso constante. Durante las etapas reproductivas se separó la espiga del resto de la planta conformado por hojas + macollos. Las raíces no fueron consideradas para el muestreo de biomasa.

La tasa de crecimiento de cultivo (TCC) y de la espiga (TCE) se obtuvieron como la diferencia entre la producción de materia seca total y de espiga entre dos muestreos sucesivos, dividido el número de días comprendido en dicho período. A madurez fisiológica, sobre un muestreo de 1 m^2 se estimó el rendimiento en granos (g m^{-2}) y se contó el número de granos (NG m^{-2}). El peso medio del grano (PG) se obtuvo del cociente entre el rendimiento y el número de granos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El comportamiento de las variables climáticas durante la campaña 2014 fueron similares a los valores promedios de una serie de 84 años de dicha región (tabla 5). No obstante, se manifestó una diferencia entre temperatura media de la campaña 2014 respecto de la serie histórica. Estas diferencias en los registros térmicos se establecieron principalmente durante los meses de agosto, septiembre y octubre, coincidentes con el período crítico (período de definición del número de granos), y sus causas fueron las mayores temperaturas medias mínimas respecto de las históricas para la región. Por consecuencia, el coeficiente fototermal (radiación incidente/temperatura media) del cultivo en este período fue levemente inferior a los históricos. Las precipitaciones durante la campaña 2014 fueron mayores respecto de los registros históricos (tabla 5). Las diferencias sucedieron en parte durante el período crítico del cultivo (octubre) y próximo a madurez fisiológica del cultivo (noviembre). Los valores de Evapotranspiración potencial acumulados obtenidos para el ciclo del cultivo durante la campaña fueron de 530 mm, muy similares a los históricos (534 mm).

Tabla 5. Valores promedios mensuales de temperatura media, ($^\circ\text{C}$), radiación solar (Mj m^{-2}), coeficiente fototermal (Q), precipitaciones (mm) y evapotranspiración potencial mensual para una serie climática 1930-2014 y de la campaña 2014.

Años	Parámetros climáticos	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov	Promedios
(1930-2014)	Temperatura media ($^\circ\text{C}$)	10,2	9,4	11,2	13,9	17,5	20,3	13,7
	Radiación (mj m^{-2})	8,3	9,3	12,2	15,3	18,1	21,3	14,1
	coeficiente fototermal (Q)	0,82	0,99	1,09	1,11	1,04	1,04	1,01
	Precipitaciones (mm)	9,0	11,1	9,0	29,1	56,4	24,3	139
	Evapotranspiración potencial (mm)	1,4	1,6	2,2	2,8	3,8	4,6	534
Campaña 2014	Temperatura media ($^\circ\text{C}$)	10,6	10,6	13,3	16,0	20,7	20,9	15,3
	Radiación (mj m^{-2})	9,1	9,3	13,8	15,3	18,6	21,7	14,6
	coeficiente fototermal (Q)	0,86	0,89	1,04	0,96	0,90	1,04	0,95
	Precipitaciones (mm)	2,0	3,0	0,0	26,5	88,3	60,5	180
	Evapotranspiración potencial (mm)	1,6	2,0	3,5	3,1	4,2	4,9	530

Las principales diferencias cuantificadas entre los valores de agua útil medidos al lado del L_R (Línea) y a la mitad entre L_R (entrelínea) para cada tratamiento, sucedieron desde la emergencia hasta el inicio del período crítico del cultivo (día 90) durante la cual se registraron escasas precipitaciones. Entre el día 60 y el día 90 del ciclo se cuantificaron diferencias en el contenido de agua útil de la línea respecto al de la entrelínea, en todos los tratamientos.

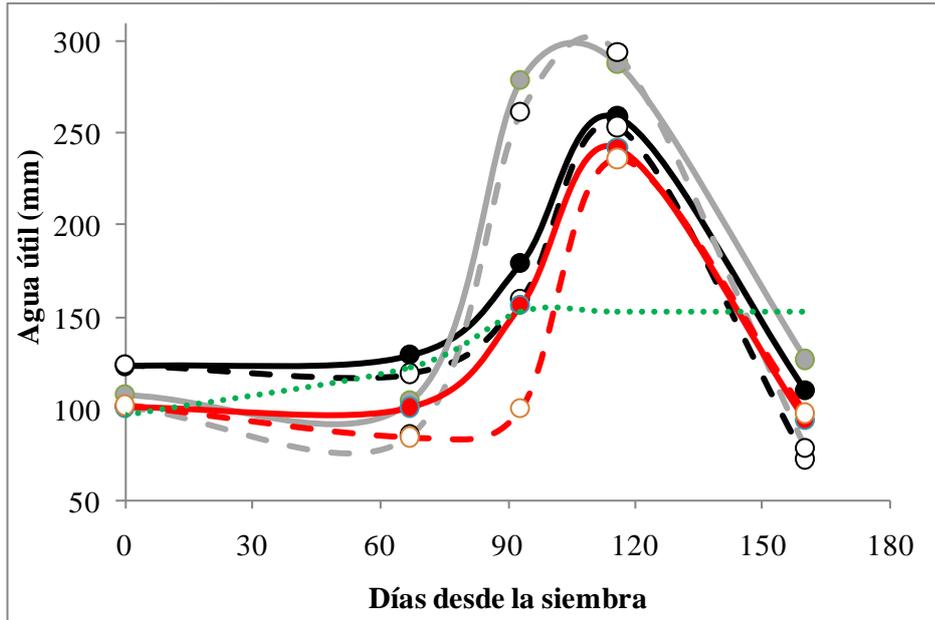


Figura 2. Agua útil obtenida en el perfil de suelo explorado por las raíces del cultivo durante el ciclo. Las líneas negras representan al tratamiento de D_{LR} 0.8, las grises a D_{LR} 1.05 y las rojas a D_{LR} 1.6. Las líneas llenas indican el contenido de agua al lado del lateral de riego, y las entrecortadas en la entrelínea. La línea verde punteada indica el umbral de riego que representa el 50% del agua útil.

El tratamiento de mayor D_{LR} manifestó mayor variación entre los valores de agua útil en los dos puntos de análisis (línea roja llena y línea roja entrecortada). Los resultados mostrados en el actual estudio evidencian menor disponibilidad de agua al sitio más distante del LR. Se observa además, que el contenido de agua en suelo durante el período crítico estuvo bastante por encima del umbral de riego (50% del agua útil) para todos los tratamientos, lo que estaría evidenciando un buen estado hídrico del cultivo durante dicho período.

La biomasa total fue similar entre tratamientos desde siembra y hasta el inicio del período crítico (Figura 3). A partir de allí comenzaron a evidenciarse diferencias que se mantuvieron hasta la cosecha.

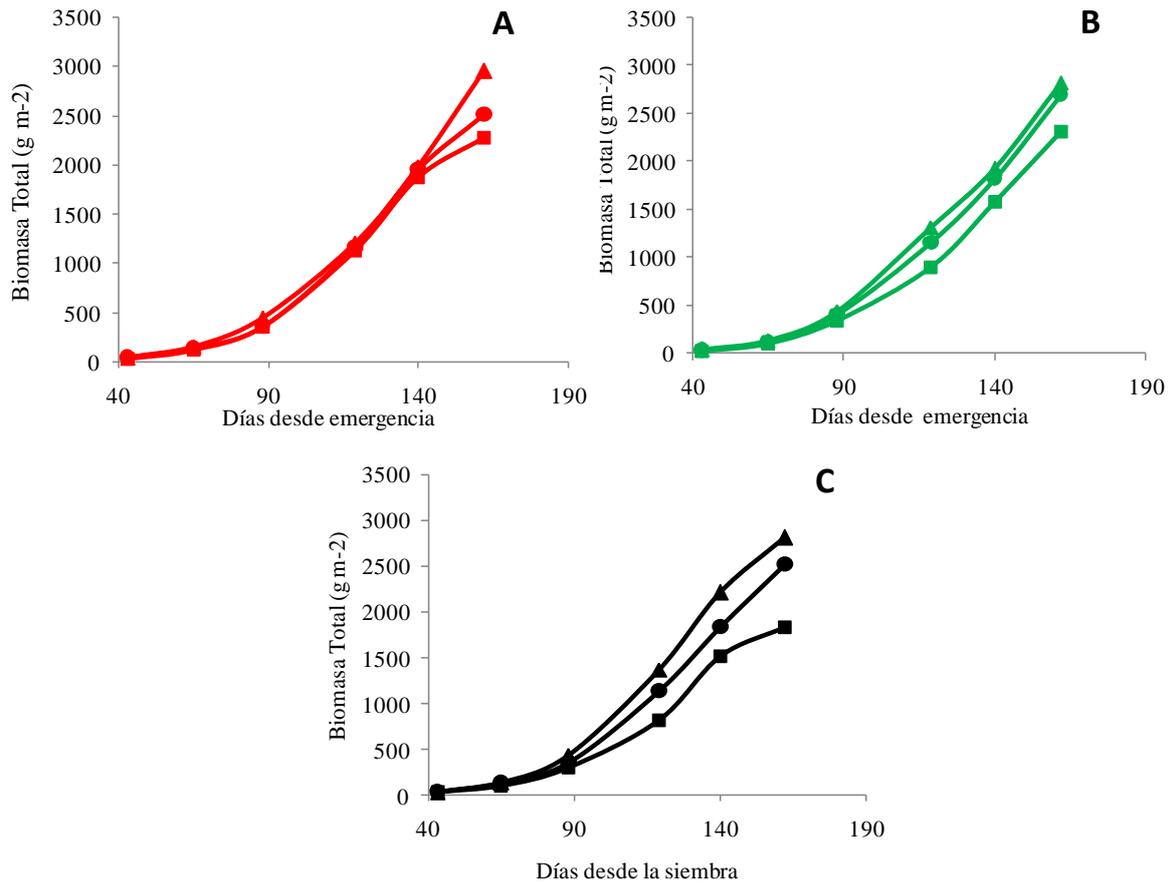


Figura 3: Producción de biomasa durante el ciclo del cultivo para el tratamiento con D_{LR} 0.8 (A), D_{LR} 1.05 (B) y D_{LR} 1.6 m (C). Los triángulos, círculos y cuadrados indican la producción de biomasa total para el primer, segundo y tercer tercio.

Los tratamientos con D_{LR} 0,8 y 1.05 no presentaron diferencias estadísticas en los tercios evaluados (Figura 3 A y B). El tratamientos con D_{LR} 1.6 m, presentó un comportamiento diferencial reduciendo estadísticamente la producción de biomasa solamente en el último tercio (Figura 3C). Las tendencias en las reducciones cuantificadas en la biomasa total, TCC y TCE para el tratamiento de mayor distanciamiento fueron consecuencia de la menor disponibilidad de agua en el suelo reflejada en una menor captura de radiación interceptada (Tabla 6).



Tabla 6. radiación interceptada (%RI), radiación fotosintéticamente activa acumulada (RFAint), biomasa total (BMT), tasa de crecimiento del cultivo (TCC) y de la espiga (TCE) y el peso seco de las espigas (PSE fpc) durante el período crítico del cultivo.

Estratos	DLR	%RI	RFAint (Mj m ⁻²)	BMT (g m ⁻²)	TCC (g m ⁻² d ⁻¹)	PSE fpc (g m ⁻²)	TCE (g m ⁻² d ⁻¹)
S-1/3	0.80	90.33 A	397.27 A	756.37 A	38.96 A	303 A	11.65 A
S-2/3	0.80	91 A	399 A	804.3 A	37.3 A	265.2 A	10.2 A
S-3/3	0.80	87.6 A	382.9 A	718.6 A	36.6 A	269.5 A	10.3 A
S-1/3	1.05	92 A	396.3 A	826.3 A	42.4 A	309 A	11.89 A
S-2/3	1.05	88 A	395 A	755.1 A	37.4 A	298.3 A	11.4 A
S-3/3	1.05	86.3 A	394.6 A	645.7 A	35.81 A	260.5 A	10.0 A
S-1/3	1.60	89.67 A	395.17 A	799.6 A	44.1 A	351.7 A	13.5 A
S-2/3	1.60	87 A	383 A	784.3 A	36.4 A	285.3 A	10.9 A
S-3/3	1.60	67.0 B	346.5 B	498.3 B	26.0 B	212.3 B	8,14 B

Las variables ecofisiológicas cuantificadas en este estudio (%Ri, RFA int, BMT, TCC, TCE y PSE fpc) durante el período crítico, reflejan claramente una reducción significativa de las hileras de cultivo más alejadas de la fuente de agua para el tratamiento de mayor separación, a pesar de la ocurrencia de dos eventos de precipitaciones (31 y 53 mm) y dos riegos de 50 mm cada uno. Las mayores variaciones registradas en el contenido de agua en el suelo en las dos zonas de estudio, demuestran claramente que D_{LR} de 1.60 m presenta dificultades para humedecer las zonas más alejadas a la fuente de agua reduciendo significativamente la productividad del cultivo. Estos resultados reflejan que a pesar de la abundante cantidad de agua disponible para el cultivo, los surcos más alejados ven afectada su productividad pudiendo ser más significativa en un año seco.

La relación entre el número de granos (NG) y el peso seco de la espiga (PSE fpc) ajustó a un modelo de tipo lineal ($Y = 1828,1 + 71,6 X$; $r^2 = 0,83$; $P < 0,001$) (Figura 4). Esta respuesta del NG a cambios en el crecimiento de la espiga durante dicho período, guardan una relación con el número de flores fértiles y/o con en NG. Estas relaciones fueron ampliamente demostradas en la bibliografía (Stockman et al., 1983; Miralles et al., 1998; Miralles et al., 2000; Slafer y Andrade, 1993; Abbate et al., 1997; Figura 4).

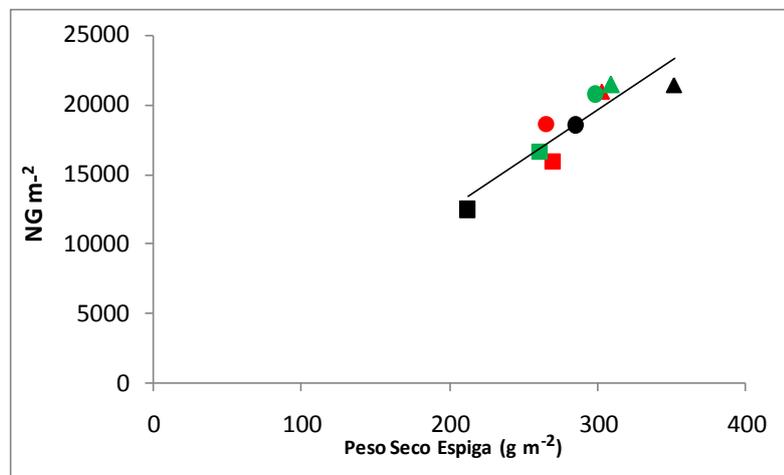


Figura 4. Relación entre el peso seco de la espiga al final del período crítico y el número de granos por metro cuadrado. Los símbolos rojos representan al tratamiento de D_{LR} 0,8 m, los verdes a D_{LR} 1,05 y los negros a D_{LR} de 1.6m. Los triángulos representan el primer tercio, los círculos al segundo tercio y los cuadrados al tercer tercio.



En general, los surcos ubicados por encima del LR (triángulos) presentaron en los tres tratamientos similares valores de PSE, lo que se diferenció de los surcos más alejados al LR (cuadrados) que en todos los casos presentaron menores valores. Este comportamiento estaría demostrando que a medida que aumenta la distancia de la hilera del surco del cultivo con respecto al LR, se produce una reducción en el peso de la espiga. Cabe destacar que la única que presentó diferencias estadísticamente fue el último tercio de los tratamientos de D_{LR} 1,6 m (cuadrado negro).

Numerosos trabajos han demostrado que de los dos componentes numéricos del rendimiento, el NG/m^2 es el que mejor explica las variaciones en el rendimiento, más que cualquier cambio ocurrido en el peso del grano (PMG) (Abbate et al., 1997). La relación entre el rendimiento y el número de granos en este trabajo, ajustó a un modelo de tipo lineal ($Y = 126,4 + 0,034 X$; $r^2 = 0,94$; $P < 0,001$) (Figura 5) explicando el NG/m^2 los mayores cambios ocurridos en el rendimiento ($r^2 = 0,94$; Figura 5, Tabla 7).

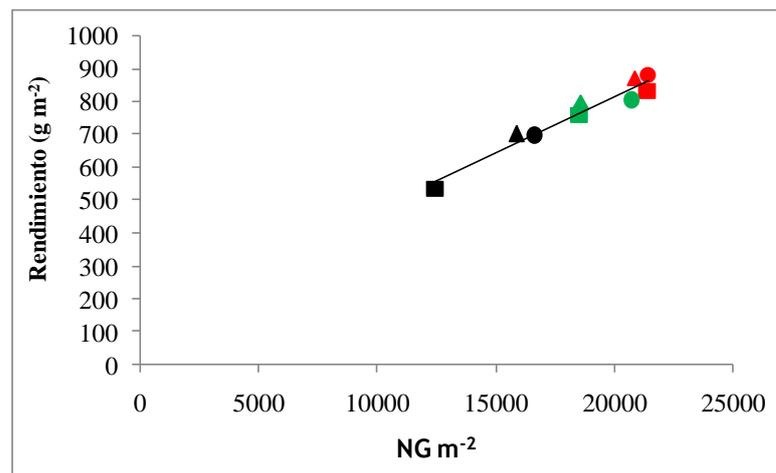


Figura 5. Relación entre el número de granos por metro cuadrado y el rendimiento del cultivo. Los símbolos rojos representan al tratamiento de D_{LR} 0,8 m, los verdes a D_{LR} 1,05 y los negros a D_{LR} de 1,6m. Los círculos representan el primer tercio, los triángulos al segundo tercio y los cuadrados al tercer tercio.

Al igual que lo ocurrido anteriormente, los surcos más cercanos al lateral de riego produjeron los mayores rendimientos ($862 g/m^2$) con respecto a los más alejados ($644 g/m^2$).

Tabla 7. Rendimiento, número de granos y peso medio del grano del cultivo de trigo de tres tercios creciendo bajo D_{LR} contrastantes. Distintas letras indican significancia a $\alpha: 0,05$.

Estratos	DLR	R (g/m2)	NG/m2	PMG (mg)
S-1/3	0.80	872.1 A	20902 A	41.9 A
S-2/3	0.80	797.1 A	18611 A	43.13 A
S-3/3	0.80	702.0 A	15883 A	44.2 B
S-1/3	1.05	883.2 A	21457 A	41.1 A
S-2/3	1.05	805.1 A	20747 A	41.6 A
S-3/3	1.05	697.2 A	16636 A	41.9 A
S-1/3	1.60	832.6 A	21418 A	38.87 A
S-2/3	1.60	760.4 A	18546 A	42.6 A
S-3/3	1.60	533.6 B	12448 B	42.7 A

Los rendimientos promedio obtenidos para los tres tratamientos evaluados fueron de 790, 759 y 709 g/m^2 para los D_{LR} de 0.8, 1.05 y 1.6 m respectivamente. La figura 6 muestra los rendimientos obtenidos para cada tratamiento particionado por los tres tercios analizados.

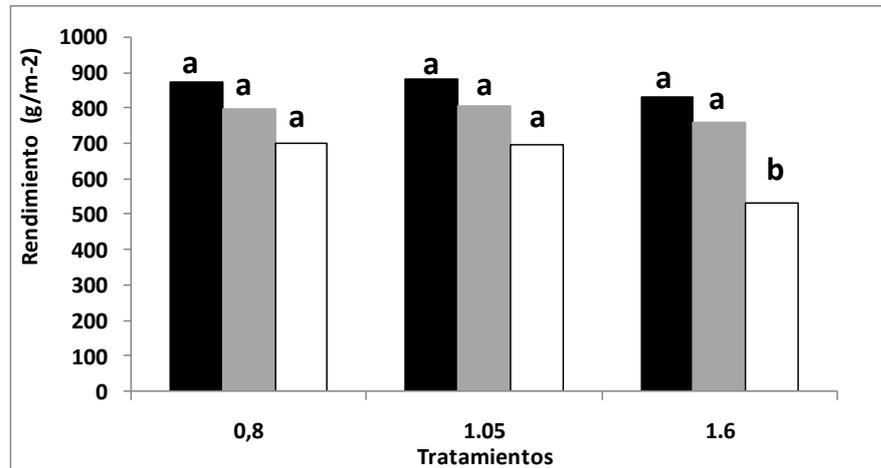


Figura 6: Las barras negras representan el rendimiento obtenido en los distintos tratamientos del primer tercio evaluado, las grises al segundo tercio y las blancas al tercer tercio.

Los rendimientos obtenidos en este trabajo son mayores a los alcanzados en el mismo cultivo como promedio de 18 años de ensayos bajo un sistema de riego por pivote (5144 kg/m^2 ; Salinas et al., 2014). Cabe destacar que los menores rendimientos de las 18 campañas son productos de datos provenientes de cosecha realizado con una maquinaria, a diferencia de los obtenidos en este trabajo (manual). Además de esto, los rendimientos surgen del promedio de muchos ensayos realizados dentro del módulo. Sin embargo durante la campaña 2010 y 2011 se obtuvieron valores promedio mayores a los 7000 kg/ha (Salinas et al., 2014). Los rendimientos promedio en trigo bajo pivote central fueron obtenidos con 107 mm de precipitaciones, 210 mm de lámina de riego total.

Los rendimientos alcanzados en los tres tratamientos fueron obtenidos con distintas cantidades de agua de riego aplicadas. Se aplicaron 221 , 268 y 325 mm para los tratamientos de D_{LR} 0.8 , 1.05 y 1.6 m respectivamente. En las mismas condiciones de suelo y D_{LR} , Severina et al., 2014 determinaron para distintas láminas de riego (20 , 40 y 60 mm) las dimensiones de los bulbos generados determinándose el punto de solapamiento entre los mismos. En cuanto a los resultados generados, se puede concluir que el tratamiento correspondiente a D_{LR} 0.8 m , obtuvo uno de los mayores rendimientos, con un 32% y 18% menos de agua comparado con el tratamiento de D_{LR} 1.6 y 1.05 m respectivamente.

Si bien los rendimientos obtenidos durante la campaña 2014 fueron altos en todos los distanciamientos, es importante seguir evaluando el comportamiento de distintas estrategias de riego sobre la productividad del cultivo de trigo para cada distanciamiento, a fin de optimizar el uso del recurso hídrico, ya que las láminas de riegos aplicadas en el tratamiento con mayor separación fueron mayores que las aplicadas durante las 18 campañas de trigo bajo pivote central.

CONCLUSIONES

Los resultados mostrados en este trabajo demuestran que entre los distanciamientos de 0.8 y 1.05 m no se observaron grandes diferencias en las variables descritas, por lo que deja en evidencia que ambos distanciamientos pueden ser apropiados para la producción de trigo bajo las condiciones edafoclimáticas de la región central de la provincia de Córdoba. Si bien los rendimientos obtenidos en el tratamiento con mayor separación fueron altos, se abren algunos interrogantes sobre la distribución del agua de riego y sus interacciones con las distintas condiciones de humedad del suelo con las que se van desarrollando los cultivos. Es importante remarcar que la campaña analizada en este trabajo, presentó la particularidad de las ocurrencias de precipitaciones en etapas claves de la definición del rendimiento. Se requieren de más años de evaluación, ya que las ocurrencias de años secos son muy frecuentes en esta región, por lo que seguramente el comportamiento de los cultivos será diferente.

BIBLIOGRAFIA

- Abbate, P.E., Andrade, F.H., Culot, J.P., Bindraban, P.S., 1997.** Grain yield in wheat: effects of radiation during spike growth period *Field Crops Res.* 54, 245-257. 3.
- Andriani, J., (2012).** Desarrollo y validación del software de balance hídrico de cultivos extensivos “Bahicu” . XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Actas del Congreso, Mar del Plata.
- Camp, C. R. (1998).** Subsurface drip irrigation: A review. *Trans. ASAE* 41(5):1353-1367.
- Dauids, S, (1967).** Subsurface irrigation. How soon a reality?. *Agricultural, Engineering* 48(11): 564-655.
- Lamm FR, HL Manges, LR Stone, AH Khan, DH Rogers (1995)** Water requirement of subsurface drip-irrigated corn in northwest Kansas. *Trans ASAE* 38(2):441-448.
- Lamm, F., and Trooien, T., (2002).** Subsurface drip irrigation for corn production: a review of 10 years of research in Kansas. *Irrig Sci* (2003) 22: 195–200.
- Longo, F.D., Spears, T.D., 2003.** Water scarcity and modern irrigation. Valmont Water Management Group. Valmont Industires, Inc., Valley, Nebraska, USA.
- Miralles, D.J., Katz, S.D., Colloca, A., Slafer, G.A., 1998.** Floret development in near isogenic wheat lines
- Miralles, D.J., Richards, R.A., Slafer, G.A., 2000.** Duration of the stem elongation period influences the number of fertile florets in wheat and barley. *Aust. J. Plant Physiol.* 27, 931- 940.
- differing in plant height. *Field Crops Res.* 59, 21-30.
- Monteith, J.L, 1972.** Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *J. Appl. Ecol.*, 9, 747-766.
- Salinas Aquiles, Severina Ignacio, Boccardo Matías, Aimar Federico, Giubergia Juan y (2014).** Resultados de 19 años de experiencia en el modulo demostrativo de riego de INTA Manfredi-Córdoba. En 4º Reunión internacional de riego.
- Severina Ignacio, Boccardo Matías, Aimar Federico, Giubergia Juan y Salinas Aquiles (2014).** El riego por goteo subterráneo y su adaptación a sistemas de siembra directa de la región central de la provincia de Córdoba. Dinámica del agua en el suelo y productividad de los cultivos. En 4º Reunión Internacional de riego.
- Shiklomanov, I., 1998.** Pictures of the future: a review of global water resources projections. In: Gleick, P.H. (Ed.). *The World’s Water 2002–2001*. Island Press, Washington, DC, p. 53.
- Slafer, G.A., Andrade, F.H., 1993.** Physiological attributes related to the generation of grain yield in bread wheat cultivars released at different eras. *Field Crops Res.* 31, 351-367.
- Stockman, Y.M., Fischer, R.A., Brittain, E.G., 1983.** Assimilate supply and floret development within the spike of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Aust. J. Plant Physiol.* 10, 585-594.
- Spurgeon, W.E., Manges, H.L., 1990.** Drip line spacing and plant population for corn. In: *Proceeding of the Third National Irrigation Symposium*, Phoenix, Arizona, October 28–November 1, 1990, pp. 217–222.
- USDA Soil Taxonomy. 1999.** Second Edition. A Basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. USDA - Soil Conservation Service *Agricultural Handbook* N° 436. U.S. Gov. Print. Office, Washington.