

EFFECTO DEL SISTEMA DE LABRANZA Y LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA SOBRE EL RENDIMIENTO DE MAÍZ (*Zea mays* L.) EN UN HAPLUSTOL ÉNTICO DE LA REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA

EFFECT OF TILLAGE AND NITROGEN FERTILIZATION ON CORN YIELD (*Zea mays* L.) IN AN ENTIC HAPLUSTOL OF THE SEMIARID PAMPA.

Civalero A.¹, G. Kolman¹, R. Fernández^{1,2} & E. Noellemeyer^{1*}

Recibido 11/06/13
Aceptado 3/11/14

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) en siembra directa (SD) y en siembra convencional (SC). Para ello se llevó a cabo un ensayo a campo en parcelas divididas en el cual el factor principal era sistema de labranza (SD, SC) y el factor secundario la dosis de fertilización nitrogenada (0, 60, 120 y 180 kg.ha⁻¹). La determinación de humedad y de los contenidos de nitrógeno de nitratos en el suelo se realizó en intervalos de 20 cm hasta los 60 cm de profundidad. Los momentos de muestreo fueron en V2 (16/12), V6 (15/1), floración (11/2) y madurez fisiológica (28/4). La fertilización no afectó los rendimientos de maíz en SD cuando las dosis fueron bajas, pero a altas dosis los rendimientos fueron significativamente mayores. En SC los rendimientos variaron significativamente ante menores dosis. Los rendimientos fueron mayores en SD que en SC, comparando los mismos tratamientos de fertilización. Esto se pudo explicar ya que en siembra directa habría mayores contenidos hídricos, mayor mineralización del nitrógeno y menores pérdidas de este elemento por lixiviación.

PALABRAS CLAVE: siembra directa, maíz, nitratos, fertilización.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of nitrogen (N) fertilization on corn grain yield (*Zea mays* L.) under zero tillage (SD) and conventional tillage (SC). For this purpose, a field assay using a split-plot experimental design was carried out relying on tillage system (SD, SC) as main factor and N fertilization rate (0, 60, 120, 180 kg N/ha) as secondary factor. Soil moisture and nitrate-N contents were determined at 20 cm intervals to a depth of 60 cm. This followed sampling done at crop phenological stages V2 (16 December), V6 (15 January), flowering (11 February) and physiological maturity (28 April). For SD system, corn yield was not affected by N fertilization at low rates but differed significantly at high rates, while yields for SC were different even at low rates. Considering the same fertilization treatments, yields for SD were always higher than those for SC. These results might be explained by the higher moisture contents and mineralization rates, and lower N lixiviation losses, for soil under SD system.

KEY WORDS: zero tillage, corn, nitrate, fertilization

INTRODUCCIÓN

El área sembrada con maíz (*Zea mays* L.) bajo el sistema de 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 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 ines-

¹ Facultad de Agronomía. UNLPam. * noellemeyer@agro.unlpam.edu.ar

² EEA INTA Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas"

table frente a situaciones de estrés, especialmente en el período de floración. Una limitante importante para la producción de maíz es el contenido de N en el suelo y, debido a las altas cantidades requeridas, es frecuente observar deficiencias de este nutriente que afectan su crecimiento vegetativo (Uhart & Andrade, 1995a) y reproductivo (Uhart & Andrade, 1995b). El uso de labranzas conservacionistas y en particular la 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 (Alvarez & Steinbach, 2009).

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 N y fósforo (P). 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. Por lo tanto en siembra directa, la fertilización nitrogenada con dosis mayores es una práctica necesaria para la obtención de similares rendimientos que bajo labranza convencional (Alvarez & Steinbach, 2009), por lo menos durante los primeros años de implementada dicha técnica. Sin embargo, a largo plazo la SD tiende a favorecer la acumulación de carbono en el suelo (Fernández *et al.*, 2010; López *et al.*, 2012), y sobre todo en las fracciones más lábiles y por ende también tiene efectos positivos sobre las propiedades físicas del suelo (Quiroga *et al.*, 2014; Zotarelli *et al.*, 2007). Por otra parte, algunos autores también encontraron mayor disponibilidad de N en suelo con larga historia de SD (Bayer *et al.*, 2006; Bono & Alvarez, 2013; Hernanz *et al.*, 2014; Lyon *et al.*, 1998).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la productividad del cultivo de maíz en dos sistemas de labranzas contrastantes, y el efecto de la fertilización en un suelo con larga historia de siembra directa comparado con labranza convencional.

MATERIALES Y MÉTODOS

La subregión de la planicie medanosa (PM) abarca aproximadamente 920.000 has 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 Ck) se estableció en agosto de 1993 un ensayo de evaluación de sistemas de labranzas.

La secuencia de cultivos implantados en SD y SC desde 1993 hasta 2009 fue: girasol (*Helianthus annuus* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.), avena (*Avena sativa* L.), maíz, girasol, trigo, 4 años de pastura alfalfa (*Medicago sativa* L.) con festuca (*Festuca arundinacea* Schreb.), soja (*Glicine max* (L.) Merr.), girasol, maíz, soja, soja, maíz, centeno (*Secale cereale* L.) y maíz donde se desarrolló el ensayo. La duración total del ensayo comparativo de labranzas fue de 16 años en el momento de implementar el experimento del presente trabajo.

El presente ensayo consistió en un factorial 2x4 con dos niveles del factor sistema de siembra (SD y SC) y, cuatro niveles de fertilización nitrogenada (0, 60, 120, 180 KgN.ha⁻¹), aplicados como urea al voleo sobre la superficie del suelo. Los sistemas de siembra se dispusieron en franjas apareadas (15 m por 200 m) con tres repeticiones, y los niveles de fertilización se dispusieron en bloques aleatorizados completos con cuatro repeticiones en cada franja.

El cultivar de maíz Sursen 565 MGrr, se sembró el 4 de diciembre de 2009 con un distanciamiento de 52 cm y una densidad de logro de 3,5 plantas/m lineal (67.307 pl.ha⁻¹), luego de un barbecho de aproximadamente 2 meses (octubre, noviembre).

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) se realizaron también en intervalos de 20 cm hasta los 60 cm de profundidad. Los momentos de muestreo fueron V2 (16/12, próximo a la siembra), V6 (15/1), floración (11/2) y madurez fisiológica (28/4).

Los resultados de humedad se expresaron como agua total en mm y como agua útil, siendo esta última la diferencia entre agua total y punto de marchitez permanente (PMP) El contenido de agua en PMP se determinó mediante un equipo

de olla de presión y placas cerámicas para 15 bares en muestras disturbadas tomadas a intervalos de 20 cm hasta 140 cm de profundidad. Una vez alcanzado el equilibrio las muestras fueron pesadas y llevadas a estufa (105°C) hasta peso constante. 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 la cosecha. Para transformar los contenidos hídricos a mm de agua se utilizó la densidad aparente de cada intervalo de profundidad del suelo en ambos sistemas de labranza (Quiroga *et al.*, 2009). Además se determinó la eficiencia en la utilización del agua (EUA kg grano/mm ha), mediante el cociente entre el grano producido y el UC (mm).

El rendimiento en granos del cultivo de maíz se determinó en estadios de madurez fisiológica por cosecha manual de 2 m² y trilladora estacionaria. Las precipitaciones se registraron mediante una estación agrometeorológica instalada en el ensayo. Los registros entre el mes de junio y la fecha de siembra del cultivo fueron 182 mm, de los cuales los más importantes ocurrieron en septiembre con 66 mm y en noviembre con 100 mm (Figura 1). Los datos de textura, carbono (C), N total, P disponible (Tabla 1) y de las fracciones de C (Tabla 2) de los suelos del ensayo

Tabla 1: Contenidos de arcilla+limo, carbono, nitrógeno total y fósforo disponible en siembra convencional (SC) y siembra directa (SD) a 0-10 y 10-20 cm de profundidad.

Table 1: Clay+silt, carbon, total nitrogen and available phosphorous contents in conventional (SC) and zero tillage (SD) at 0-10 and 10-20 cm depth.

| Sistema de labranza | Arcilla + limo (%) | | Carbono (Tn.ha ⁻¹) | | Nitrógeno total (kg.ha ⁻¹) | | Fósforo (kg.ha ⁻¹) | |
|---------------------|--------------------|--------|--------------------------------|--------|----------------------------------------|--------|--------------------------------|--------|
| | Profundidad (cm) | | | | | | | |
| | 0-10 | 10-20 | 0-10 | 10-20 | 0-10 | 10-20 | 0-10 | 10-20 |
| SC | 47,8 a | 47,8 a | 13,2 b | 14,4 b | 1243 b | 1275 a | 22,8 b | 17,6 b |
| SD | 43,3 b | 43,8 b | 16,6 a | 15,0 a | 1446 a | 1302 a | 40,0 a | 29,6 a |

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (p≤0,001)
Adaptado de Quiroga *et al.* (2009)

Tabla 2: Contenidos de carbono (C) <50, 50-100 y 100-2000 µm en siembra directa (SD) y siembra convencional (SC) a 0-10 y 10-20 cm de profundidad.

Table 2: Carbon fractions (C) <50, 50-100 y 100-2000 µm in conventional (SC) and zero tillage (SD) at 0-10 and 10-20 cm depth.

| Sistema de labranza | Fracción de Carbono (Tn.ha ⁻¹) | | | | | |
|---------------------|--------------------------------------------|--------|-----------|-------|-------------|-------|
| | <50 µm | | 50-100 µm | | 100-2000 µm | |
| | Profundidad (cm) | | | | | |
| | 0-10 | 10-20 | 0-10 | 10-20 | 0-10 | 10-20 |
| SC | 9.2 b | 11.0 a | 1.8 b | 1.5 a | 2.2 b | 1.8 a |
| SD | 11.3 a | 11.2 a | 2.2 a | 1.5 a | 3.0 a | 2.2 a |

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (p≤0,001)
Adaptado de Quiroga *et al.* (2009)

en ambos sistemas de labranza se extrajeron y adaptaron de Quiroga *et al.* (2009)

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

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Agua útil

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 3). Si bien las precipitaciones registradas previamente a la siembra fueron considerables (Figura 1), las mismas recargaron el perfil hasta los 60-80 cm de profundidad (Figura 2). A partir de los 80 cm de profundidad el suelo 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 (Tabla 3), si bien el sistema en SD presentó mayor contenido de agua útil, esta diferencia fue menor que la encontrada anterior-

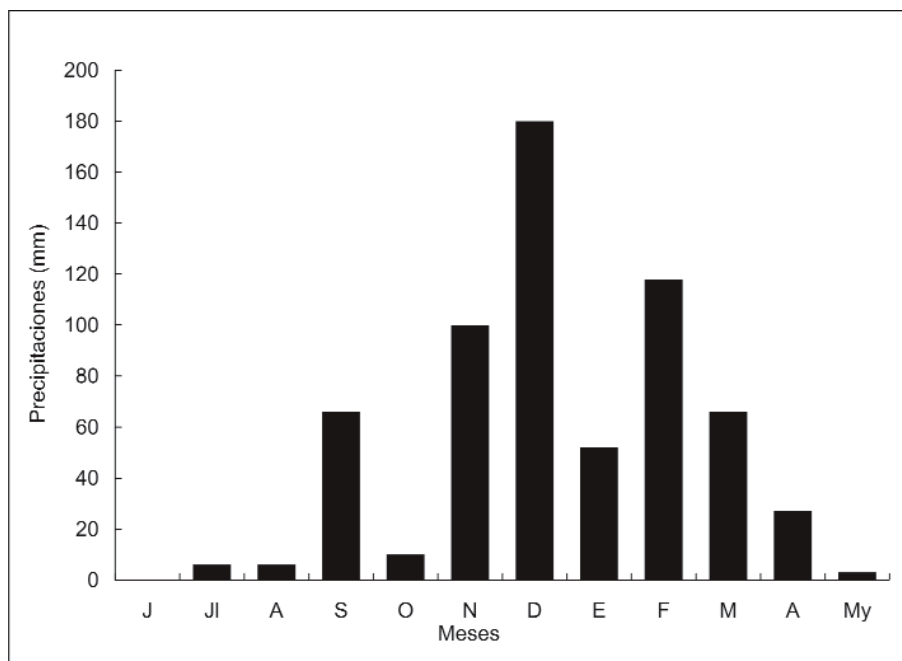


Figura 1: Lluvias ocurridas desde junio de 2009 a mayo de 2010.

Figure 1: Rainfall between June 2009 and May 2010.

mente (17 y 6 mm respectivamente). A madurez fisiológica los suelos de los tratamientos SC testigo, SD testigo y SD fertilizado contenían agua útil hasta los 60 cm de profundidad, mientras que el perfil de SC fertilizado se encontró con contenidos hídricos por debajo del punto de marchitez permanente. Tanto para la siembra, como en V6 y floración, en el tratamiento testigo las diferencias en los contenidos de agua a favor del sistema en SD fueron significativas. Mientras que en madurez fisiológica no hubo diferencias entre las labranzas. Para el tratamiento que recibió la mayor fertilización (180 kg de N.ha⁻¹), al momento de V6 el sistema en SD se encontraba con mayor contenido de agua (44 mm) que en SC y presentó 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.

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. Estos disminuyen la temperatura del suelo y las pérdidas por evaporación, como también reducen el escurrimiento del agua (Fernández *et al.*, 2008).

Uso consuntivo y eficiencia de uso de agua del cultivo de maíz

El UC del cultivo fue similar en ambos sistemas de labranzas y tratamientos de fertilización, y no presentó diferencias significativas (Figura 4), indicando que la evapotranspiración del cultivo de maíz no fue afectada por la fertilización nitrogenada.

En relación a la EUA se encontraron valores que variaron entre 14 kg/mm ha para SC testigo y 27 kg/mm ha en el caso del tratamiento SD fertilizado, presentando diferencias altamente significativas entre estos dos tratamientos (Figura 4). La fertilización nitrogenada permitiría incrementar la EUA del cultivo de maíz, afectando en menor medida al UC. Otros resultados

Tabla 3: Agua total hasta 140 cm de profundidad en tratamiento testigo (T) y N180 (F), a la siembra, V6, floración y madurez fisiológica (M.F.).

Table 3: Total soil moisture to 140 cm depth in control (Y) and fertilized with 180 kg N/ha (F) treatments at planting, V6, flowering and physiological maturity.

| Sistema de Labranza | Humedad (mm) | | | | | | | |
|---------------------|--------------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|--|
| | Siembra | V6 | | Floración | | M.F. | | |
| | | T | F | T | F | T | F | |
| SC | 148 b | 173 b | 162 b | 110 b | 117 b | 123 a | 86 b | |
| SD | 173 a | 225 a | 206 a | 127 a | 123 a | 129 a | 140 a | |

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas entre labranzas ($p \leq 0,05$)

en la región semiárida pampeana demuestran que la EUA se incrementó en un 59 y 81% en los genotipos ciclo corto y ciclo largo por efecto de la fertilización nitrogenada. No obstante, la fertilización no modificó el UC de cada genotipo. Fernández *et al.*, (2012) y Uhaldegaray (2012) obtuvieron similares resultados, con incrementos de la EUA como resultado de la fertilización nitrogenada.

Contenidos de nitratos en el suelo:

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 4). En V6 en ambos sistemas de labranzas, se observó que a mayor nivel de fertilización dentro de cada labranza se encuentran mayores niveles de $N-NO_3^-$ en el suelo (Tabla 4). En este mismo estadio se hallaron mayores valores de $N-NO_3^-$ en SD para los tra-

Tabla 4: Contenido de $N-NO_3^-$ en siembra directa (SD) y siembra convencional (SC) a la siembra, en V6 y floración del cultivo de maíz.

Table 4: Nitrate-nitrogen contents in zero (SD) and conventional (SC) tillage at planting, V6 and flowering of corn.

| Tratamientos | Siembra (4/12/09) | | V6 (21/01/10) | | | | Floración (11/02/10) | |
|--------------|-------------------|--------|---------------|--------|--------|--------|----------------------|--|
| | 0 | 60 | 120 | 180 | 0 | 180 | | |
| SC | 55.2 a | 3.3 b | 7.9 b | 18.6 a | 33.1 a | 16.3 a | 42.4 a | |
| SD | 46.3 a | 11.6 a | 16.1 a | 21.3 a | 24.3 a | 12.6 a | 31.0 a | |

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas entre labranzas ($p \leq 0,05$)

tamientos testigo y $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N, mientras que con mayor nivel de fertilización (120 y 180 kg/ha) se anulaban las diferencias entre sistemas de labranza.

En general los valores de $N-NO_3^-$ fueron bajos, lo cual se podría atribuir al consumo por parte del cultivo y al proceso de lixiviación debido a las precipitaciones registradas entre V2 y V6. Los mayores valores de $N-NO_3^-$ en SD testigo entre la siembra y V6 se podrían explicar por la mineralización de residuos y de materia orgánica en este sistema de labranza (Cookson *et al.*, 2005; Garnier *et al.*, 2008; Kalbitz, 2003; Schmidt *et al.*, 2011), ya que Bono & Alvarez (2013) encontraron mayores tasas de mineralización en suelos bajo SD de esta región que en labranza convencional. El suelo de las parcelas en SD también tuvo contenidos mayores de C lábil ($> 100 \mu\text{m}$) que el de SC hasta los 20 cm de profundidad (Tabla 2). Esta fracción de carbono estaría directamente relacionado con el nitrógeno potencialmente mineralizable (Ros *et al.*, 2011). En los tratamientos fertilizados, y especialmente a altas dosis del elemento es probable que haya inmovilización por parte de los microorganismos en los suelos bajo SD (Kristensen *et al.*, 2003). 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.

En el período de floración, el tratamiento testigo no presentó diferencias significativas en los contenidos de $N-NO_3^-$ entre SC y SD ($16,3$ y $12,6 \text{ Kg N-NO}_3^- \cdot \text{ha}^{-1}$ respectivamente), y lo

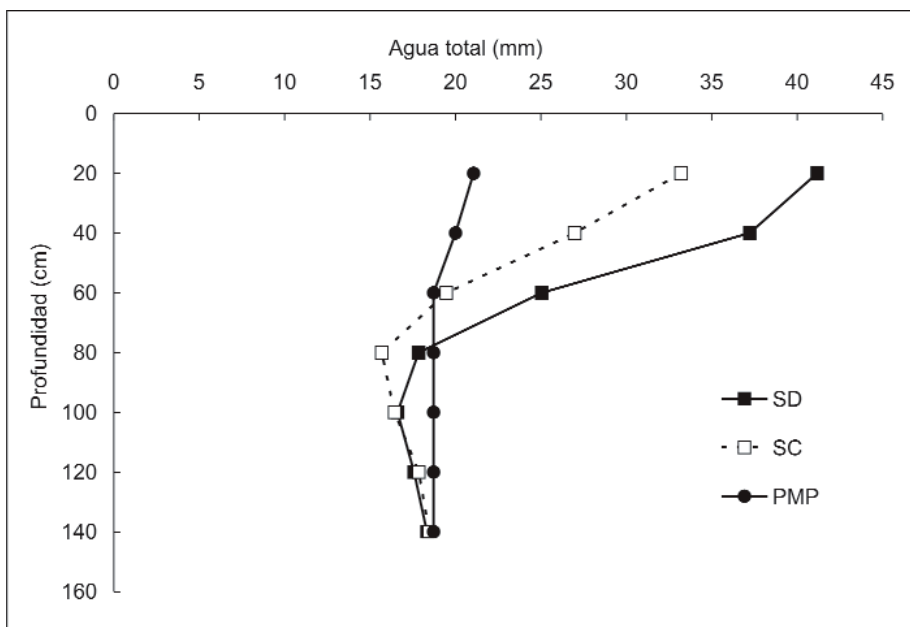


Figura 2: Perfil de humedad a la siembra de maíz en siembra directa (SD) y siembra convencional (SC), indicando el punto de marchitez permanente (PMP).

Figure 2: Soil moisture profile at planting of corn in zero (SD) – and conventional (SC) tillage, indicating the permanent wilting point (PMP).

mismo se observó para el tratamiento 180 kg N/ha con valores de 42,4 y 31 kg N-NO₃⁻.ha⁻¹ para SC y SD respectivamente.

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

En ambos tratamientos, SD y SC, a la siembra del cultivo de maíz no se encontraron diferencias significativas, sin embargo el suelo bajo SC tuvo aproximadamente 10 kg N-NO₃⁻.ha⁻¹ más que bajo SD, diferencia que posiblemente reflejó la mayor tasa de inmovilización microbiana de N en el sistema conservacionista, proceso que ha sido demostrado por varios estudios en sistemas que retienen mucha biomasa en la superficie del suelo (Cookson *et al.*, 2005; Helgason *et al.*, 2010; Molina *et al.*, 2005).

En las muestras obtenidas en V6 se observó una menor concentración de N-NO₃⁻ en el suelo, comparado con las obtenidas a la siembra del cultivo. Esta disminución es significativamente mayor en SC y en los tratamientos 0 y 60 kg.ha⁻¹

¹ de N, y reflejaría el aumento del consumo del cultivo en esta etapa fenológica. Esto también podría relacionarse con las altas precipitaciones ocurridas entre el momento de fertilización y la toma de muestras, que habrían producido la lixiviación de N-NO₃⁻. En SD los valores se mantuvieron más estables, indicando posiblemente tasas mayores de mineralización de este elemento en concordancia con los resultados de estudios anteriores en esta región (Bono & Alvarez, 2013). En floración, en cambio se observó un aumento en la concentración con respecto a la fecha anterior de muestreo, reflejando la disminución en el consumo de parte del cultivo en esta etapa fenológica. Los valores de N-NO₃⁻ en SD y SC no fueron significativamente diferentes, aunque se observaron diferencias tanto en testigo como en el fertilizado con mayores contenidos en SC.

En forma general se observó que en SD el contenido de N-NO₃⁻ a siembra fue bajo, pero a lo largo del ciclo del cultivo hubo un aporte de

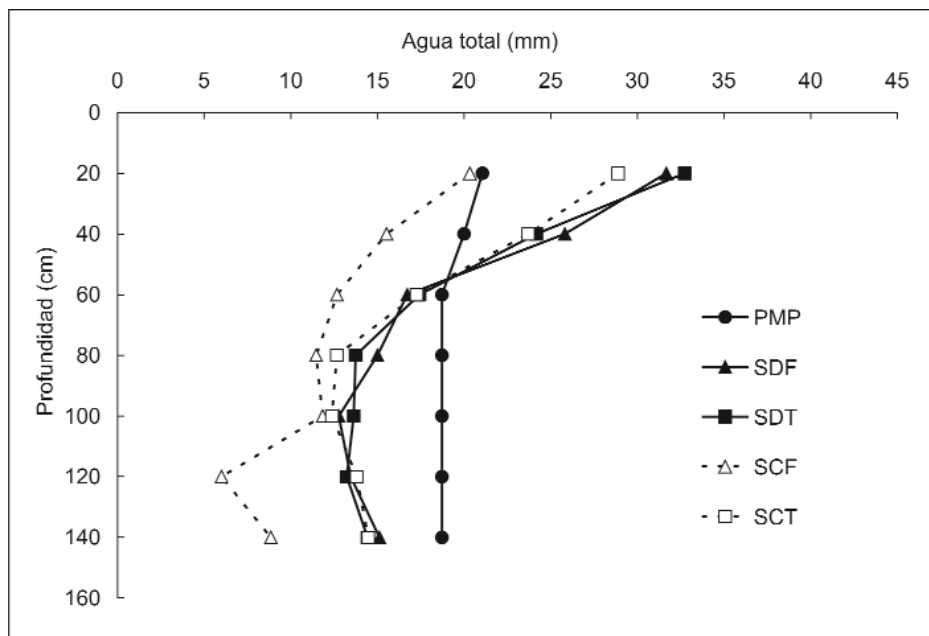


Figura 3: Perfil de humedad a madurez fisiológica de maíz en siembra directa testigo (SDT) y fertilizado (SDF) y siembra convencional testigo (SCT) y fertilizado (SCF).

Figure 3: Soil moisture profile at physiological maturity of corn in zero tillage control (SDT) – and fertilized (SDF) and conventional tillage control (SCT) and fertilized (SCF).

N-NO₃⁻ más continuo, mientras que en SC las diferencias a lo largo del ciclo fueron más marcadas. Este comportamiento podría explicarse por la acumulación de materia orgánica lábil a través de los años en SD (Tabla 2, Fernández *et al.*, 2010). La provisión de N disponible mediante la mineralización de materia orgánica también podría explicar la menor respuesta a la fertilización 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.*, 2011), en este ensayo de larga duración el suelo bajo SD aparentemente tuvo mayor capacidad de mineralización de N. Similares resultados han sido obtenidos en ensayos de larga duración de

SD en esta y otras regiones (Alletto *et al.*, 2011; Alvarez & Steinbach, 2009; Álvaro-Fuentes *et al.*, 2009; Bono & Alvarez, 2013).

Rendimiento del cultivo de maíz

En la Tabla 5 se presentan los rendimientos de maíz para cada labranza y en los distintos tratamientos de fertilización con nitrógeno. Se ob-

Tabla 5: Rendimiento de maíz (kg.ha⁻¹) en tratamientos testigo (T) y tratamientos fertilizados con 60, 120 y 180 kg N.ha⁻¹.

Table 5: Corn yield (kg.ha⁻¹) in control (T) and fertilized with 60, 120 and 180 kg N.ha⁻¹ treatments.

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

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

servaron diferencias significativas de rendimiento entre los sistemas de labranza solo en los tratamientos T y 60. El sistema en SD presentó 2893, 2655, 1305 y 1180 kg.ha⁻¹ más que en SC,

nibilidad de agua y N que favorece la absorción de N mineralizado y la productividad del cultivo de maíz (Kim *et al.*, 2008). Estas diferencias en el comportamiento del cultivo en los dos siste-

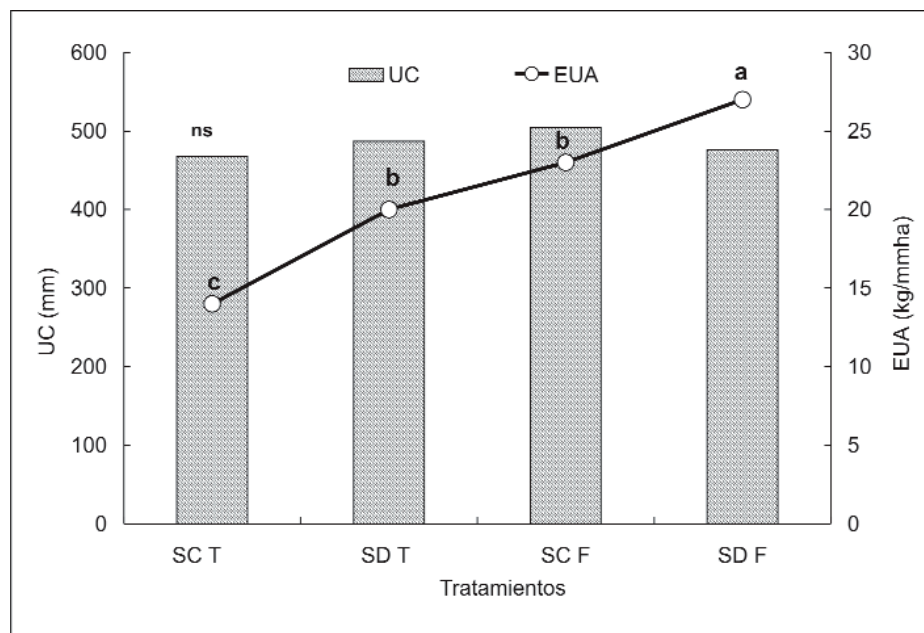


Figura 4: Uso consuntivo (UC) y eficiencia en el uso del agua (EUA) para siembra convencional (SC) y directa (SD), testigo (T) y fertilizado (F).

Figure 4: Consumptive water use (UC) and water use efficiency (EUA) of corn for conventional (SC) and zero (SD) tillage, control (T) and fertilized (F).

para los tratamientos de T, 60, 120 y 180 respectivamente. Esta ventaja de SD frente a SC estaría relacionado con la mayor disponibilidad de agua en este sistema (Tabla 3) lo cual dio lugar a mayores eficiencias de uso de agua (Figura 4). Otros estudios han reportado similares resultados para sistemas de SD en esta región (Fernandez *et al.*, 2008; Noellemeyer *et al.*, 2013).

El cultivo de maíz en SC presentó un incremento en el rendimiento de 1480, 3164 y 5026 kg.ha⁻¹ con respecto al testigo, para las dosis de 60, 120 y 180 kg de N/ha respectivamente. En el sistema en SD el rendimiento de grano con respecto al testigo fue de 1242, 1576 y 3313 kg.ha⁻¹ para las dosis de 60, 120 y 180 kg de N/ha respectivamente. Algunos autores han señalado que existe un sinergismo entre la dispo-

mas de labranza indicaría que la respuesta en SC es una función lineal de la dosis de N mientras que en SD esta curva está por debajo y presenta un quiebre (Figura 5). Este comportamiento diferencial de la respuesta a la fertilización entre sistemas de labranza, requiere nuevos estudios para redefinir los umbrales de suficiencia y respuesta para suelos con larga trayectoria en SD.

CONCLUSIONES

El cultivo de maíz respondió a la fertilización nitrogenada con mayores rendimientos de grano. En SD solamente respondió a la dosis más alta de fertilización nitrogenada, mientras que en SC la respuesta fue significativa en dosis menores.

El efecto de SD luego de más de 15 años, fue mejorar la disponibilidad de agua y de N para el

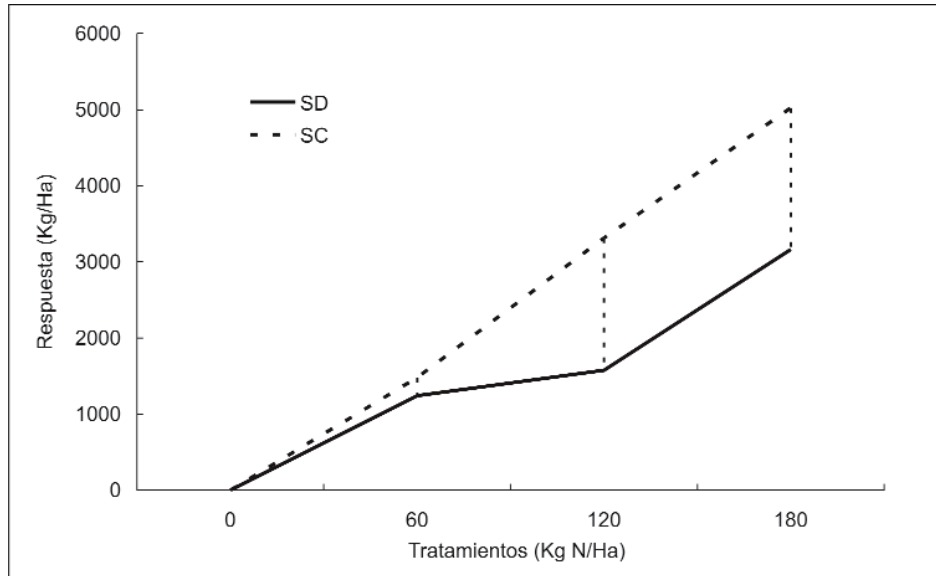


Figura 5: Respuesta en términos de rendimiento del cultivo de maíz a la fertilización nitrogenada en siembra directa (SD) y convencional (SC)

Figure 5: Yield response of corn to nitrogen fertilization in zero (SD) – and conventional (SC) tillage.

cultivo, resultando en un sinergismo que produjo mayores rendimientos en este sistema, contrariamente a lo que ocurre durante los primeros años de siembra directa.

BIBLIOGRAFÍA

- AAPRESID. 2003. Revista de la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa. 66: 34.
- Alletto L., Y. Coquet & E. Justes. 2011. Effects of tillage and fallow period management on soil physical behaviour and maize development. *Agric. Water Manag.* 102: 74-85.
- Alvarez R. & H.S. Steinbach. 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 Tillage Res.* 104: 1-15.
- Álvaro-Fuentes J., J. Lampurlanés & C. Cantero-Martínez. 2009. Alternative Crop Rotations under Mediterranean No-Tillage Conditions: Biomass, Grain Yield, and Water-Use Efficiency. *Agron. J.* 101: 1227.
- Bayer C., L. Martin-Neto, J. Mielniczuk, J. Dieckow & T.J.C. Amado. 2006. C and N stocks and the role of molecular recalcitrance and

organomineral interaction in stabilizing soil organic matter in a subtropical Acrisol managed under no-tillage. *Geoderma* 133: 258-268.

- Bono A. & R. Alvarez. 2013. Nitrogen mineralization in a coarse soil of the semi-arid Pampas of Argentina. *Arch. Agron. Soil Sci.* 59: 259-272.
- Cookson W.R., D.A. Abaye, P. Marschner, D.V. Murphy, E.A. Stockdale & K.W.T. Goulding. 2005. The contribution of soil organic matter fractions to carbon and nitrogen mineralization and microbial community size and structure. *Soil Biol. Biochem.* 37: 172-1737.
- 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. *Agric. Water Manag.* 95: 1028-1040.
- Fernández R., A. Quiroga, C. Zorati & E. Noellemeyer. 2010. Carbon contents and respiration rates of aggregate size fractions under no-till and conventional tillage. *Soil Tillage Res.* 109: 103-109.
- Fernández R., M. Saks, M. Uhaldegaray, A. Qui-

- roga & E. Noellemeyer. 2012. A study of the contribution of cover crops to nitrogen supply for corn full version, in: 19TH TRIENNIAL ISTRO CONFERENCE.
- Garnier P., C. Cambier, M. Bousso, D. Masse, C. Chenu & S. Recous. 2008. Modeling the influence of soil-plant residue contact on carbon mineralization: Comparison of a compartmental approach and a 3D spatial approach. *Soil Biol. Biochem.* 40: 2754-2761.
- Helgason B.L., F.L. Walley & J.J. Germida. 2010. No-till soil management increases microbial biomass and alters community profiles in soil aggregates. *Appl. Soil Ecol.* 46: 390-397.
- Hernanz J.L., V. Sánchez-Girón, L. Navarrete & M.J. Sánchez. 2014. Long-term (1983-2012) assessment of three tillage systems on the energy use efficiency, crop production and seeding emergence in a rain fed cereal monoculture in semiarid conditions in central Spain. *F. Crop. Res.* 166: 26-37.
- Kalbitz K. 2003. Biodegradation of soil-derived dissolved organic matter as related to its properties. *Geoderma* 113: 273-291.
- Kim K.I., D.E. Clay, C.G. Carlson, S. Clay & T. Troien. 2008. Do Synergistic Relationships between Nitrogen and Water Influence the Ability of Corn to Use Nitrogen Derived from Fertilizer and Soil?. *Agron. J.* 100: 551.
- Kristensen H., K. Deboz & G. McCarty. 2003. Short-term effects of tillage on mineralization of nitrogen and carbon in soil. *Soil Biol. Biochem.* 35: 979-986.
- López M.V., N. Blanco-Moure M.A. Limón & R. Gracia. 2012. No tillage in rainfed Aragon (NE Spain): Effect on organic carbon in the soil surface horizon. *Soil Tillage Res.* 118: 61-65.
- Lyon D.J., W.W. Stroup & R.E. Brown. 1998. Crop production and soil water storage in long-term winter wheat-fallow tillage experiments. *Soil Tillage Res.* 49: 19-27.
- Molina J.E., C.E. Clapp, R.R. Allmaras & M.F. Layese. 2005. Simulation of nitrogen rhizodeposition and assimilation back into corn (*Zea mays* L.) roots. *Soil Biol. Biochem.* 37: 93-100.
- Noellemeyer E., R. Fernández & A. Quiroga. 2013. Crop and Tillage Effects on Water Productivity of Dryland Agriculture in Argentina. *Agriculture* 3: 1-11.
- Quiroga A., R. Fernández, M. Louise, I. Frasier & E. Noellemeyer. 2014. Efectos acumulados del manejo durante 20 años sobre un molisol de la region semiárida. In: XXIV Congreso Argentino de La Ciencia Del Suelo II Reunión Nacional "Materia Orgánica Y Sustancias Húmicas".
- Quiroga A., R. Fernández & E. Noellemeyer. 2009. Grazing effect on soil properties in conventional and no-till systems. *Soil Tillage Res.* 105: 164-170.
- Ros G.H., M.C. Hanegraaf, E. Hoffland & W.H. van Riemsdijk. 2011. Predicting soil N mineralization: Relevance of organic matter fractions and soil properties. *Soil Biol. Biochem.* 43: 1714-1722.
- Schmidt B.H.M., K. Kalbitz, S. Braun, R. Fuß, W.H. McDowell & E. Matzner. 2011. Microbial immobilization and mineralization of dissolved organic nitrogen from forest floors. *Soil Biol. Biochem.* 43: 1742-1745.
- Soane B.D., B.C. Ball, J. Arvidsson, G. Basch, F. Moreno & J. Roger-Estrade. 2012. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil Tillage Res.* 118: 66-87.
- 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. & F.H. Andrade. 1995a. Nitrogen and carbon accumulation and remobilization during grain filling in maize under different source/ sink ratios. *Crop Sci.* 35:183-190.
- Uhart S.A. & F.H. Andrade. 1995b. Nitrogen deficiency in maize: I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning, and kernel set. *Crop Sci.* 35: 1376-1383.
- Zotarelli L., Alves, B.J.R., Urquiaga, S., Boddey, R.M. & J. Six. 2007. Impact of tillage and crop rotation on light fraction and intra-aggregate soil organic matter in two Oxisols. *Soil Tillage Res.* 95: 196-206.