

TESIS PARA ALCANZAR EL GRADO DE INGENIERO AGRÓNOMO

“Disponibilidad de Nitrógeno determinada por SPAD
y respuesta a la fertilización nitrogenada de un
cultivo de maíz en la región semiárida pampeana.”

Agustín Civalero y Gabriel Kolman

30/05/2013

Contenido

TESIS PARA ALCANZAR EL GRADO DE INGENIERO AGRÓNOMO.....	2
Título.....	2
Integrantes.....	2
Director.....	2
Co-Director.....	2
Resumen.....	2
Introducción.....	2
Objetivos.....	3
Materiales y métodos.....	4
Resultados.....	5
Relación entre lectura SPAD y contenido de NO ₃ (Kg N/Ha) en muestras de suelo.....	12
Evolución del contenido de N disponible a lo largo del ciclo de maíz y respuesta del cultivo.....	12
Conclusiones.....	13
Bibliografía.....	13

TESIS PARA ALCANZAR EL GRADO DE INGENIERO AGRÓNOMO

Título: “Respuesta a la fertilización nitrogenada en dos sistemas de labranzas de un cultivo de maíz en la región semiárida pampeana.”

Integrantes: Civalero Agustín y Kolman Gabriel

Director: Elke Noellemeyer

Co-Director: Romina Fernández

Resumen

El nitrógeno es uno de los elementos minerales que más limitan la producción del maíz, por lo que se han realizado gran cantidad de ensayos para determinar ésta limitante y el efecto de la fertilización sobre el cultivo. Por otro lado, existen metodologías de diagnóstico a través de mediciones de nitrógeno de nitratos en el suelo antes del período máximo de crecimiento del cultivo (V5 – V6), se lo considera un índice de intensidad de mineralización, ya que indica la cantidad de nitrógeno que se ha mineralizado durante el barbecho y en las primeras etapas del cultivo, en donde la absorción de nitrógeno es baja. (Bock and Kelley, 1992). El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la siembra directa (SD), de la labranza convencional (LC) y de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de maíz y su relación con el diagnóstico de nitrógeno. La determinación de los contenidos de nitrógeno de nitratos (ácido cromotrópico) se realizó en intervalos de 20 cm hasta los 60 cm de profundidad. Los momentos de muestreos fueron en V2 (16/12), V6 (15/1), floración (11/2) y madurez fisiológica (28/4). La fertilización no afectó los rendimientos en maíz en SD cuando las dosis fueron bajas pero a altas dosis los rendimientos fueron significativamente mayores, mientras que en SC los rendimientos variaron significativamente ante menores dosis; pero siempre hubo mayores rendimientos en SD comparando los mismos tratamientos en SC. Esto se pudo explicar ya que en siembra directa habría mayor mineralización del componente nitrógeno y menores pérdidas por lixiviación.

Introducción

El área sembrada con maíz bajo el sistema de siembra directa (SD) se ha incrementado en forma sostenida desde mediados de la década de los noventa. Durante el ciclo 2001-2002 el área de maíz en SD en la Región Pampeana superó los 1,7 millones de hectáreas lo que representó el 56 % del área

sembrada con maíz en Argentina (AAPRESID, 2003). Este cultivo tiene gran capacidad para lograr altos rendimientos cuando crece sin limitaciones ambientales, pero resulta inestable frente a situaciones de estrés, especialmente en el período de floración. Una limitante importante para la producción de maíz es el contenido de nitrógeno (N) en el suelo y, debido a las altas cantidades requeridas, es frecuente observar deficiencias de este nutriente que afectan su crecimiento vegetativo (Uhart y Andrade, 1995a) y reproductivo (Uhart y Andrade, 1995b). El uso de labranzas conservacionistas y en particular la siembra directa (SD) producen una serie de cambios en el ambiente edáfico, siendo el más relevante, la menor disponibilidad de nitrógeno mineral durante los primeros años de su implementación (Fox y Bandel, 1986).

En los últimos años se ha avanzado notablemente en el diagnóstico de las necesidades de nutrientes en la región pampeana, con mayor énfasis en el nitrógeno y fósforo. Los requerimientos de estos nutrientes no pueden ser cubiertos por la oferta de los suelos en la mayoría de los casos, por lo que se debe recurrir a la fertilización (Echeverría et al, 2002). Por lo tanto, la fertilización nitrogenada con dosis mayores es una práctica necesaria para la obtención de similares rendimientos que bajo labranza convencional (Domínguez et al, 2000), por lo menos durante los primeros años de implementada dicha técnica.

Los métodos de diagnóstico de requerimiento de nitrógeno (N) para maíz más difundidos se basan en la determinación del contenido de nitratos en el suelo al momento de la siembra o al estadio de seis hojas (NSV6) (Sainz Rozas et al, 2000). El primero tiene la desventaja de no caracterizar la oferta de N durante el ciclo del cultivo por mineralización, la cual puede ser relevante. El NSV6 representa el N disponible a la siembra, más el aportado por mineralización hasta V6, menos las pérdidas en ese período.

Las mediciones con el SPAD permiten evaluar indirectamente y en forma no destructiva el estado de nutrición nitrogenada del cultivo. Para el sudeste bonaerense las mediciones con el SPAD en V6 se asociaron débilmente con el rendimiento del cultivo y esta relación mejoró en estadios posteriores (Sainz Rozas y Echeverría, 1998), sin embargo esto no ha sido confirmado en otros ambientes.

Objetivos

- Evaluar la productividad del cultivo de maíz en dos sistemas de labranzas contrastantes.
- Evaluar el efecto de la fertilización en el maíz sobre su productividad en ambos sistemas de labranzas.
- Evaluar la incidencia de la fertilización nitrogenada sobre la eficiencia del uso del agua en el cultivo de maíz

Materiales y métodos

En la región semiárida pampeana central, se desarrollan los sistemas mixtos de producción, ganadero-agrícola, y agrícola-ganadero. Si bien el orden de suelos Molisoles conforma unidades prácticamente puras, la región se encuentra dividida en dos unidades geomorfológicas, que resultan contrastantes: la Planicie Medanosa (PM) y la Planicie con Tosca (PT).

La subregión de la PM abarca aproximadamente 920.000ha y se localiza en el extremo noreste de la provincia de La Pampa, entre los meridianos 63° y 64°15' W y los paralelos 35° y 37°15' S.

En esta región, y sobre un suelo Haplustol éntico (con un perfil típico A, AC, C y C_k) se estableció en agosto de 1993 un ensayo de evaluación de sistemas de labranzas con dos tratamientos, siembra directa (SD) y siembra convencional (SC), en franjas apareadas con tres repeticiones. Cada parcela de sistema de labranza midió 15 m por 200 m.

La secuencia de cultivo desde 1993 hasta el 2009 fue girasol, trigo, avena, maíz, girasol, trigo, 4 años de pastura (alfalfa con festuca), soja, girasol, maíz, soja, soja, maíz, centeno y maíz. La experiencia se desarrolló sobre este último cultivo, bajo condiciones de campo en un lote de producción bajo SD y SC sin deficiencias de fósforo y azufre. El diseño experimental se realizó en bloques completamente aleatorizados, con cuatro repeticiones y los tratamientos fueron 4 niveles de N: 0, 60, 120 y 180 kg N/ha, aplicados como urea. Las unidades experimentales se establecieron en parcelas de 5 metros de ancho y 10 metros de largo. El cultivo se sembró el 4 de diciembre de 2009 con un distanciamiento de 52 cm y una densidad de logro de 3,5 pl./m lineal (67.307 pl./ha).

Los muestreos de humedad (método gravimétrico) se realizaron en intervalos de 20 cm hasta 140 cm de profundidad y la determinación de los contenidos de nitrógeno de nitratos (ácido cromotrópico) también en intervalos de 20 cm hasta los 60 cm de profundidad. Los momentos de muestreos fueron en V2 (16/12), V6 (15/1), floración (11/2) y madurez fisiológica (28/4). Se evaluó el contenido de clorofila con el Minolta SPAD 502 al estadio de V6 en la última hoja totalmente expandida, al mismo tiempo que se tomó el contenido de humedad en ese estadio.

Se calculó el uso consuntivo de agua en mm (UC) del cultivo de maíz, a partir de las precipitaciones y el cambio en el contenido de agua almacenada en el suelo desde la siembra hasta el secado del CC y desde siembra hasta la cosecha de maíz (Lopez y Arrue, 1997). Además se determinó la eficiencia en la utilización del agua (EUA kg grano/mm/ha), mediante el cociente entre el grano producido de maíz y el UC (mm).

En estadios de madurez fisiológica se determinó por cosecha manual (2 m²) y trilladora estacionaria la producción de granos y el peso de 1000 semillas.

Las precipitaciones registradas entre el mes de junio y la fecha de siembra del cultivo de maíz fueron 182 mm, de las cuales las más importantes ocurrieron en septiembre con 66 mm y en noviembre con

100 mm. Entre la siembra (4-12) y el primer muestreo de humedad y nitratos correspondiente al estadio de V2 (16-12) se registraron 35 mm, de V2 a V6 (15-1) 175 mm, hasta floración (11-2) las precipitaciones registradas fueron de 70 mm y hasta madurez fisiológica del cultivo de maíz (28-4) se contabilizaron 163 mm, de las cuales la mayor cantidad precipitada fue en febrero, con unos 60 mm en el mes de marzo.

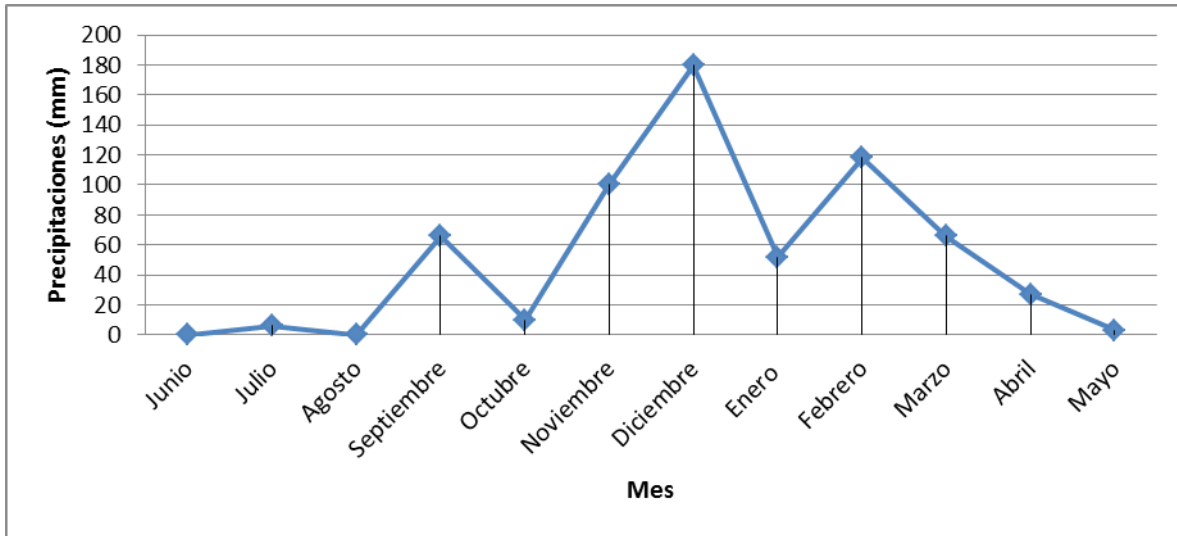


Figura 1: Lluvias ocurridas durante el desarrollo del cultivo de maíz.

Los resultados fueron analizados estadísticamente a través de análisis de varianza y prueba de LSD a $\alpha < 0,05$ con el software Infostat.

Resultados

Al momento de la siembra del cultivo de maíz en el sistema de SD, el suelo presentaba 25 mm más de agua total que en SC (Tabla 1). Si bien las precipitaciones registradas previamente a la siembra del maíz fueron considerables (Figura 1), las mismas recargaron el perfil hasta los 60-80 cm de profundidad (Figura 2), ya que a los 80 cm de profundidad el agua en ambos sistemas de labranzas se encontraba en punto de marchitez permanente.

En el estadio de V6 la diferencia entre los dos sistemas de labranzas fue aún mayor (52 mm) mientras que para los momentos de floración y madurez fisiológica si bien el sistema en SD presentaba mayor contenido de agua útil, esta diferencia fue menor que la encontrada anteriormente (17 y 6 mm respectivamente). Los perfiles de humedad a madurez fisiológica de los tratamientos bajo SC testigo (T), SD T y SD fertilizado (F) contenían agua útil hasta los 60 cm de profundidad, mientras que el perfil de SC F se encontró con contenidos hídricos por debajo del punto de marchitez permanente.

Tanto para la siembra, como en V6 y floración del maíz, en el tratamiento T las diferencias en los contenidos de agua a favor del sistema en SD fueron estadísticamente significativas. Mientras que en madurez fisiológica no hubo diferencias significativas entre las labranzas.

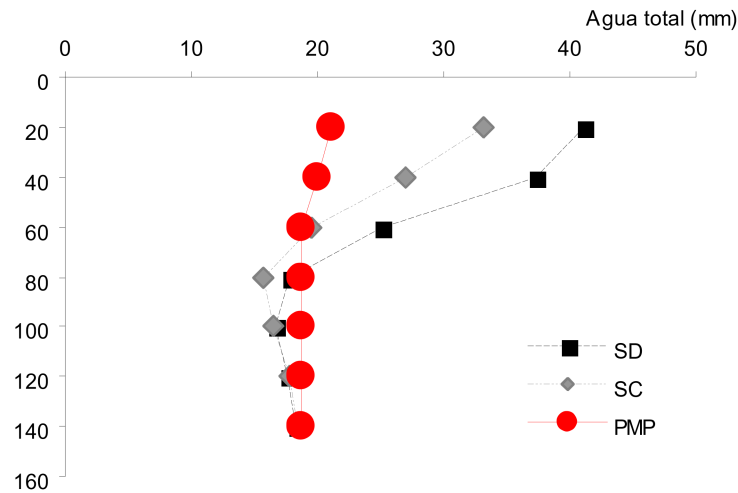


Figura 2: Perfil de humedad a la siembra de maíz en siembra directa (SD) y siembra convencional (SC)

Tabla 1: Agua total hasta 140 cm de profundidad en tratamiento testigo, a la siembra, V6, floración y madurez fisiológica (M.F.)

Labranza	Humedad (mm)			
	Siembra	V6	Floración	M.F.
SC	148 b	173 b	110 b	123 a
SD	173 a	225 a	127 a	129 a-

Las letras muestran diferencias significativas entre las labranzas ($p < 0.05$).

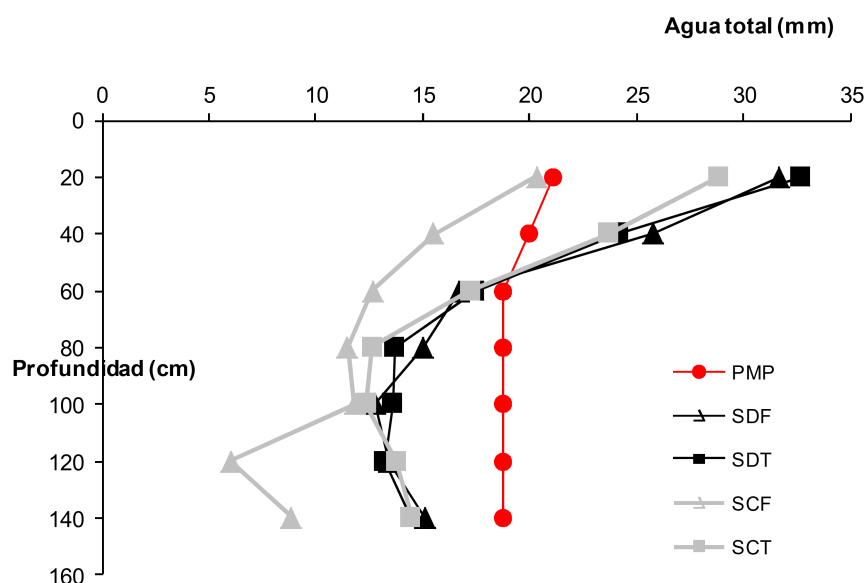


Figura 3: Perfil de humedad a madurez fisiológica de maíz en siembra directa testigo (SD T) y fertilizado (SD F) y siembra convencional testigo (SC T) y fertilizado (SC F).

Para el tratamiento que recibió la mayor fertilización (180 kg de N/ha) al momento de V6 el sistema en SD se encontraba con mayor contenido de agua que SC (44 mm) presentando diferencias significativas, esta diferencia se redujo en el periodo de floración (6 mm a favor de SD), pero a cosecha el contenido de agua en SD nuevamente fue muy superior al encontrado en el sistema de SC (54 mm) con diferencias significativas.

Considerando el mismo sistema de labranzas se puede observar que los contenidos de agua en el estadio de V6 y en madurez fisiológica fueron menores en el tratamiento con fertilización nitrogenada. En el sistema en SD también se registraron menores contenidos de agua en el tratamiento con N en V6 y en floración (Tabla 2).

Varios estudios encontraron mayor cantidad de agua en SD lo cual se ha atribuido al efecto que tienen los residuos sobre la superficie del suelo disminuyendo la temperatura del suelo y el escurrimiento del agua (Dao, 1993; Johnson, Lowery, 1985; Bennie y Hensley, 2000; Fernández et al, 2008).

Tabla 2: Agua total hasta 140 cm de profundidad en el tratamiento fertilizado, en V6, floración y madurez fisiológica (M.F.)

Labranza	Humedad (mm)			
	Siembra	V6	Floración	MF
SC	148 b	162 b	117 b	86 b
SD	173 a	206 a	123 a	140 a

Las letras muestran diferencias significativas entre las labranzas ($p < 0.05$).

En la Tabla 3 se presentan los rendimientos de maíz para cada labranza de los distintos tratamientos de fertilización con nitrógeno. Se puede observar que el sistema en SC presentó un incremento en el rendimiento de maíz con respecto al testigo de 1480, 3164 y 5026 kg/ha para las dosis de 60, 120 y 180 kg de N/ha respectivamente. La respuesta de rendimiento se presenta en la Figura 4, y correspondió a 1480, 1684, 1862 kg/ha a medida que se aumenta la dosis de fertilización.

En el sistema en SD el rendimiento del maíz con respecto al testigo fue de 1242, 1576 y 3313 kg ha⁻¹ para la dosis de 60, 120 y 180 kg de N/ha respectivamente. En este sistema de labranza la respuesta a la fertilización fue de 1242, 334 y 1737 kg ha⁻¹ con el aumento de la dosis de fertilización.

Analizando el rendimiento de maíz pero teniendo en cuenta las labranzas, se observaron diferencias significativas solo en los tratamientos T y 60. El sistema en SD presentó 2893, 2655, 1305 y 1180 kg ha⁻¹ más que en SC, para los tratamientos de T, 60, 120 y 180 respectivamente.

Resultados de Saks et al, (2012) demuestran que los rendimientos promedios alcanzados en SD variaron entre genotipos y nivel de fertilización. El genotipo ciclo largo presentó una amplia variación en el rendimiento (5570-18440 kg ha⁻¹) y respuesta a la fertilización (1834-9438 kg ha⁻¹). Mientras que en el genotipo ciclo corto la variación de rendimiento fue menor (6555-11009 kg ha⁻¹). Similar tendencia se observó en la respuesta a la fertilización (1764-4454 kg ha⁻¹).

El peso de mil granos se presenta en la Tabla 4, el mismo varió con la fertilización tanto en SC (247 a 327 gr) como en SD (294 a 342 gr), además comparando cada tratamiento de fertilización entre las labranzas en todos los casos fue mayor en el sistema en SD aunque solo presentó diferencia significativa en el tratamiento con 60 kg de N/ha.

Se demostró que el rango de variación del número de granos/m² como respuesta a la fertilización con N fue significativa ($p < 0.05$) y que este componente de rendimiento es el que más afectó la producción de granos. Los resultados además indicaron que el rendimiento fue mayor en SD lo cual estaría relacionado con mejores condiciones hídricas durante el ciclo del cultivo dando lugar a un mayor peso de granos.

Tabla 3: Rendimiento de maíz en tratamientos testigo (T) y fertilizados con 60, 120 y 180 kg/ha.

Labranza	Tratamientos (kg N/ha)			
	T	60	120	180
SC	6959 b B	8439 b B	10123 ba A	11985 a A
SD	9852 b A	11094 ba A	11428 ba A	13165 a A

Letras minúsculas muestran diferencias significativas entre dosis y letras mayúsculas muestran diferencias significativas entre labranzas ($p < 0.05$).

Tabla 4: Peso de mil granos en los tratamientos testigo (T) y fertilizados con 60, 120 y 180 kg/ha.

Labranza	Tratamientos (kg N/ha)			
	T	60	120	180
SC	247 a A	294 ab A	327 b A	325 b A
SD	294 a A	319 ab B	329 ab A	342 b A

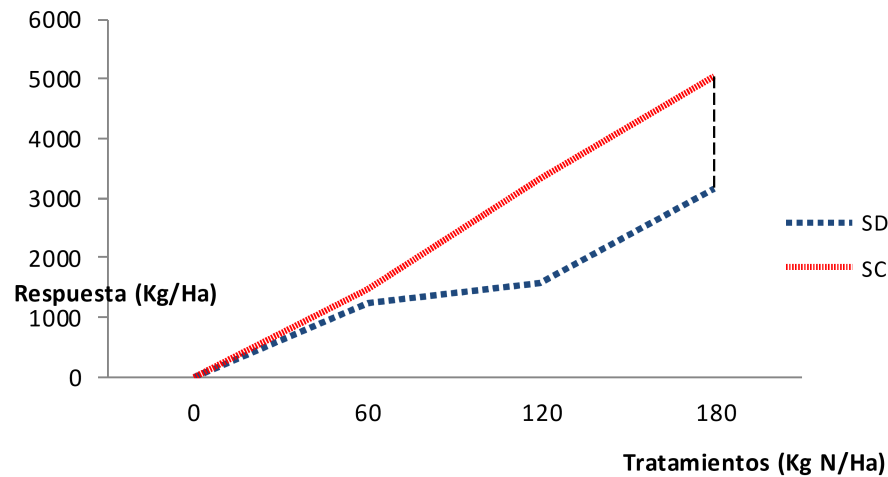


Figura 4: Respuesta del cultivo de maíz, a la fertilización nitrogenada en siembra directa (SD) y convencional (SC)

El UC del cultivo en SC fue de 505mm para el tratamiento fertilizado y de 468mm para el testigo, pero en el sistema en siembra directa el UC para el tratamiento fertilizado fue de 476mm y para el testigo de 487mm. Resultados de Saks et al, (2012) y Barbieri et al, (2012) demostraron que el UC fue muy similar entre dosis de fertilización de maíz tanto en la Región Semiárida Pampeana como en el

Sudeste de Buenos Aires, destacando que la evapotranspiración del cultivo de maíz no fue afectada por la fertilización nitrogenada.

En relación a la EUA los valores para el tratamiento testigo fue de 14 kg/mm ha para SC y 20 kg/mm ha en el caso de SD. Para los tratamientos fertilizados fueron de 23 kg/mm ha para SC y 27 kg/mm ha para SD. Se puede observar que hubo mayor eficiencia en el UC para los tratamientos fertilizados en ambas labranzas. La fertilización nitrogenada permitiría incrementar la EUA del cultivo de maíz, afectando en menor medida al UC. Otros resultados en la región semiárida pampeana demuestran que la EUA se incremento en un 59 y 81 % en los genotipos ciclo corto y ciclo largo por efecto de la fertilización nitrogenada. No obstante, la fertilización no modifico el UC de cada genotipo (Saks et al., 2012)

Uhaldegaray (2012) obtuvo similares resultados, con EUA de 8 a 24 kg/mm ha en maíz sin fertilizar y fertilizado respectivamente. Los efectos de la fertilización nitrogenada sobre la mejora en la EUA y ET son similares a los descriptos por Albarenque et al, (2012).

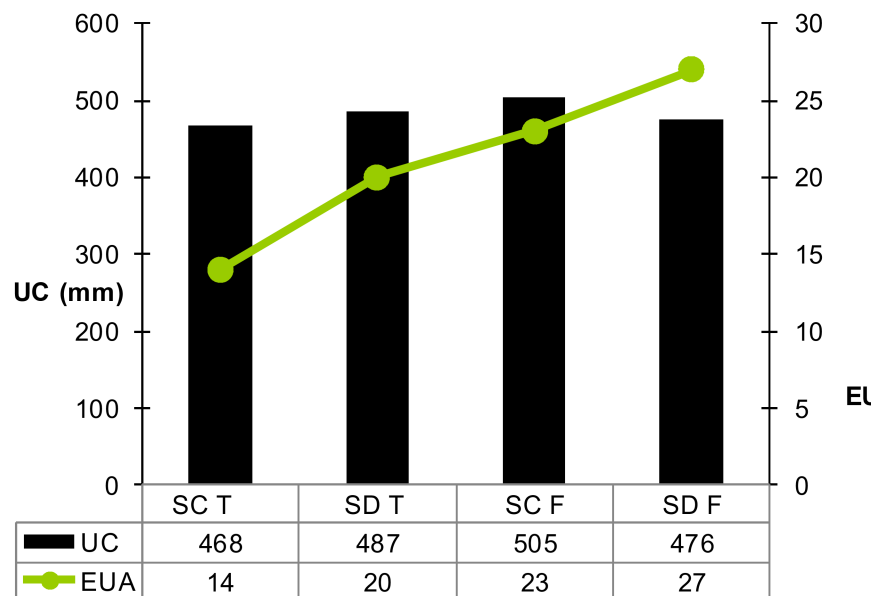


Figura 5: Uso consuntivo (UC) y eficiencia en el uso del agua (EUA) para siembra convencional (SC) y directa (SD), testigo (T) y fertilizado (F).

Al momento de la siembra los contenidos de $N-NO_3^-$ fueron mayores en SC, aunque no presentaron diferencias estadísticas con respecto a SD (Tabla 5).

En V6 en ambos sistemas de labranzas, se observó que a mayor nivel de fertilización dentro de cada labranza se encontraron mayores niveles de N de NO_3^- en suelo (Tabla 5). Para todos los tratamientos se hallaron mayores valores de N- NO_3^- en SD, excepto en el tratamiento con mayor nivel de fertilización, registrándose diferencias significativas entre las labranzas solamente en el tratamiento testigo.

En general los valores de N- NO_3^- fueron bajos lo cual se podría atribuir al consumo por parte del cultivo y al lavado por lixiviación debido a las precipitaciones registradas entre V2 y V6. Los mayores valores de N disponible en SD entre la siembra y V6 se podrían explicar por la mineralización de residuos y de materia orgánica en este sistema de labranza (Kalbitz, 2003; Cookson et al, 2005; Garnier et al, 2008; Schmidt et al, 2011), aunque también es probable que haya inmovilización de este elemento por parte de los microorganismos (Kristensen et al, 2003; Molina et al, 2005). Este último proceso parecería predominar en floración del cultivo de maíz, cuando el consumo por parte del cultivo ya fue menor, al respecto se observaron menores valores de N- NO_3^- disponible en SD comparado con SC, sin presentar diferencias significativas.

Estudios demostraron que la fertilización no afecta la actividad biológica y la biomasa microbiana del suelo, lo que indicaría que no se produce la inmovilización de nitrógeno ya que análisis realizados por determinación isotópica de N15 en la biomasa microbiana permitió determinar que el 25% del N presente en la misma provenía del fertilizante. Esto sugiere que hubo un intercambio entre el N del fertilizante y el contenido en la biomasa microbiana, que determino una subestimación del grado de aprovechamiento de este nutriente al utilizar la metodología isotópica (Peter ED. et al, 1986).

En el tratamiento testigo no se encontraron diferencias significativas entre SC y SD, 16,3 y 12,6 KgN- NO_3^- /ha respectivamente. Lo mismo se observo para el tratamiento 180 con valores de 42,4 y 31 kgN- NO_3^- /ha para SC y SD respectivamente. Cabe recalcar que en SC se observaron mayores niveles de N para ambos tratamientos. En floración en el tratamiento testigo y fertilizado con 180 kg/ha los mayores valores de N- NO_3^- se hallaron en SC aunque no se encontraron diferencias significativas entre sistemas de labranzas.

Tabla 5: Contenido de N-NO₃⁻ en siembra directa (SD) y siembra convencional (SC) a la siembra, en V6 y floración del cultivo de maíz.

N-NO ₃ ⁻ (kg/ha):	Siembra (4/12/09)	V6 (21/01/10)				Floración (11/02/10)	
		0	60	120	180	0	180
Tratamientos							
SC	55.2 a	3.3b	7.9a	18.6a	33.1a	16.3a	42.4a
SD	46.3 a	11.6a	16.1a	21.3a	24.3a	12.6a	31.0a

Las letras muestran diferencias significativas entre las labranzas ($p < 0.05$).

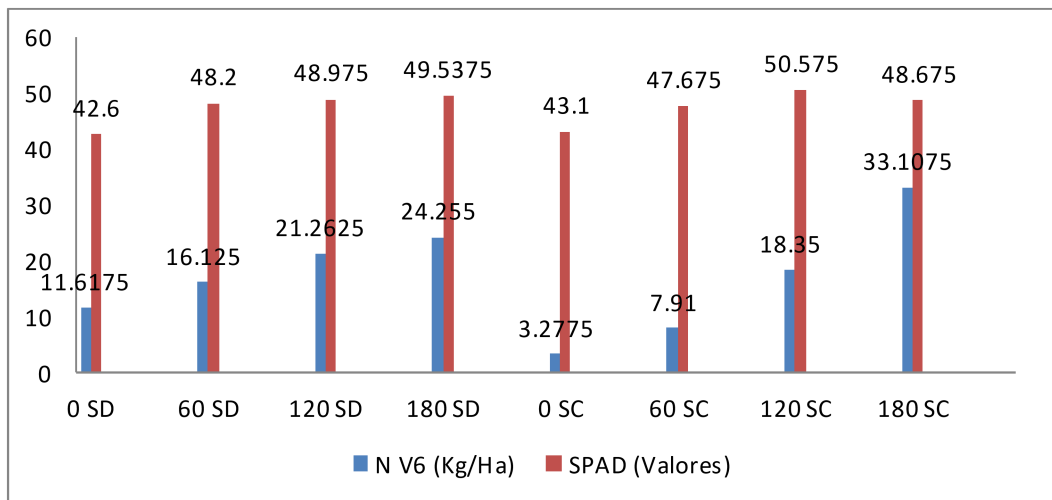


Figura 6: Relación entre lectura SPAD y contenido de N-NO₃⁻ (Kg N/Ha) en muestras de suelo

La intensidad de coloración verde de las hojas de la espiga varió entre 42 y 50,5 unidades SPAD mostrando diferencias entre sitios y dosis de N aplicadas en la siembra (Figura 6). En general esta variable fue mayor en los tratamientos fertilizados que en el tratamiento control sin fertilización y se relacionó positivamente con las dosis de N aplicadas en el momento de la siembra. Se pudo observar que ante la presencia de elevadas fertilizaciones, el SPAD no determina diferencias entre dosis, esto puede estar atribuido a la poca diferenciación entre el color verde de las hojas.

Evolución del contenido de N disponible a lo largo del ciclo de maíz y respuesta del cultivo

Observando los datos encontramos un buen nivel de N a la siembra del cultivo tanto para el tratamiento de SD como SC, aunque viéndose una diferencia a favor de SC en 10 kg N aproximadamente, posiblemente atribuible a la inmovilización microbiana de N en la SD.

En las muestras obtenidas en V6 se observa una menor concentración de Nitratos en el suelo, que además del consumo del cultivo, puede ser atribuible a las altas precipitaciones ocurridas entre el

momento de fertilización y toma de muestras. Éstas pueden haber producido un lavado en el perfil, afectando considerablemente a la SC ya que respecto a SD, el suelo se encuentra más desprotegido y con menos estructuración, facilitando este proceso.

Los datos observados del análisis de NO₃ en floración, muestran que tanto para SD como para SC hubo un aumento en la concentración de Nitratos en el suelo. Es notable un mayor aumento en SC debido a la facilidad de degradación que tiene el suelo en ese sistema de labranza por sus condiciones de aireación debido a la remoción del perfil, temperatura y buen contenido de humedad por las abundantes precipitaciones. Contrariamente, el suelo en SD se comporta de manera diferente debido a que generalmente tiene menos temperatura y hay una población microbiana abundante que inmoviliza N disminuyendo la disponibilidad de éste.

En forma general se observa que en SD la concentración de NO₃ es baja a siembra, pero a lo largo del ciclo hay un aporte de NO₃ continuo. Esto podría explicarse con la acumulación de MO a través de los años en este sistema de labranza, teniendo como característica un gran porcentaje de ésta como lábil. La provisión de N disponible mediante la mineralización de materia orgánica podría también explicar la falta de respuesta a la fertilización en nitrogenada en SD. Aunque generalmente se estipula que cultivos en SD sufren menor disponibilidad de N debido a la inmovilización de este elemento por la alta disponibilidad de residuos con alta relación C/N (Soane et al, 2012), en este ensayo de larga duración el suelo bajo SD aparentemente tiene mayor capacidad de mineralización de N. Similares resultados han sido obtenidos en ensayos de larga duración de SD (Álvaro-Fuentes et al, 2009; Alvarez and Steinbach, 2009; Alletto et al, 2011). Lo anteriormente expuesto explica la curva de rendimientos, la cual en labranza convencional es notablemente creciente con mayores respuestas entre tratamientos; al contrario de esto, la curva en SD tiene una pendiente pequeña con menores respuestas entre tratamientos pero parte de un rendimiento considerablemente mayor.

Conclusiones

El cultivo de maíz en SD solamente respondió a la dosis más alta de fertilización nitrogenada, mientras que en SC la respuesta fue significativa en dosis menores. Esto se correspondió con altos niveles de N disponible en el suelo bajo SD que se explicarían por mayor mineralización de este elemento y menores pérdidas por lixiviación. El efecto de SD luego de más de 15 años, por lo tanto es de mejorar la disponibilidad de N para el cultivo, inverso a lo que ocurre durante los primeros años de este sistema de labranza.

Bibliografía

AAPRESID. 2003. Revista de la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa. 66:34.

Albarenque S.M., Caviglia O.P., Melchiori R.J.M. 2012. Evaluación de la eficiencia en el uso de nitrógeno y respuesta a la fertilización nitrogenada por ambiente en el cultivo de maíz. INTA EEA Paraná-CONICET-FCA-UNER.

Alvarez, R., Steinbach, H.S. 2009. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. Soil and Tillage Research. 104, 1–15.

Alletto, L., Coquet, Y., Justes, E. 2011. Effects of tillage and fallow period management on soil physical behaviour and maize development. Agricultural Water Management. 102, 74–85.

Álvaro-Fuentes, J., Lampurlanés, J., Cantero-Martínez, C. 2009. Alternative Crop Rotations under Mediterranean No-Tillage Conditions: Biomass, Grain Yield, and Water-Use Efficiency. Agronomy Journal. 101, 1227.

Barbieri P., A. Della Maggiora, H. Echeverría, M. Pietrobón, F. Alvarez. 2012. Evapotranspiración y eficiencia en el uso del agua del cultivo de maíz en respuesta a la fertilización con nitrógeno. XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata 16-20 de abril de 2012.

Bennie A., M. Hensley. 2000. Maximizing precipitation utilization in dryland agriculture in South Africa, a review. Journal of Hydrology. 241: 124-139.

Bock, B.R. and Kelley, K.R. Predicting N fertilizer needs for corn in humid regions. Bull Y-226 TVA-NFERC- Muscle Alabama. 127 pp.

Calviño P, Echeverría H. 2003. Incubación Anaeróbica del Suelo como Diagnostico de la Respuesta a Nitrógeno del Maíz Bajo Siembra Directa. Ciencia del Suelo 21 (1) 24-25, 2003.

Cookson, W.R., Abaye, D.A., Marschner, P., Murphy, D. V., Stockdale, E.A., Goulding, K.W.T. 2005. The contribution of soil organic matter fractions to carbon and nitrogen mineralization and microbial community size and structure. Soil Biology and Biochemistry. 37, 1726–1737.

Dao H. 1993. Tillage and winter wheat residue management effects on water infiltration and storage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:1586-1595.

Domínguez, Sainz Rozas, H.R, H.E. Echeverría, G.A. Studdert. 2000. Respuesta del cultivo de maíz bajo siembra directa a la fuente y al método de aplicación de nitrógeno. *Ciencia del Suelo* 21 (1) 18-23.

Fernández, R & A Quiroga. 2008. Efecto del sistema de labranza en la eficiencia de almacenamiento del agua en la región semiárida pampeana. XXI Congreso Argentino de la ciencia del suelo. Potrero de los Funes, San Luis, pp. 307.

Fernandez R., A. Quiroga, E. Noellemeyer, D. Funaro, J. Montoya, B Hitzmann, N. Peinemann. 2008. A study of the effect of the interaction between site-specific conditions, residue cover and weed control on water storage during fallow. *Agricultural Water Management.* 95, 1028-1040.

Fernández R., N. Peinemann, E. Noellemeyer, A Quiroga. 2006. Efecto de la cobertura sobre la resistencia y la temperatura del suelo en la región semiárida pampeana. XX Congreso argentino de la ciencia del suelo. Salta, Jujuy.

Fox R H, Bandel V A. 1986. Nitrogen utilization with no-tillage. En Sprage M A, Triplett G B (Eds.) No-tillage and surface-tillage agriculture. The tillage revolution. John Wiley and Sons, New York, New York, EEUU. p. 117-148.

Garnier, P., Cambier, C., Bousso, M., Masse, D., Chenu, C., Recous, S. 2008. Modeling the influence of soil-plant residue contact on carbon mineralization: Comparison of a compartmental approach and a 3D spatial approach. *Soil Biology and Biochemistry.* Elsevier Ltd. 40, 2754–2761.

Goldman V., Echeverría HE., Andrade FH., Uhart S. 2002. Incidencia de la fertilización nitrogenada sobre la concentración de nutrientes en maíz. *Ciencia del Suelo* 20 (1) 27, 2002.

Johnson M., B. Lowery. 1985. Effect of three conservation tillage practices on soil temperature and thermal properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:1547-1552.

Kalbitz, K. 2003. Biodegradation of soil-derived dissolved organic matter as related to its properties.

Kristensen, H., Debosz, K., McCarty, G. 2003. Short-term effects of tillage on mineralization of nitrogen and carbon in soil. *Soil Biology and Biochemistry*. 35, 979–986.

Lopez M., J. Arrue. 1997. Growth, yield and water use efficiency of winter barley in response to conservation tillage in a semi-arid region of Spain. *Soil & Till. Res.* 44, 35–54.

Molina, J. a. E., Clapp, C.E., Allmaras, R.R., Layese, M.F. 2005. Simulation of nitrogen rhizodeposition.

Peter ED., Alvarez R., Lemcoff JH., Canova D. 1986. Efecto de los procesos de inmovilización y mineralización en el suelo sobre la determinación isotópica del aprovechamiento de fertilizante nitrogenado en maíz. *Ciencia del Suelo* Vol. 4 n°1 pag. 88, 1986. and assimilation back into corn (*Zea mays* L.) roots. *Soil Biology and Biochemistry*. 37, 93–100.

Picone, L.I.; M.L. Cabrera y A.J. Franzluebbers. 2002. A rapid method to estimate potentially mineralizable nitrogen in soil. *Soil Science Society of America Journal*, 66(6):1843–1847.

Quiroga. 2002. Aspectos de la evolución y el manejo de los suelos en la región semiárida pampeana. Publicación técnica n° 69, abril de 2007. EEA Anguil INTA.

Quiroga A., M. Saks, R. Fernández, D. Funaro y A. Bono. 2006. Informe de avance. Módulo investigación de larga duración. Proyecto fertilizar.

Rice & Smith. 1984. MOMENTO DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA DE CULTIVOS DE MAÍZ EN HAPLUDOLES TÍPICOS. *Ciencia del suelo* 23 (2) 197-203, 2005.

Sainz Rozas H. y H. Echeverría. 1998. Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento en grano. *Rev. Fac. Agron. La Plata* 103 (1):37-44.

Sainz Rozas HR, Echeverría HE, Studdert GA, Domínguez G. 2000. Evaluation of presidedress soil nitrogen test for no-tillage maize fertilized at planting. *Agron. J.* (en prensa).

Saks M., R. Fernández, A. Gili, A. Quiroga. 2012. Efecto de la fertilización nitrogenada en distintos genotipos de maíz en la región semiárida pampeana. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.

Schmidt, B.H.M., Kalbitz, K., Braun, S., Fub, R., McDowell, W.H., Matzner, E. 2011. Microbial immobilization and mineralization of dissolved organic nitrogen from forest floors. *Soil Biology and Biochemistry*. Elsevier Ltd. 43, 1742–1745.

Soane, B.D., Ball, B.C., Arvidsson, J., Basch, G., Moreno, F., Roger-Estrade, J. 2011. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil and Tillage Research*.

Uhaldegaray M. 2012. Cultivo de cobertura como antecesor del cultivo de maíz en la región semiárida pampeana. Tesis de grado para obtener el título de Ing. Agrónomo. UNLPam.

Uhart, S.A.; Andrade, F.H. (1995 a). Nitrogen deficiency in maize (*Zea mays*L.). I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning and kernel set. *Crop Sci*. 35:1376-1383.

Uhart, S.A.; Andrade, F.H. (1995 b). Nitrogen and carbon accumulation and remobilization during grain filling in maize under different source/sink ratios. *Crop Sci*. 35:183-190.