

TESIS PARA ALCANZAR EL GRADO DE INGENIERO AGRÓNOMO

TITULO: “Evaluación de abundancia de raíces y rendimiento en cultivares de maíz con diferente ciclo de crecimiento.”

Integrantes: Carolina Gaggioli y Mariana Juan

Director: Elke Noellemeyer

Co-Director: Daniel Funaro

Introducción:

El desarrollo de nuevos híbridos de maíz ha tenido una evolución creciente en los últimos años. Esto obedece a la tendencia de intensificar los sistemas de producción agrícolas con el propósito de obtener mayores rendimientos y lograr un menor período de ocupación espacial de la tierra, facilitando así secuencias de cultivos que aumenten la productividad de la tierra en el tiempo. Para este fin, los híbridos de ciclos cortos son especialmente interesantes y consecuentemente han sido difundidos en todas las regiones agrícolas. Generalmente se considera que los genotipos de ciclo corto requieren óptimas condiciones ambientales, especialmente disponibilidad de humedad y nutrientes, por lo cual se podría considerar que no se adaptan a zonas con limitaciones climáticas, como la región semiárida pampeana. Cárcova et al. (2000) mencionan que las comparaciones de rendimiento de grano de híbridos de maíz realizadas en las últimas cuatro décadas en Argentina, revelaron que los híbridos modernos tienen una gran respuesta a condiciones ambientales favorables y tienen alto rendimiento medio. Estos mismos autores encontraron también que híbridos más antiguos parecen ser más tolerantes a la sequía que los modernos (Cárcova et al., 1998). El mayor potencial de rendimiento se obtiene con poblaciones de plantas que destinan una mayor proporción de fotosintatos hacia la parte aérea en detrimento del sistema radicular. Este fenómeno estaría más pronunciado en los híbridos modernos de ciclo corto. Angadi y Entz (2002) mencionan que en girasol los cultivares de ciclos más largos y mayor altura desarrollan un sistema radicular más amplio que los nuevos cultivares enanos, por lo que éstos últimos son menos tolerantes al estrés hídrico. Esto fue demostrado por Dardanelli et al. (1997) quienes encontraron una correlación entre el largo de raíces y la tasa de extracción de agua. Esta relación era estadísticamente significativa hasta una profundidad de suelo de 40 cm, en cambio no se cumplía a mayores profundidades (40 y 120 cm). Las diferencias morfológicas de las raíces y sobre todo la profundidad de exploración podrían ser utilizadas como un criterio de

selección para resistencia al estrés hídrico y absorción de nitratos (Oikeh et al., 1998). Estos resultados indicarían que las hipótesis que se pueden manejar en cuanto a la adaptación de híbridos de maíz de ciclo corto a las condiciones ambientales de la zona semiárida pampeana son las siguientes:

1. Los híbridos con menor desarrollo radicular son menos eficientes en la captación de recursos del suelo en condiciones limitadas de éstos, lo cual se reflejaría en menor producción de biomasa y menores rendimientos.
2. El contenido de nitratos en el suelo en el tratamiento con riego es menor que en el de secano debido a mayor absorción por parte del cultivo y mayor lixiviación.
3. Los híbridos de ciclo corto por su menor desarrollo radicular absorban menor cantidad de este nutriente.

Los objetivos del presente trabajo consisten en:

- a) evaluar la abundancia del sistema radicular en híbridos de diferente ciclo de crecimiento y cuantificar los parámetros productivos de ellos.
- b) Evaluar la influencia del riego y del ciclo del cultivo en el consumo de nitratos del suelo.

Materiales y Métodos:

Este ensayo fue llevado a cabo en la campaña agrícola 2007/08, en la Estación Experimental "Ing. Agr. Guillermo Covas" del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, de la localidad de Anguil, Provincia de La Pampa, Argentina. En el mismo se evaluaron cuatro híbridos de maíz; dos de ciclo largo (DK747 y AW 190 Monsanto) y dos de ciclo corto (39H84 Pioneer y DKC44-92 Monsanto). Todos los híbridos fueron cultivados bajo condiciones de secano y riego. Se realizó un Diseño Completamente Aleatorizados, de modo que tanto en secano como en riego se evaluaron tres repeticiones de cada tratamiento. Las medidas de las parcelas fueron de 2,8m de ancho por 8m de largo. La densidad utilizada fue de 75000 pl ha⁻¹.

Las variables que se analizaron en cada parcela fueron:

Respecto al cultivo:

- abundancia de raíces,
- producción de materia seca,

Respecto a propiedades del suelo:

- humedad,
- NO₃,
- %MO
- P,
- textura,
- densidad aparente.

Caracterización Agro edáfica

El suelo en el cual se realizó el ensayo es un Haplustol éntico, la secuencia de horizontes es A, AC, C1 y C2 cálcico. La textura es Franco-Arenosa a Franca. Los valores de MO están entre 1-2%.

Caracterización Climática

Esta región se clasifica como subhúmeda seca. La precipitación media anual es de 750 mm para el período de 1961-1997. La distribución estacional es: 36,5 % verano, 26% otoño, 9% invierno y 28,5% primavera. Mediante el balance hídrico mensual climático, se detecta que no existe ningún mes con exceso de agua, incrementándose el déficit hídrico medio anual, que abarca desde noviembre a febrero, siendo los meses más críticos los de pleno verano. Los vientos predominantes corresponden a los cuadrantes N-NE y S-SW.

Características de la siembra

El cultivo se realizó en siembra directa, para lo cual se llevó a cabo un barbecho químico con Glifosato (3 l ha⁻¹ al 48% de i.a.), un mes antes de la siembra. La siembra se realizó manualmente a golpe, colocando 2 semillas por golpe cada 25 cm, la distancia entre surcos fue de 52 cm, se realizó el raleo a 2 hojas para lograr la densidad de 75000 pl ha⁻¹. Todas las parcelas fueron sembradas el día 31/10/07, y la emergencia de las plántulas ocurrió el día 07/11/07. El control de malezas se realizó en preemergencia con Glifosato (2,5 l ha⁻¹ al 48% de i.a.), Atrazina sólida al 90% (1,5 kg ha⁻¹ de i.a.) y Metaloclor (800g ha⁻¹ de i.a.). Se fertilizó con 100 Kg ha⁻¹ de Fosfato de Amonio grado técnico 0-46-0, a la siembra y 200 Kg ha⁻¹ de N (en forma de UAN) fraccionados en tres aplicaciones: 1/3 a la siembra, 1/3 en V5 y 1/3 entre V8 y V10

(escala de Ritchie y Hanway, 1982). En las parcelas bajo riego se utilizó un sistema de riego por goteo que suministró 500mm de agua distribuidos semanalmente. Luego de las lluvias ocurridas en los meses de enero y febrero se realizaron sólo dos riegos (30mm aprox.) La distribución de los riegos se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1: Distribución semanal de los riegos en todo el ciclo del cultivo.

Mes	Semana	Riegos (mm)
Noviembre	2	30
	3	40
	4	40
Diciembre	5	50
	6	60
	7	70
	8	70
Enero	9	80
	10	0
	11	30
	12	0
Febrero	13	30
	14	0
Total		500

Mediciones en el cultivo

Las evaluaciones de los diferentes híbridos se realizaron en los estados fenológicos de: V5, R1 y R5 de la escala de Ritchie y Hanway, (1982). La evaluación de raíces se realizó por observación de la abundancia en el perfil mediante la técnica descrita por Cárcova et al. (2000).

Se realizó una calicata perpendicular a una hilera, cercana a la primera planta de la fila. En cada observación se procedió a emparejar la pared en contra de la planta para visualizar el perfil de las raíces. Las raíces se descubrieron removiendo el suelo con un cuchillo y agua a presión que se arrojaba desde una mochila de pulverización. Luego se colocaba una reja en contra de esta pared y centrada en la planta. La reja se dividía en cuadros de 5 x 5 cm y tenía en total 0,7 m de largo por 0,45 m de ancho. Para cada cuadrado se observó y se estimó la abundancia de raíces mediante una escala de 0 a 4:

0: sin raíces

1: pocas raíces

2: algunas raíces

3: raíces abundantes

4: raíces muy abundantes (el máximo que podía tener)

En uno o dos días seguidos se realizaba la evaluación de todos los híbridos que llegaban al mismo estado fenológico. La observación de raíces se hizo hasta 1,1 m de profundidad.

Para los mismos estados fenológicos se midió la producción de biomasa aérea (MS) de cada parcela. Se cortaron 5 plantas por parcela en estado V5 y 3 plantas por parcela en floración y madurez fisiológica, que eran pesadas inmediatamente para obtener el peso verde. Luego se colocaban en una estufa a 70°C hasta peso constante. A las plantas en floración y madurez fisiológica se las separó en hojas, tallos y mazorcas y se pesaron por separado.

Medición de propiedades del suelo

A la siembra se determinó contenido de NO_3 y humedad. Se hicieron tres muestreos en secano y tres en riego.

Cuando las plantas se encontraban en estado V5 se tomaron dos muestras de suelo de 0 a 0.2m de profundidad compuestas por tres sitios diferentes, una dentro de secano y la otra en riego. Con ambas muestras se realizaron determinaciones de:

- Textura por el método higrométrico de Bouyoucus (en intervalos de 0,2 m hasta la profundidad de 1,00 m)
- P disponible por el método de Bray-Kurtz 1.
- M.O. por el método de Walkley & Black.
- Humedad hasta los dos metros de profundidad, a intervalos de 0,2m.
- NO_3 a intervalos de: 0-0,20m, 0,2-0,6m y 0,6-1m.

En floración y madurez fisiológica, se determinaron humedad y NO_3 dentro de cada parcela, hasta igual profundidad que en V5. La humedad fue obtenida por el método gravimétrico y los NO_3 por determinación colorimétrica.

Densidad aparente por el método de los cilindros fue determinado en madurez fisiológica en las calicatas dónde se midió la abundancia de raíces, con seis cilindros por calicata.

Análisis estadísticos

Los datos fueron analizados mediante ANOVA simple y comparación de medias por el test de Tukey ($p < 0.05$) utilizando el software InfoStat.

Resultados

Los diferentes híbridos llegaron a la misma fecha al estado V5, mientras que a partir de R1 se diferenciaron las fechas entre los híbridos de ciclo corto y los de ciclo largo (Tabla 2).

Tabla 2: Fechas de los distintos estados fenológicos en los diferentes híbridos (escala de Ritchie y Hanway, 1982)

Híbrido	V5	R1	R6
39H84	12 Dic	9 En	26 Feb
DKC44-92	12 Dic	9 En	10 Mar
DK 747	12 Dic	24 En	27 Mar
AW 190	12 Dic	24 En	27 Mar

Las sumatorias térmicas para los diferentes híbridos se presentan en Figura 1, dónde se observa que los dos híbridos de ciclo largo tiene sumas mayores, sobre todo debido a valores más altos entre V5 y R1.

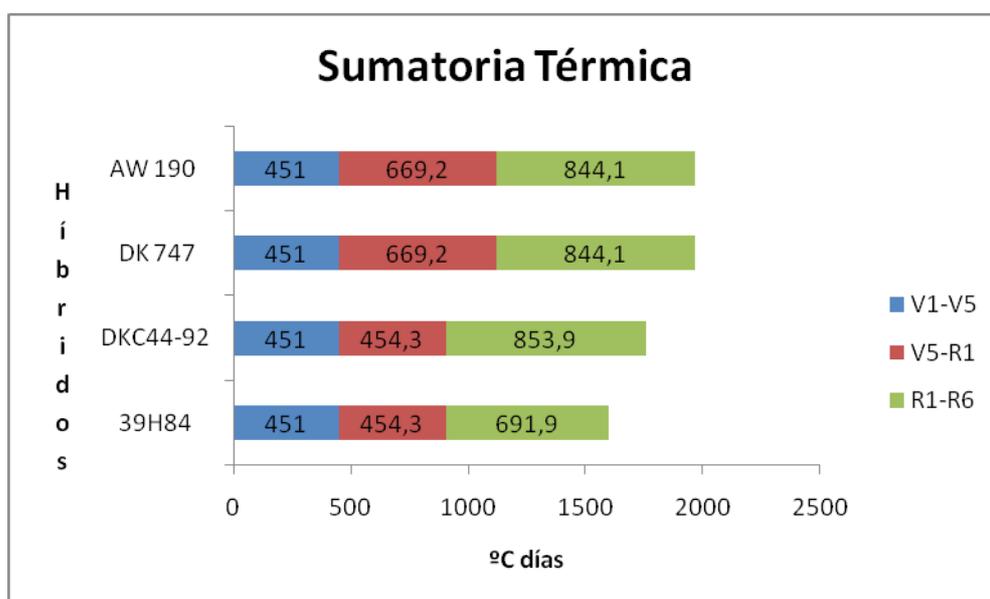


Figura 1: Sumatoria térmica en los diferentes híbridos de maíz en los distintos estados fenológicos (tomando como base 8°C).

Las lluvias durante el ciclo fueron escasas hasta mediados de enero (Figura 2) y luego fueron más abundantes, por lo cual posiblemente las diferencias entre los tratamientos con y sin riego no fueron importantes en los estados fenológicos más avanzados.

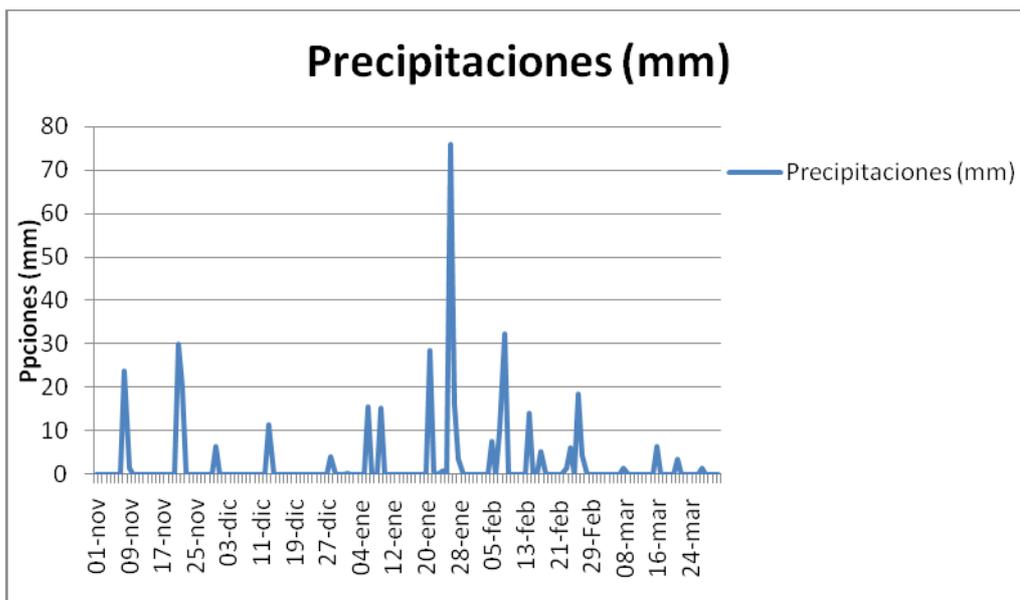


Figura 2: Precipitaciones ocurridas durante el ensayo.

Los muestreos de suelos efectuados en las parcelas de riego y de secano muestran que ambas son muy similares en cuanto a la textura del suelo (Tabla 3), aunque pareciera que la parcela de secano tuviera ligeramente menores contenidos de arcilla + limo, sobre todo en superficie. Con respecto a los contenidos de fósforo disponible y de materia orgánica (Tabla 4) se observa que las parcelas de riego tienen valores más variables, mientras que las parcelas de secano son más similares entre sí.

Tabla 3: Textura del suelo correspondiente a las parcelas de muestreo

Parcela y profundidad de muestra (cm)	Arcilla ---(%)----	Limo -----	Arena -----	Textura
Maíz Secano (0-20)	2,00	11,00	87,00	Arenoso
Maíz Secano (20-40)	2,72	14,00	83,28	Arenoso Franco
Maíz Secano (40-60)	2,00	12,36	85,64	Arenoso
Maíz Secano (60-80)	2,72	12,00	85,28	Arenoso Franco
Maíz Secano (80-100)	2,00	9,36	88,64	Arenoso
Maíz Riego (0-20)	2,00	16,36	81,64	Arenoso Franco
Maíz Riego (20-40)	2,00	18,36	79,64	Arenoso Franco
Maíz Riego (40-60)	2,00	16,36	81,64	Arenoso Franco
Maíz Riego (60-80)	2,00	13,36	84,64	Arenoso Franco
Maíz Riego (80-100)	2,00	14,00	84,00	Arenoso Franco

Tabla 4: Contenidos de fósforo disponible (P) y de materia orgánica (MO) en el estado fenológico V5 del cultivo

Muestra	P (Kg ha⁻¹)	MO (%)
secano (m1)	125	1,04
secano (m2)	149	1,04
secano (m3)	119	1,21
<i>promedio</i>	<i>131</i>	<i>1.10</i>
riego (m1)	344	2,08
riego (m2)	134	1,01
riego (m3)	177	1,34
<i>promedio</i>	<i>218</i>	<i>1.48</i>

La comparación de la abundancia de raíces entre el cultivo en secano y bajo riego mostró una diferencia significativa a favor del riego en el estado V5. En los estados de floración y madurez fisiológica no se encontraron diferencias significativas, aunque puede observarse mayor crecimiento de raíces en riego. En cuanto a biomasa se encontraron en los distintos estados fenológicos diferencias significativas entre secano y riego, siendo ésta mayor en riego (Tabla 5).

Tabla 5: Abundancia de raíces y biomasa aérea en cultivos de maíz bajo riego y en secano en diferentes estados fenológicos. Diferentes letras indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los datos de una misma columna.

	Abundancia de raíces			MS (g)		
	V5	R1	R5	V5	R1	R5
Secano	62 b	216 a	345 a	34 b	242 b	684 b
Riego	92 a	260 a	403 a	53 a	444 a	1163 a
CV	35,5	21,4	23,67	25,81	18,59	34,78
DMS	23,3	44,0	76,63	9,7	54,2	278,0

No se encontraron diferencias significativas en V5 en abundancia de raíces en los diferentes híbridos. En floración los híbridos de ciclo largo (CL) tuvieron mayor abundancia de raíces que los de ciclo corto (CC) (Tabla 6).

En el estado R5 puede observarse que el crecimiento de las raíces de los CL fue mayor que los CC, pero la diferencia con el híbrido de ciclo corto DKC44-92 no fue significativa.

Tabla 6: Abundancia de raíces en diferentes híbridos de maíz en distintos estados fenológicos. Diferentes letras indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Abundancia de raíces			
Híbrido	V5	R1	R5
39H84	60 a	181 b	295 b
DKC44-92	68 a	190 b	308 ab
AW 190	91 a	281 a	446 a
DK 747	89 a	300 a	448 a
CV	35,5	21,4	23,67
DMS	44,6	84,0	146,3

Ningún híbrido mostró una respuesta positiva al riego cuando se comparó la abundancia de raíces en el estado de madurez fisiológica (Tabla 7). Se observó que los híbridos de ciclo corto (39H84, DKC44-92) mostraron valores más bajos que los de ciclo largo (AW 190, DK 747). El híbrido AW 190 mantuvo el mismo valor tanto en riego como en seco.

Tabla 7: Abundancia de raíces en Madurez Fisiológica comparación entre cultivos bajo riego y en seco. Diferentes letras en una misma fila indican diferencias significativas (Tukey $p < 0.05$). CV: 23,67 DMS: 250,3

Abundancia de Raíces		
Híbrido	Secano	Riego
39H84	258 a	332 a
DKC44-92	266 a	349 a
AW 190	451 a	441 a
DK 747	404 a	491 a

En relación a la producción de biomasa aérea (Tabla 8), no se encontraron diferencias significativas entre híbridos en el estado V5, mientras que en el estado R1 los híbridos de ciclo largo tuvieron mayor biomasa aérea que los de ciclo corto. En el estado de R5 la materia seca de los híbridos de ciclo largo fue mayor que los de ciclo corto, pero la diferencia con uno de los híbridos de CC DKC44-92 no fue significativa.

Tabla 8: Biomasa aérea en diferentes híbridos de maíz en distintos estados fenológicos. Diferentes letras indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Híbrido	MS (g)		
	V5	R1	R5
39H84	38 a	235 b	623 b
DKC44-92	46 a	249 b	757 ab
AW 190	49 a	418 a	1047 ab
DK 747	42 a	470 a	1267 a
CV	25,81	18,59	34,78
DMS	18,6	103,9	530,6

Con respecto al rendimiento de cada uno de los híbridos ensayados se pudo constatar diferencias significativas entre los híbridos de ciclo corto y largo, siendo los de ciclo largo de mayor rendimiento. Dentro de los híbridos de ciclo corto el DKC44-92 se acercó más a los rendimientos de los ciclos largos (Tabla 9).

Tabla 9: Rendimiento de grano de diferentes híbridos de maíz. Diferentes letras indican diferencias significativas ($p < 0.05$). CV: 26,43 DMS: 4675,4

Híbrido	Rendimiento
	Kg ha ⁻¹
39H84	5751a
DKC44-92	10059 ab
DK 747	13131 b
AW 190	13893 b

Cuando se analizó el efecto del riego sobre el rendimiento de maíz se constató que éste fue significativamente mayor bajo riego que en seco (Tabla 10). La diferencia entre los tratamientos riego y seco fue de 4033 kg ha⁻¹ en promedio para todos los híbridos ensayados.

Tabla 10: Rendimiento de grano de maíz para los tratamientos en seco y bajo riego. Diferentes letras indican diferencias significativas ($p < 0.05$). CV: 26,43; DMS: 2449,7

Rendimiento	
Kg ha ⁻¹	
Secano	8692 b
Riego	12725 a

En seco, se destacaron en rendimiento los híbridos de ciclo largo; lo mismo ocurrió en riego aunque el rendimiento de un híbrido de ciclo corto, DKC44-92, se acercó a los rendimientos de los ciclo largo (Tabla 11). Si bien la respuesta al riego no fue significativamente diferente entre híbridos, ésta fue mayor en el híbrido de ciclo corto DKC44-92.

Tabla 11: Rendimiento de los distintos híbridos para los tratamientos en seco y bajo riego, y respuesta al riego. Diferentes letras indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Híbrido	Rendimiento en seco (kg ha ⁻¹)	Rendimiento en riego (kg ha ⁻¹)	Respuesta al riego (kg ha ⁻¹)
39H84	3789 b	7713 b	3925 a
DKC44-92	7144 ab	12974 ab	5830 a
DK 747	11637 ab	14626 a	2989 a
AW 190	12198 a	15588 a	3389 a
CV	35,00	20,44	44,73
DMS	7955,4	6802,2	4717,1

No se encontraron diferencias significativas en el contenido de nitratos en el suelo tanto en riego como seco (Tabla 12), en los diferentes estados fenológicos. Sin embargo, se observó que los valores de nitrato en seco fueron superiores en los cultivos en seco en ambos estados fenológicos.

Tabla 12: Contenido de N-nitratos (Kg N-NO₃/ha) en R1 y R5 para los tratamientos riego y seco. Valores promedios para todos los híbridos. Diferentes letras indican diferencias significativas (p< 0.05). CV: 74,82; DMS: 55,7

Fecha	Riego	Seco
R1	62,37 a	87,46 a
R5	44,69 a	78,42 a

Tal como se observó para la comparación entre riego y seco, tampoco se encontraron diferencias significativas en la presencia de nitratos en el suelo entre los diferentes híbridos, en los estados R1 y R5 (Tabla 13), aunque la concentración de este elemento en el suelo fue superior para el híbrido de ciclo corto 39H89.

Tabla 13: Contenido de nitratos (Kg N-NO₃/ha) en el suelo para los diferentes híbridos en R1 y R5. Diferentes letras indican diferencias significativas (p< 0.05).

Híbrido	R1	R5
39H84	103 a	72 a
DKC44-92	50a	59 a
DK 747	67 a	66 a
AW 190	79 a	49 a
CV	62,41	96,67
DMS	75,5	96,1

Discusión y conclusión

El presente trabajo se desarrolló a partir de las siguientes hipótesis:

1. Los híbridos con menor desarrollo radicular son menos eficientes en la captación de recursos del suelo en condiciones limitadas de éstos, lo cual se reflejaría en menor producción de biomasa y menores rendimientos.
2. El contenido de nitratos en el suelo en el tratamiento con riego es menor que en el de secano debido a mayor absorción por parte del cultivo y mayor lixiviación.
3. Los híbridos de ciclo corto por su menor desarrollo radicular absorban menor cantidad de este nutriente.

Los resultados mostraron un efecto positivo de riego en la abundancia de raíces en estado V5, pero este efecto no se observó en los estados R1 y R5, lo cual posiblemente se debió a las abundantes precipitaciones ocurridas a partir de ese momento. La materia seca del cultivo en todos los estados fenológicos fue mayor en riego que en secano por lo que no se pudo comprobar una relación directa entre abundancia de raíces y biomasa aérea.

Los híbridos de ciclo corto tuvieron menor desarrollo radicular que los de ciclo largo, especialmente a las mayores profundidades evaluadas. Además, estas diferencias fueron más notables en condiciones hídricas limitantes, ya que los híbridos de ciclo corto presentaron mayor desarrollo radicular en riego en comparación con secano. En cambio en los híbridos de ciclo largo no hubo diferencias notables entre ambos tratamientos.

Es de destacar que en los cultivares de ciclo largo se observó abundante formación de raíces entre los estados R1 y R5, momento en el cual se presentaron las mayores precipitaciones.

La producción de materia seca y el rendimiento de los híbridos de ciclos más largos fue notablemente mayor a la de los ciclo corto tanto en riego como en secano. A pesar de que los ciclos cortos tuvieron mayor desarrollo de raíces en riego con respecto a secano, a diferencia de lo esperado, la producción de biomasa aérea y rendimiento no fueron significativamente mayores. El híbrido DKC44-92 fue el de mayor respuesta al riego en cuanto a rendimiento aunque no fue estadísticamente significativa. Es decir, que los híbridos de ciclo corto no tuvieron respuesta evidente al riego, siendo menos eficientes que los ciclos largos en la captación de recursos tanto en condiciones limitantes como en condiciones no limitantes. Esta falta de respuesta podría haber sido ocasionada por las abundantes lluvias que se registraron en el período entre R1 y R5, disminuyendo las diferencias entre los tratamientos de riego y secano.

Con respecto a la variación de los contenidos de nitrato en el suelo no se pudo constatar diferencias estadísticamente significativas. Sin embargo, los valores de este nutriente demostraron tendencias que estarían de acuerdo a la hipótesis que en sistemas con riego sean menores que en secano, y que para los híbridos de ciclo corto se encontraría valores mayores de este elemento en el suelo.

Bibliografía:

- Angadi, S. V., Entz, M. H. 2002. Root system and water use patterns of different height sunflower cultivars. *Agron J.* 94, 136-145.
- Cárcova, J., Maddonni, G.A., Ghera, C.M. 1998. Crop water stress index of three maize hybrids grown in soils with different quality. *Field Crops Res.* 55, 165-174.
- Cárcova, J., Maddonni, G.A., Ghera, C.M. 2000. Long term cropping effects on maize crop evapotranspiration and grain yield. *Agron J.* 92, 1256-1265.
- Dardanelli, J.L., Bachmeier, O.A., Sereno, R., Gil, R. 1997. Rooting depth and soil water extraction patterns of different crops in a silty loam Haplustoll. *Field Crops Res.* 54, 29-38.
- Oikeh, S.O., Kling, J.G., Horst, W.J., Chude, V.O., Carsky, R.J. 1999. Growth and distribution of maize roots under nitrogen fertilization in plinthite soil. *Field Crops Res.* 62, 1-13.
- Ritchie, S.W. y J.J. Hanway. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service Ames, Iowa. Special Report N° 48.
- Di Rienzo, J.A., M.G. Balzarini, I. González, M. Tablada, W. Guzmán, C.W. Robledo, y F. Casanoves. 2002. Software INFOSTAT Versión 1.1. FCA, UNC. Córdoba.