

Efecto del fertirriego y labranza de conservación en propiedades del suelo y el rendimiento de maíz*

Effect of fertigation and conservation tillage on soil properties and maize yield

Miguel Ángel Martínez Gamiño^{1§}, Cesario Jasso Chaverria², Esteban Salvador Osuna Ceja³, Luis Reyes Muro³, Jesús Huerta Díaz⁴ y Benjamín Figueroa Sandoval⁵

¹Campo Experimental San Luis-INIFAP. Santos Degollado 1015-A, Col. Cuauhtémoc, 78287, San Luis Potosí, S.L.P., México. Tel. 444 852 4316. ²Investigador en INIFAP hasta diciembre 31, 2011. Tel. 444 842 7650. (jassocch@gmail.com). ³Campo Experimental Pabellón. Carretera Aguascalientes-Zacatecas, km 32.5, Pabellón de Arteaga, C. P. 20600. Pabellón de Arteaga, Aguascalientes. Tel. 465 498 0186 y 465 498 0186. (osuna.salvador@inifap.gob.mx; reyes.luis@inifap.gob.mx). ⁴Facultad de Agronomía-UASLP. Carretera San Luis Potosí, km 14.5, Matehuala, Ejido Palma de la Cruz, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, S.L.P. A. P. 32, C. P. 78321. Tel. 444 852 4057. (huerta.jesus@uaslp.edu). ⁵Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco, km 35.5. C. P. 56230. Montecillo, Texcoco, Estado de México. Tel. 496 963 0498. (benjamin@colpos.mx). [§]Autor para correspondencia: martinez.miguelangel@inifap.gob.mx.

Resumen

Durante el ciclo agrícola primavera-verano de 2009-2011 se realizaron trabajos de investigación en el Campo Experimental San Luis del INIFAP con el objetivo de evaluar el efecto del fertirriego y labranza de conservación en algunas propiedades del suelo y el rendimiento de maíz. Se evaluaron tres niveles de nitrógeno: 200, 300 y 400 kg ha⁻¹ y dos para potasio: 100 y 200 kg ha⁻¹. La preparación del suelo se realizó con el sistema de labranza de conservación. Se utilizó el maíz H-358. El diseño experimental fue bloques al azar con cuatro repeticiones. Durante el desarrollo del cultivo se realizaron muestreos de planta para determinar la concentración de nutrientes en el tejido vegetal y generar las curvas de extracción de NPK. Se realizaron muestreos de suelo para determinar el porcentaje de materia orgánica y la biomasa microbiana. Se determinó la velocidad de infiltración y resistencia mecánica del suelo. Al final de cada ciclo, se evaluó el rendimiento de grano y sus componentes. Al aplicar la dosis tradicional de fertilización a través del riego por goteo y dosificada por etapa fenológica y con labranza de conservación se incrementó 35% el rendimiento de maíz en relación con la fertilización al suelo, riego por gravedad y labranza tradicional. Se obtuvieron las curvas de extracción de NPK, herramienta básica para realizar una adecuada fertilización, acorde a las necesidades del cultivo por etapa fenológica.

Abstract

During the spring-summer agricultural cycle of 2009-2011 research was conducted in the Experimental Station San Luis from INIFAP in order to evaluate the effect of fertigation and conservation tillage on soil properties and maize yield. Three levels of nitrogen were tested: 200, 300 and 400 kg ha⁻¹ and two for potassium: 100 to 200 kg ha⁻¹. Land preparation was made with the system of conservation tillage. Corn H-358 was used. The experimental design was a randomized block with four replications. During the development of the crop plant samples were made to determine the concentration of nutrients in plant tissue and generate extraction curves of NPK. Soil samples were made to determine the percentage of organic matter and microbial biomass. The infiltration rate and soil strength was determined. At the end of each cycle, grain yield and its components were evaluated. When applying traditional doses of fertilization through drip irrigation and metered by phenological stage and with conservation tillage, maize yield increased 35% in relation to soil fertilization, irrigation by gravity and conventional tillage. Extraction curves NPK, were obtained; a basic tool for proper fertilization according to crop needs by phenological stage.

* Recibido: octubre de 2013
Aceptado: marzo de 2014

Palabras clave: biomasa microbiana, curvas extracción de NPK, infiltración, resistencia mecánica.

Keywords: microbial biomass, extraction curves NPK, infiltration, mechanical strength.

Introducción

En el estado de San Luis Potosí, el maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos de mayor importancia desde el punto de vista social y cultural. La superficie sembrada anualmente en condiciones de riego es de alrededor de 22 500 hectáreas; con un rendimiento medio estimado en 3 t ha⁻¹ (Jasso *et al.*, 2004). Esta producción es baja comparada con la media nacional de 5.1 t ha⁻¹ (Martínez-Gamiño y Jasso-Chaverría, 2005). En la producción de maíz destaca el empleo generalizado del sistema tradicional de preparación del suelo (barbecho y uno o dos pasos de rastra), escaso uso de fertilizantes y el uso inadecuado del agua de riego, que en su conjunto origina que los rendimientos medios estatales sean bajos.

En general, la agricultura de subsistencia produce rendimientos por debajo del potencial del cultivo y en la agricultura empresarial falta incorporar tecnologías enfocadas a lograr mayor eficiencia en el uso de los fertilizantes y el agua de riego, tales como la fertirrigación (Rincón, 1991; Cadahia, 1998 y Jasso *et al.*, 2002) y la labranza de conservación (Lal, 1989; Reeves, 1997; Matson *et al.*, 1997 y Figueroa, 1999), que son excelentes alternativas para obtener alta eficiencia en el uso del agua y fertilizantes, además de contribuir en la obtención de mayores rendimientos y mejor calidad en las cosechas.

La fertilización y el riego por goteo simultáneo son los factores de manejo más importantes que el productor puede controlar durante el desarrollo de la planta, para ejercer influencia positiva en el rendimiento y calidad de las cosechas, especialmente cuando los nutrientes son aplicados en alta frecuencia (Rincón, 1991; Pizarro, 1996 y Cadahia, 1998). La fertirrigación es una técnica que tiene por objeto aprovechar el flujo hídrico para transportar los nutrientes que necesita la planta como complemento a los que le son proporcionados del suelo (Rincón, 1991; Nathan, 1995; Burt *et al.*, 1998). Ofrece también la posibilidad de optimizar el agua y los nutrientes debido a que estos son aplicados directamente en un pequeño volumen de suelo (bulbo húmedo), en donde se encuentra el sistema radical de la planta (Hotchmuth, 1992 y Hotchmuth, 1995).

Introduction

In the state of San Luis Potosí, maize (*Zea mays* L.) is one of the most important crops in terms of social and cultural perspective. Annually sown area under irrigation is about 22 500 hectares; with an estimated average yield of 3 t ha⁻¹ (Jasso *et al.*, 2004). This production is low compared to the national average of 5.1 t ha⁻¹ (Martínez-Gamiño and Jasso-Chaverría, 2005). In corn production highlights the widespread use of the traditional system of land preparation (plowing and one or two turns with drag), low use of fertilizer and improper use of irrigation water, which causes low state average yields.

In general, subsistence farming produce yields below crop potential and intensive agriculture lacks the need to incorporate technologies focused on achieving greater efficiency in the use of fertilizers and irrigation water, such as fertigation (Rincón, 1991; Cadahia, 1998 and Jasso *et al.*, 2002) and conservation tillage (Lal, 1989; Reeves, 1997; Matson *et al.*, 1997 and Figueroa, 1999), which are excellent alternatives to obtain high efficiency in water use and fertilizers, besides contributing in obtaining higher yields and better crop quality.

Fertilization and drip irrigation are the most important factors that the producer can control during plant development, to exert positive influence on the yield and crop quality, especially when nutrients are applied at high frequency (Rincón, 1991; Pizarro, 1996 and Cadahia, 1998). Fertigation is a technique that aims to harness the water flow to transport nutrients that the plant needs as complement to those provided by the soil (Rincón, 1991; Nathan, 1995; Burt *et al.*, 1998). It also offers the possibility to optimize water and nutrients due to these are applied directly in a small volume of soil (wet bulb), where the root system of the plant is located (Hotchmuth, Hotchmuth 1992 and 1995).

In San Luis Potosí, soil tillage is mainly based on traditional tillage system; however, this method requires a greater amount of economic and energy resources through the use of machinery and implements. This form of tillage in addition of representing a major cost in the production, promotes soil loss via oxidation of organic matter (Reeves, 1997); also reduces natural fertility and moisture retention as a result of erosion (Lal, 1989; Matson *et al.*, 1997; Figueroa, 1999).

En San Luis Potosí, el laboreo del suelo se basa fundamentalmente en el sistema de labranza tradicional; sin embargo, este método requiere de una mayor cantidad de recursos económicos y energéticos mediante la utilización de maquinaria e implementos. Ésta forma de laboreo además de representar un costo importante en la producción, favorece la pérdida de suelo vía oxidación de la materia orgánica (Reeves, 1997); también reduce su fertilidad natural y la capacidad de retención de humedad como consecuencia de la erosión (Lal, 1989; Matson *et al.*, 1997 y Figueroa, 1999).

La labranza de conservación es un sistema en el cual se emplean los residuos de cosecha y la rugosidad superficial del suelo se mantiene con el objeto de controlar la erosión y lograr buenas relaciones suelo y agua. La superficie del suelo cubierta por residuos vegetales es como mínimo de 30%, para lograr reducir en aproximadamente 50% de la erosión del suelo y mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas, además de disminuir significativamente los costos de producción. La labranza de conservación representa una opción viable en el manejo de los suelos, especialmente en la producción de cultivos básicos (Mannering y Foster, 1983; CTIC, 1984; Crovetto, 1998, Figueroa, 1999).

La labranza de conservación es una de las opciones más viables para lograr la sostenibilidad de los recursos naturales suelo y agua, así como en la producción de los cultivos. Además se reducen las pérdidas de nutrientes, se incrementa la materia orgánica, la velocidad de infiltración, la flora y la fauna del suelo y se retiene mayor cantidad de agua aprovechable al cultivo por más tiempo (Figueroa, 1982, Ángeles y Rendón, 1994).

Actualmente, la fertirrigación ofrece resultados altamente satisfactorios, principalmente en producción y calidad de productos hortícolas. En 2006, de los 6.2 millones de hectáreas cultivadas con riego en México, 372 000 contaban con riego presurizado (Kondo, 1997; Jasso *et al.*, 2004). En cultivos básicos como maíz y frijol, por desempeñar una función de tipo social y de autoconsumo, la generación de tecnología respecto a la fertilización a través de riegos presurizados de alta frecuencia, ha sido escasa y aún más lo ha sido la combinación del fertirriego con la labranza de conservación.

En el estado de Sinaloa se realizaron trabajos de investigación sobre el uso de labranza de conservación y fertirriego en cultivos para grano. Los resultados obtenidos demostraron que el rendimiento se incrementó significativamente, se disminuyó la cantidad de agua aplicada al cultivo y se mejoró la calidad de las cosechas (Mendoza, 2003).

Conservation tillage is a system in which crop residues are used and surface roughness of the soil is maintained in order to control erosion and achieve good soil and water relationships. The soil surface covered by plant residues is at least 30%, in order to reduce approximately 50% of soil erosion and improve their physical, chemical and biological properties and reduces significantly production costs. Conservation tillage is a viable option in the management of soils, especially in the production of staple crops (Mannering and Foster, 1983; CTIC, 1984; Crovetto, 1998; Figueroa, 1999).

Conservation tillage is one of the most viable options to achieve sustainability of natural resources of soil and water, as well as in the production of crops. Besides nutrient losses are reduced; organic matter, infiltration rate, flora and fauna of the soil increase and greater amount of available water is retained longer for the crop (Figueroa, 1982; Ángeles and Rendón, 1994).

Currently, fertigation offers highly satisfactory results, mainly in production and quality of horticultural products. In 2006, of the 6.2 million hectares cultivated with irrigation in Mexico, 372 000 ha had pressurized irrigation (Kondo, 1997; Jasso *et al.*, 2004.). In staple crops like corn and beans, play a role of a social nature and subsistence; technology generation regarding fertilization through pressurized irrigation of high frequency has been scarce and even more has been the combination of fertigation with conservation tillage.

In the state of Sinaloa research on the use of conservation tillage and fertigation were performed. The results showed that yield was significantly increased, the amount of applied water to the crop decreased and the quality of crops was improved (Mendoza, 2003).

In maize grown under drip irrigation, the application of high doses of nitrogen and potassium combined with a high density of plants produced grain yields of 18.5 t ha⁻¹; in addition of reducing in a significant manner the total amount of applied water to the crop (Vuelas, 1999). Meanwhile González *et al.* (1997) reported a potential yield of 7.8 t ha⁻¹ in maize with fertigation and 6.2 t ha⁻¹ in maize with traditional fertilization. Bosco (1999) indicated that the use of drip irrigation in maize allows saving 50% water, without affecting crop yield.

The aim of this study was to evaluate the effect of fertigation and conservation tillage on soil properties and corn yield.

En maíz cultivado en régimen de riego por goteo, la aplicación de altas dosis de nitrógeno y potasio combinadas con alta densidad de plantas produjeron rendimientos hasta de 18.5 t ha⁻¹ de grano, además de disminuir significativamente la lámina total de agua aplicada al cultivo (Vuelvas, 1999). Por su parte González *et al.* (1997), reportaron un rendimiento potencial de 7.8 t ha⁻¹ en maíz con fertirrigación y 6.2 t ha⁻¹ en maíz con fertilización tradicional. Bosco (1999), indicó que la utilización del riego por goteo en maíz, permite ahorrar 50% de agua, sin afectar el rendimiento del cultivo.

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del fertirriego y labranza de conservación en algunas propiedades del suelo y el rendimiento de maíz.

Materiales y métodos

Los trabajos se realizaron en terrenos del Campo Experimental San Luis del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), durante los veranos de 2009 a 2011. El suelo del sitio experimentales se clasifica como Castañozem de textura franco arcillo arenoso con 1.4% de materia orgánica, pH de 8.1 y CE de 0.81 dS m⁻¹. La conductividad eléctrica del agua de riego fue de 0.29 dS m⁻¹ y relación de sodio de 1.26.

Se evaluaron tres niveles de nitrógeno: 200, 300 y 400 kg ha⁻¹ y dos niveles para potasio: 100 y 200 kg ha⁻¹, los factores y niveles se combinaron generando seis tratamientos a los que se incluyeron dos testigos: 140-60-00 con 48 000 plantas y riego por gravedad y este mismo tratamiento con riego por goteo, ambos con labranza tradicional, para tener en total 8 tratamientos (Cuadro 1). El fósforo y la densidad de plantas se mantuvieron constantes en 100 kg ha⁻¹ y 85 000 plantas ha⁻¹ respectivamente, además de que la preparación del suelo se realizó mediante la técnica de labranza de conservación. Se incluyeron dos testigos con labranza tradicional: 140-60-00 con 48 mil plantas y riego por gravedad y este mismo tratamiento con riego por goteo, para tener 8 tratamientos.

Las labores de preparación del suelo, realizadas al inicio de cada ciclo evaluado, consistieron en un barbecho a 0.3 m de profundidad con el arado de discos para los tratamientos con labranza tradicional (LT) mientras que en los tratamientos de labranza de conservación (LC) el suelo se roturó con el "multiarado", implemento que no invierte el perfil del suelo y propicia mayor porosidad. Posteriormente se dio un paso

Materials and methods

The work was conducted in the experimental field San Luis from the National Institute of Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP) during the summers of 2009-2011. The soil of the experimental site is classified as Castanzem of a sandy clay loam texture, with 1.4% organic matter, pH of 8.1 and EC of 0.81 dS m⁻¹. The electrical conductivity of the irrigation water was 0.29 dS m⁻¹ and sodium ratio of 1.26.

Three levels of nitrogen were evaluated at 200, 300 and 400 kg ha⁻¹ and two levels for potassium at 100 and 200 kg ha⁻¹, factors and levels were combined generating six treatments to which were included two controls: 140-60-00 with 48 000 plants and flood irrigation and the same treatment but with drip irrigation, both with traditional tillage, having in total 8 treatments (Table 1). Phosphorus and plant density remained constant at 100 kg ha⁻¹ and 85 000 plants ha⁻¹ respectively, in addition to soil preparation, was made through the technique of conservation tillage. Two controls were included with traditional tillage: 140-60-00 with 48 thousand plants and flood irrigation and the same treatment but with drip irrigation, having 8 treatments.

Cuadro 1. Tratamientos evaluados en maíz con fertirriego y labranza de conservación.

Table 1. Treatments evaluated in maize with fertigation and conservation tillage.

Tratamiento	N kg ha ⁻¹	P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	K ₂ O kg ha ⁻¹	Sistema de riego	Sistema de labranza
1	200	100	100	Goteo	LC
2	300	100	100	Goteo	LC
3	400	100	100	Goteo	LC
4	200	100	200	Goteo	LC
5	300	100	200	Goteo	LC
6	400	100	200	Goteo	LC
7	140	60	0	Goteo	LT
8	140	60	0	Gravedad	LT

LC= labranza de conservación; LT= labranza tradicional.

The soil preparation made at the beginning of each cycle evaluated, consisted of a fallow to 0.3 m deep with a disc plow for treatments with traditional tillage (LT) while in conservation tillage treatments (LC) the soil was plowed with "multiple plow" attachment that does not invert the soil profile and promotes greater porosity. Subsequently harrowing was made in both methods of soil preparation. In LT row spacing was 0.8 m, while in LC planting beds were constructed with spacing between beds of 1.6 m. Subsequently, 2 t ha⁻¹ dry corn stalks were deposited to cover 30% of the soil surface.

de rastra en ambos métodos de preparación del suelo. En LT la distancia entre surcos fue de 0.8 m, mientras que en LC se construyeron camas de siembra con separación de 1.6 m entre camas. Posteriormente se depositaron 2 t ha^{-1} de rastrojo seco de maíz para con ello cubrir 30% la superficie del suelo.

Para la siembra se utilizó el maíz H-358, híbrido de ciclo vegetativo tardío, cuya floración se presenta a los 97 días y su madurez entre los 155 y 160 días. La altura de la planta varía de 2.3 a 2.8 m y de mazorca de 1.2 a 1.5 m. Maíz uniforme, de mazorca alargada, resistente al acame y a la pudrición. Para todos los tratamientos, la siembra se realizó con tractor y con la sembradora para labranza cero Modelo OL-U. La semilla se depositó a 0.26 m entre plantas y de 0.8 m entre hileras a profundidad de 0.05 a 0.06 m. Para los tratamientos de LC con doble hilera, la semilla se depositó a 0.26 m entre plantas y 0.3 m entre hileras, lo que permitió establecer cuatro hileras de plantas por cama de 1.6 m de ancho.

La fertilización se aplicó a través del riego por goteo mediante un dispositivo venturi, el cual permitió dosificar el fertilizante en forma individual a cada unidad experimental, el fertilizante se inyectó tres veces por semana de acuerdo a la demanda del cultivo. El criterio para la aplicación del riego se fundamentó en el uso de sensores de humedad colocados en batería a 0 - 0.15 y 0.15 - 0.3 m de profundidad en el perfil del suelo, mantenidos en un rango de tensión que osciló de 15-20 cb.

Los tratamientos se establecieron en un diseño experimental en bloques al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue de 3 camas de 1.6 m de ancho y 12.5 m de longitud y la parcela útil fue la cama central de 10 m de longitud. En el tratamiento que incluyó riego por gravedad y labranza tradicional, la unidad experimental fue de 6 surcos de 0.8 m de ancho y 12.5 m de longitud, teniendo como parcela útil los dos surcos centrales de 10 m de longitud.

Durante el desarrollo del cultivo, se realizaron muestreos de planta y sus diferentes órganos para analizar la concentración de nutrientes en el tejido vegetal, para generar las curvas de extracción de NPK. Se realizaron muestreos de suelo en los estratos 0 - 0.05, 0.05 - 0.1 y 0.1 - 0.15 m para evaluar biomasa microbiana y propiedades físicas del suelo como la velocidad de infiltración, resistencia a la penetración y densidad aparente que son afectadas por la labranza de conservación. La resistencia del suelo a la penetración en labranza de conservación y labranza tradición se midió en los estratos 0 - 0.1 y 0.1 - 0.2 m de profundidad. Para

For planting maize H-358 was used, a hybrid of late growing season whose flowering is at 97 days and maturity between 155 and 160 days. Plant height varies from 2.3 to 2.8 m and 1.2 to 1.5 m of cob. Homogeneous corn with elongated com and resistant to lodging and rot; for all treatments, planting was made with tractor and with a planter Model OL-U for tillage. The seed was deposited at 0.26 m between plants and 0.8 m between rows at depths from 0.05 to 0.06 m. For LC treatments with double row, the seed was deposited at 0.26 m between plants and 0.3 m between rows, establishing four rows of plants per bed of 1.6 m wide.

The fertilizer was applied through drip irrigation using a venturi tube, which allowed dosing the fertilizer individually to each experimental unit; the fertilizer was applied three times a week according to crop demand. The criteria for the application of irrigation was based on the use of moisture sensors placed in parallel from 0-0.15 and 0.15-0.3 m depth in the soil profile, maintained in a voltage range that oscillated from 15-20 cb.

Treatments were established in a randomized block design with four replications. The experimental unit was 3 beds of 1.6 m wide and 12.5 m long and the useful plot was the central bed of 10 m long. In the treatment that included flood irrigation and conventional tillage, the experimental unit was 6 rows of 0.8 m wide and 12.5 m long and the useful plots were the two central rows of 10 m length.

During crop development, plant and various organs were sampled to analyze nutrients concentration in plant tissue to generate extraction curves NPK. Soil samples were made in strata at 0 - 0.05, 0.05 - 0.1 and 0.1 to 0.15 m to assess microbial biomass and soil physical properties such as infiltration rate, penetration resistance and bulk density that are affected by conservation tillage. Soil resistance to penetration in conservation tillage and traditional tillage was measured in strata at 0-0.1 and 0.1 - 0.2 m depth. For this a hammer penetrometer was used, the data of number of hits were converted to kg cm^{-2} , using the equation $Y = 2.88X + 2.38$: where X is represented by the number of hits required penetrating the corresponding soil stratum.

Grain yield and its components were evaluated. An analysis of variance for the eight treatments was made using the randomized block design with four replications; the first

ello se utilizó un penetrómetro de martillo, los datos de número de golpes fueron transformados a kg cm^{-2} mediante la utilización de la ecuación $Y = 2.88X + 2.38$: donde X está representada por el número de golpes que se requieren para lograr penetrar el estrato de suelo correspondiente.

Se evaluó el rendimiento de grano y sus componentes. Se realizó un análisis de varianza para los ocho tratamientos empleando el diseño de bloque al azar con cuatro repeticiones, también se analizaron los seis primeros tratamientos del Cuadro 1 de acuerdo a un diseño factorial. La comparación de medias se realizó utilizando la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Resultados y discusión

Velocidad de Infiltración

Una de las bondades de la labranza de conservación es el incremento en la velocidad de infiltración en el suelo (Figuroa, 1982 y 1999). La explicación es que los agregados del suelo no se destruyen, manteniendo la continuidad en la porosidad formada por la estructura del suelo, las raíces de las plantas y la edafo-fauna. Al mantener la porosidad del suelo, las propiedades hidráulicas del mismo se ven beneficiadas, especialmente la velocidad de infiltración.

La velocidad de infiltración en los tratamientos con labranza tradicional (LT) y labranza de conservación (LC) al inicio del ciclo del cultivo no tuvo diferencias estadísticas significativas. En la Figura 1 se observa que los valores registrados con LT y LC fueron similares, con tendencia favorable en LT, al incrementar hasta en 0.06 m hr^{-1} el valor de infiltración en los primeros dos minutos en relación con el obtenido en LC. La baja velocidad de infiltración en LC se debe a que se el suelo se rastreó después del uso del multiarado para desbaratar los terrones grandes y evitar problemas durante la emergencia de las plantas de maíz. Lo anterior ocasionó destrucción de la porosidad en la superficie del suelo, razón por la cual la infiltración fue parecida a la registrada en LT.

Al final del ciclo, la infiltración con LC, aun y cuando estadísticamente fue similar a la reportada en LT, manifestó un incremento importante en la velocidad de infiltración, el cual fue mayor durante toda la prueba (Figura 2). Éste incremento en la velocidad de infiltración en LC se debió a que el suelo no se removió con aporques o escardas como

six treatments (Table 1) were also analyzed, according to a factorial design. Comparison of means was made using Tukey's test ($p \leq 0.05$).

Results and discussion

Infiltration rate

One of the benefits of conservation tillage is the increase in the rate of infiltration into the soil (Figuroa, 1982 and 1999). The explanation is that soil aggregates are not destroyed, maintaining continuity in the porosity formed by soil structure I, plant roots and soil fauna. By maintaining soil porosity, hydraulic properties of the soil are benefited, especially infiltration rate.

Infiltration rate in treatments with conventional tillage (LT) and conservation tillage (LC) did not have a statistical difference at the beginning of the crop cycle. Figure 1 show that registered values with LT and LC were similar, with a favorable trend in LT, increasing up to 0.06 m hr^{-1} the infiltration value in the first two minutes in relation to that obtained in LC. The low infiltration rate in LC is due to the soil was harrowed after the use of the multi plow to break up large clods and avoid problems during the emergence of corn plants. The latter caused porosity destruction of the soil surface, reason why the infiltration was similar to that recorded in LT.

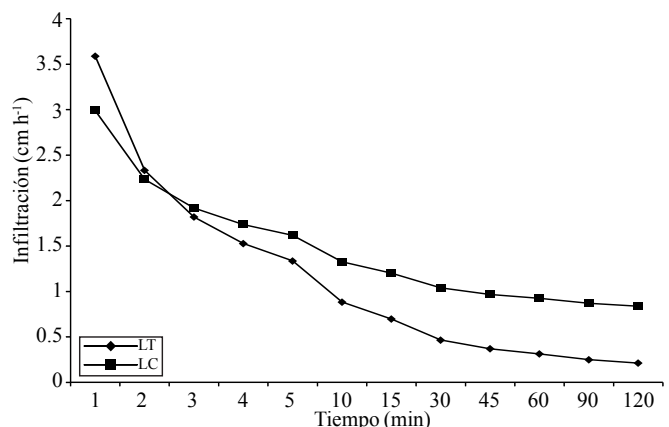


Figura 1. Infiltración en maíz cultivado con fertirriego y labranza de conservación, realizada al inicio del ciclo del cultivo.

Figure 1. Infiltration in corn grown with fertigation and conservation tillage, made at the beginning of the crop cycle.

lo fue en LT, por lo que se infiere que la porosidad en el suelo con LC se mantuvo a lo largo del ciclo del cultivo, propiciando mejores condiciones de humedad y movimiento de oxígeno para el desarrollo de las raíces del cultivo.

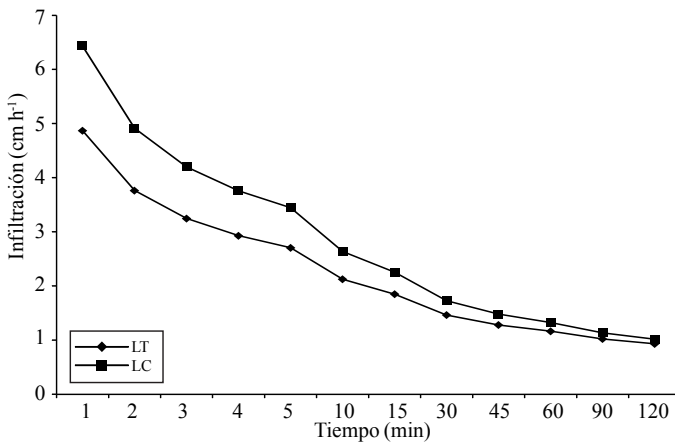


Figura 2. Infiltración en maíz cultivado con fertirriego y labranza de conservación, realizada al final del ciclo del cultivo.

Figure 2. Infiltration in corn grown with fertigation and conservation tillage at the end of the crop cycle.

Resistencia del suelo a la penetración

En la Figura 3 se observa que el suelo que fue sometido a labranza de conservación presentó valores menores de compactación en ambas profundidades, situación que era de esperarse, ya que en labranza de conservación se dejó una cubierta de 2 t ha^{-1} de rastrojo seco de maíz sobre la superficie del suelo y se realizó menor movimiento de la capa arable durante la preparación del suelo. Diversos autores coinciden en señalar que la labranza de conservación contribuye de manera importante a disminuir la compactación del suelo (Figuroa, 1999; Fragoso *et al.*, 2002; Martínez y Jasso, 2004). Diferencias mayores deberán presentarse en los siguientes ciclos de cultivo.

Materia orgánica (MO)

Una de las propiedades que afecta favorablemente la labranza de conservación es el contenido de materia orgánica en el suelo (Fragoso *et al.*, 2002). El contenido de materia orgánica del suelo muestreados después de la cosecha para los estratos 0 - 0.05, 0.05 - 0.1 y 0.1 - 0.15 m de profundidad se presentan en el Cuadro 2. Al comparar los porcentajes de MO, determinados en los sistemas de labranza de conservación y labranza tradicional, el análisis

At the end of the cycle, infiltration with LC, even when it was statistically similar to that reported in LT, showed a major increase in the infiltration rate, which was higher throughout the test (Figure 2) increased. This increase in the infiltration rate in LC was due to the soil was not removed with weeding or hilling as it was in LT, so it can be inferred that the porosity in the soil with LC was maintained throughout the crop cycle, favoring better moisture and oxygen movement for the development of crop roots.

Soil resistance to penetration

Figure 3 shows that the soil that was subjected to conservation tillage had lower values of compaction at both depths, situation that was to be expected, since in conservation tillage a cover of 2 t ha^{-1} of dry corn stubble was left on the soil surface and less movement of the topsoil was made for soil preparation. Several authors agree that conservation tillage contributes significantly to reduce soil compaction (Figuroa, 1999; Fragoso *et al.*, 2002; Martínez and Jasso, 2004). Greater differences should present in the following crop cycles.

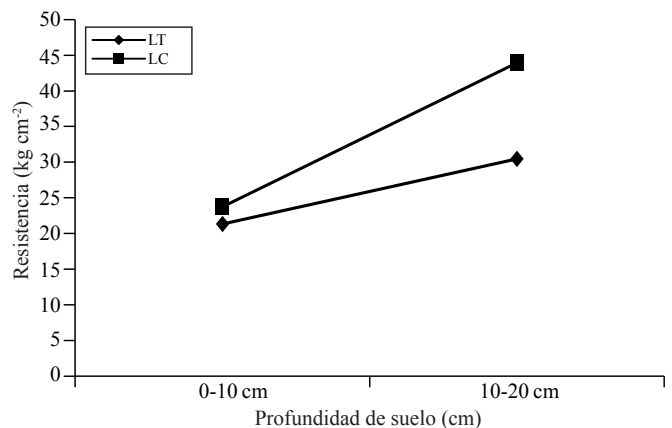


Figura 3. Resistencia del suelo a la penetración en sistemas de labranza en maíz cultivado en fertirriego, al final del ciclo de cultivo.

Figure 3. Soil resistance to penetration on tillage systems, in corn grown with fertigation, at the end of the growing cycle.

Organic matter (MO)

One of the properties that favorably affect conservation tillage is the content of organic matter in the soil (Fragoso *et al.*, 2002). The organic matter content of soil sampled after harvest for strata at 0-0.05, 0.05-0.1 and from 0.1-0.15 m depth are presented in Table 2. When comparing the determined percentages of MO, in conservation and

estadístico no detectó diferencias significativas ($p \leq 0.05$), por lo que se concluye que la labranza de conservación no tuvo influencia significativa sobre la MO; sin embargo, se esperan diferencias importantes durante los siguientes ciclos de cultivo, una vez que la cubierta de rastrojo se haya mineralizado y parte de ella se integre al suelo.

conventional tillage systems, the statistical analysis did not detect significant differences ($p \leq 0.05$), so it is concluded that conservation tillage had no significant influence on MO; however, significant differences are expected in the following crop cycles, once the stubble cover has been mineralized and part of it is integrated into the soil.

Cuadro 2. Contenido de materia orgánica, carbono y nitrógeno en la biomasa microbiana del suelo, en maíz cultivado con fertirriego.

Table 2. Content of organic matter, carbon and nitrogen in the soil microbial biomass in corn grown with fertigation.

Profundidad (m)	MO (%)		C en biomasa microbiana (kg ha ⁻¹)		N en biomasa microbiana (kg ha ⁻¹)	
	LC	LT	LC	LT	LC	LT
00.0-0.05	2.4a	2.8a	728.5a	707.8a	14.8a	10.3a
0.05-0.10	2.8a	2.6a	762a	672.1a	11.8a	10.1a
0.10-0.15	2.5a	2.7a	690a	754.4a	8.9a	12.6a
0.0-0.15			2180.5a	2134.5a	35.5a	32.9a

LC= labranza de conservación; LT= labranza tradicional.

Contenido de carbono en el suelo

El contenido de carbono en la biomasa microbiana del suelo, para los estratos 0 - 0.05, 0.05 - 0.1 y 0.1 - 0.15 y 0 - 0.15 m de profundidad, se presenta en el Cuadro 2. Al igual que para MO, en este caso no existieron diferencias significativas entre sistemas de labranza, tampoco las hubo para las profundidades de suelo muestreadas.

Carbon content in soil

Carbon content in the soil microbial biomass, for strata at 0-0.05, 0.05-0.1 and from 0.1-0.15 and 0-0.15 m depth, is presented in Table 2. As for MO, in this case there was no significant difference between tillage systems; neither was for the depths of soil samples.

Contenido de nitrógeno en el suelo

Los valores del contenido de nitrógeno en el suelo, en los estratos 0 - 0.05, 0.05 - 0.1, 0.1 - 0.15 y 0 - 0.15 m de profundidad, en los sistemas de labranza de conservación y labranza tradicional se presenta en el Cuadro 2. Estadísticamente los valores de N determinados en la biomasa microbiana no mostraron diferencias entre sistema de labranza, así como tampoco las hubo para los estratos de suelo evaluados; sin embargo, la tendencia general fue hacia mayor acumulación de N en labranza de conservación, en los cuatro estratos de suelo muestreados. También se observó mayor concentración de nitrógeno en el estrato 0-5 cm de profundidad, estrato en el que se concentra la mayor proporción de MO y de la actividad microbiana.

Nitrogen content in the soil

The values of nitrogen content in the soil, in strata at 0-0.05, 0.05-0.1, 0.1-0.15 and 0-0.15 m depth, in the conservation and conventional tillage systems is presented in Table 2. Statistically N values in the microbial biomass did not differ between tillage systems, nor was for the soil strata; however, the general trend was towards greater accumulation of N in conservation tillage in the four layers of soil sampled. Higher nitrogen concentration was also observed in stratum 0-5 cm depth, stratum in which the largest proportion of organic matter and microbial activity is concentrated.

Rendimiento de maíz y sus componentes

El cultivo de maíz mostró respuesta positiva a los diferentes niveles de fertilización aplicados en el riego por goteo, de igual manera, la labranza de conservación también influyó favorablemente en los resultados, al contribuir en el mejoramiento de estructura del suelo.

Corn yield and its components

The crop showed a positive response to different fertilization levels applied in drip irrigation, likewise, conservation tillage influenced favorably the results, contributing to the improvement of soil structure.

The statistical analyzes reported significant differences between treatments ($p < 0.01$) for grain yield, stubble yield and green forage yield, evaluated in the milky doughy stage for silage (Table 3); the rest of the variables were not significantly affected.

El análisis estadísticos reportó diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.01$) para rendimiento de grano, rendimiento de rastrojo y para el rendimiento de forraje en verde, evaluado en estado lechoso masoso con fines de ensilaje (Cuadro 3); las demás variables no fueron afectadas significativamente.

La prueba de comparación de medias encontró que los tratamientos en donde se aplicó el fertilizante a través del riego por goteo fueron estadísticamente iguales y sólo el tratamiento tradicional tuvo rendimiento de grano y rastrojo estadísticamente menor al resto de tratamientos (Cuadro 4). Con la aplicación del tratamiento 300-100-100 se obtuvo un rendimiento de grano de 10.505 t ha⁻¹ y 42.528 t ha⁻¹ de rastrojo, rendimiento que superó 51% y 65% al tratamiento tradicional con riego por gravedad.

Cuadro 4. Rendimiento de grano y rastrojo en maíz cultivado con fertirriego y labranza de conservación.

Table 4. Grain and stover yield in maize grown with fertigation and conservation tillage.

Tratamiento	Rend. grano (t ha ⁻¹)	Rend. rastrojo (t ha ⁻¹)	Rend. forraje verde (t ha ⁻¹)
200-100-100-RG-LC	9.471a	39.869a	85.375ab
300-100-100-RG-LC	10.505a	42.528a	94.291a
400-100-100-RG-LC	9.925a	41.14a	100.344a
200-100-200-RG-LC	10.115a	40.576a	90.907a
300-100-200-RG-LC	10.11a	41.639a	88.203ab
400-100-200-RG-LC	10.412a	40.75a	99.235a
140-60-00-RG-LT	9.354a	34.243b	73.438a
140-60-00-RGr-LT	6.936b	35.762b	49.25c

Medias con la misma literal no son estadísticamente diferente, Tukey ($p \leq 0.05$); RG= riego por goteo; RGr= riego por gravedad; LT= labranza de conservación; LT= labranza tradicional.

En rendimiento de forraje verde, se observan tendencias favorables a la aplicación de dosis crecientes de nitrógeno a través del riego por goteo; sin embargo, las diferencias estadísticas fueron respecto al tratamiento tradicional con riego por gravedad, cuyo rendimiento fue superado 49% por el mismo tratamiento sólo que aplicado en el riego por goteo. Al comparar el rendimiento del testigo (LT con riego por gravedad) con el rendimiento del tratamiento 400-100-100, el incremento fue de 104% favorable al tratamiento de alta fertirrigación.

Al analizar los seis primeros tratamientos como un factorial completo, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$) para rendimiento de grano y rastrojo. Lo anterior indica que bajo las condiciones que se llevó a cabo el estudio, la aplicación del tratamiento 200-100-100 dosificado en el agua de riego y por etapa fenológica fue suficiente para satisfacer los requerimientos nutricionales del cultivo.

Cuadro 3. Análisis de varianza para rendimiento de grano y sus componentes en maíz cultivado con fertirriego y labranza de conservación.

Table 3. Analysis of variance for grain yield and its components in maize grown with fertigation and conservation tillage.

Componente	P>F	CV
Longitud de mazorca	0.979	10.18
Diámetro de mazorca	0.2065	1.99
Peso de 100 granos	0.3531	7.7
Rendimiento de grano	0.0045**	9.47
Rendimiento de rastrojo	0.002**	10.75
Rendimiento de forraje en verde	0.0001**	5.2

*= significativo al 0.05 y ** = significativo al 0.01 de probabilidad.

The mean comparison test found that the treatments where fertilizer was applied through drip irrigation were statistically equal and only the traditional treatment had grain yield and stubble was statistically lower than the rest of the treatments (Table 4). With the application of treatment 300-100-100 a grain yield of 10.505 t ha⁻¹ and 42 528 t ha⁻¹ of stubble was obtained; yield that exceeded 51% and 65% the traditional treatment with flood irrigation.

The yield of green fodder, show favorable trends at the application of increasing doses of nitrogen through drip irrigation; however, statistical differences were in regard to traditional treatment with flood irrigation, whose yield was exceeded 49% for the same treatment, only applied in drip irrigation. When comparing the yield of the control (LT flood irrigation) with the treatment yield 400-100-100, the increase was 104% favorable to the treatment of high fertigation.

Curvas de extracción de NPK en maíz

Las curvas de extracción de nutrientes son herramienta básica en la formulación y calendarización de los fertilizantes a aplicar en un cultivo determinado. En la Figura 4 se presentan las curvas de extracción de NPK para el cultivo de maíz H-358 cultivado en fertirriego y labranza de conservación. Para NPK se observó que la extracción de estos nutrientes durante los primeros 45 días después de la siembra (dds) fue baja, debido a que la formación de biomasa y la actividad fotosintética son bajas, situación que se constató al evaluar la materia seca total de la planta.

Posteriormente entre 51 y 100 dds se observó un período de alta extracción de NK, período en el que la velocidad de formación de biomasa fue alta, al igual lo fue la actividad fotosintética de la planta, ya que este período comprendió las etapas de pre-floración, floración e inicio de formación de grano (grano lechoso).

Durante el llenado de grano se presentó un período en que la extracción de potasio disminuyó considerablemente y la de nitrógeno fue en menor proporción, lo anterior se explica por el hecho de que la planta de maíz en esta etapa canalizó una proporción importante del K hacia el elote (Figura 4). Conviene destacar que la extracción de N y K en el cultivo de maíz a través del ciclo mostró cierto paralelismo, sin embargo la demanda de K fue mayor durante todo el ciclo.

Finalmente se observó un período en que la extracción de ambos elementos tiende a ser menor, debido a que en éste período la planta disminuye al mínimo el crecimiento de follaje y tallo, para enviar mayor cantidad de nutrientes hacia la zona reproductiva para el llenado de grano, particularmente el K. En el caso del fósforo, la tendencia es similar a la observada para NK, sólo que la demanda por la planta fue menor durante todo el ciclo de cultivo (Figura 4). Es importante resaltar que la extracción de fósforo por el maíz durante el ciclo del cultivo fue inferior a los 100 kg ha⁻¹; por lo que si se considera que el suelo es capaz de suministrar una proporción del P extraído por la planta, entonces la dosis de fertilización complementaria, para satisfacer los requerimientos del cultivo, en las condiciones en que se llevaron a cabo los experimentos, deberá ser menor o igual a 100 unidades de fósforo por hectárea.

When analyzing the first six treatments as a full factorial, no significant differences ($p < 0.05$) between treatments were found for grain and stover yield. Indicating that under the conditions, in which the study was conducted, treatment application 200-100-100 dosed in the irrigation water and by phenological stage was enough to satisfy the nutritional requirements of the crop.

Extraction curves NPK in corn

Extraction curves of nutrients are basic tools in the formulation and scheduling of fertilization in a given crop. Figure 4 shows the extraction curves of NPK for maize H-358, grown with fertigation and conservation tillage. For NPK was observed that the removal of these nutrients during the first 45 days after sowing (dds) was low, due to formation of biomass and photosynthetic activity are low, situation that was validated when assessing total dry matter of the Plant.

Subsequently, between 51 and 100 dds a high extraction period of NK was observed; period in which the growth rate was high, as it was the photosynthetic activity of the plant: since this period comprised the stages of pre- flowering, flowering and beginning of grain formation (milky stage).

During grain filling there was a period in which the extraction of potassium decreased significantly and nitrogen was to a lesser extent, the latter is explained by the fact that the plant at this stage channeled a significant proportion of K to the cob (Figure 4). It should be noted that the extraction of N and K in maize through the cycle showed some parallelism, however the demand for K was higher throughout the cycle.

Finally was observed a period in which the extraction of both elements tend to be lower, because in this period the plant slows down the growth of foliage and stem, to send more nutrients to the reproductive area for grain filling , particularly K. In the case of phosphorus, the trend is similar to that observed for NK, just that the plant demand was lower throughout the growing cycle (Figure 4). It is important to note that the extraction of phosphorus by corn during the growing season was less than 100 kg ha⁻¹; so if one considers that the soil is capable to provide a ratio of P extracted by the plant, then the dose of supplementary fertilization to satisfy the requirements of the crop, under conditions in which the experiments were carried out, it should be less than or equal to 100 units of phosphorus for hectare.

Relación beneficio costo

Con los rendimientos de grano y costos de producción del cultivo, se estimó la relación beneficio costo (b/c) por tratamiento. Los resultados del análisis económico se presentan en el Cuadro 5. La menor relación beneficio costo correspondió al tratamiento de fertilización tradicional, con riego por gravedad y labranza tradicional con un valor de 1.24, lo que indica que bajo este sistema el productor tendrá ganancias de 24 centavos por peso invertido en el proceso productivo de maíz de riego. En contraste, con el mismo tratamiento de fertilización dosificado en el riego por goteo y con labranza de conservación, éste valor fue de 1.96. Lo anterior indica que al dosificar el mismo tratamiento de fertilización a través del riego por goteo y de acuerdo a la demanda del cultivo, la relación b/c será significativamente mayor, como resultado de un aumento en el rendimiento de grano y de rastrojo. Conviene destacar que en el concepto de ingreso no se incluyó el rastrojo de maíz. Ingreso que en ocasiones, llega a ser importante.

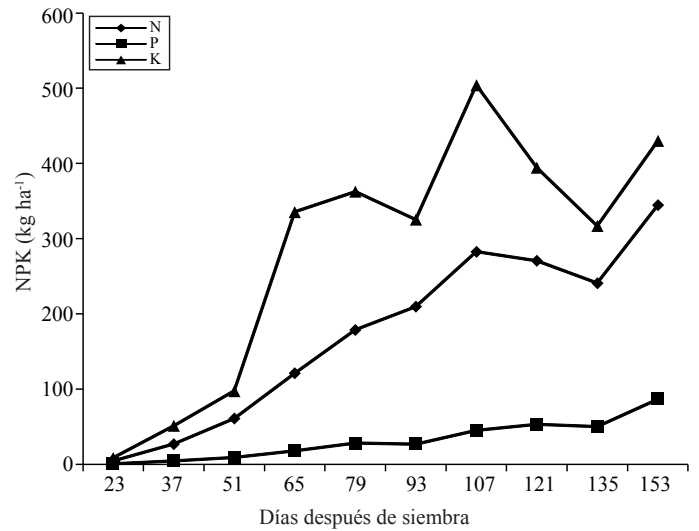


Figura 4. Curvas de extracción de NPK para maíz cultivado con fertirriego y labranza de conservación.
Figure 4. Extraction curves of NPK for corn grown with fertigation and conservation tillage.

Cuadro 5. Relación beneficio costo en maíz con fertirriego y labranza de conservación. CE.
Table 5. Benefit cost ratio in corn with fertigation and conservation tillage. CE.

Tratamiento			S. riego	Método de labranza	Ingreso	Costos directos	B/C
N	P ₂ O ₅	K ₂ O					
200	100	100	Goteo	LC	23 519	13 365	1.8
300	100	100	Goteo	LC	25 478	14 053	1.81
400	100	100	Goteo	LC	24 546	14 741	1.67
200	100	200	Goteo	LC	24 632	14 365	1.71
300	100	200	Goteo	LC	24 802	15 053	1.65
400	100	200	Goteo	LC	25 061	15 741	1.59
140	60	00	Goteo	LT	22 437	11 424	1.96
140	60	00	Gravedad	LT	15 968	12 887	1.24

LC= labranza de conservación; LT= labranza tradicional.

Al incrementar las dosis de nitrógeno, fósforo e incluir la fertilización con potasio se incrementó el costo de producción del cultivo, el cual no fue compensado por mayor incremento en la producción, de manera que económicamente no es viable aumentar la fertilización a dosis mayores de 300-100-100.

Con la aplicación del tratamiento 140-60-00 para el cultivo de maíz en riego por gravedad y con labranza tradicional, debido a su rendimiento limitado, las ganancias derivadas de su explotación son bajas. Es importante implementar técnicas de producción que optimicen los recursos agua y nutrientes, para propiciar mayor rendimientos y por ende la obtención de mayores beneficios derivados de la explotación de maíz en las áreas de riego.

Benefit-cost ratio

With grain yield and crop production costs, was estimated the benefit-cost ratio (b/c) by treatment. The results of the economic analysis are presented in Table 5. The lowest benefit-cost ratio corresponded to the traditional fertilization treatment with flood irrigation and conventional tillage with a value of 1.24, indicating that under this system the producer will gain 24 cents per peso invested in the production process of irrigated corn. In contrast with the same fertilization treatment dosed in drip irrigation and conservation tillage, had a value of 1.96. This indicates that the by dosing the same fertilization treatment through drip irrigation and according to crop demand, the benefit-cost ratio b/c, will be significantly higher, as a result of an increase in grain

Conclusiones

La dosis de fertilización tradicional a través del riego por goteo y dosificada por etapa fenológica, propició incrementos significativos en los rendimientos de grano y rastrojo.

Las curvas de extracción de NPK representarán una herramienta básica para el manejo adecuado de la fertirrigación en el cultivo maíz, debido a que permitieron dosificar el fertilizante de acuerdo a las demandas reales del cultivo.

El fertirriego y labranza de conservación incrementaron la relación beneficio costo en maíz, ya que produjeron incrementos significativos en el rendimiento de grano, rastrojo y forraje verde para ensilado.

Literatura citada

- Angeles, J. M. y Rendón, P. 1994. Riego eficiente y labranza de conservación en una rotación trigo-sorgo para Guanajuato. México. 15th World Congress of Soil Science. Acapulco, Guerrero. 7:127-128.
- Bosco, G. M. J. 1999. Producción de maíz con riego por goteo. Tecnologías llave en mano. INIFAP. México, D. F. 13-14 pp.
- Burt, C.; O' Connor, K. and Ruehr, T. 1998. Fertigation. The irrigation training and reseach center. California Polytechnic State University. San Luis Obispo, CA, USA. 295 p.
- Cadahia, L. C. 1998. Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. Barcelona. México. 475 p.
- Crovetto, L. C. 1998. Stubble over the soil. The vital role of plant residue in soil management to improve soil quality. *Am. Soc. Agron.* 245 p.
- Conservation Tillage Information Center. 1984. National survey of conservation tillage practices. CTIC. Fortweyne. IN. 137 p.
- Figueroa, S. B. 1982. La investigación en labranza en México. Memorias del XV Congreso Nacional de la ciencia del suelo. México. 273 p.
- Figueroa, S. B. 1999. Manual de producción de cultivos con labranza de conservación. Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 273 p.
- Fragoso, T. L. E.; Salinas, G. J. R.; Cabrera, S. J. M.; Morrison, Jr. J. E. y Lepori, W. 2002. Efecto de sistemas de labranza sobre la calidad de Vertisoles en el Bajío. Publicación técnica Núm. 1. CENAPROS-INIFAP-SAGARPA. 42 p.
- González, M. A.; Ramírez, J. G.; Pérez, M. L.; Turrent, F. A. y Piña, R. J. 1997. Maíz de alta productividad con fertirrigación en la zona enqueñera. SAGAR. INIFAP. 22 p.
- Hotchmuth, G. J. 1992. Tomato fertilizer management. *In: Proceedings Florida Tomato Institute. Vavrina, C. S. (Ed.) SS HOS 1. IFAS. UF.* 39 p.

and stover yield. It should be noted that the in concept of income was not included corn stover. Income that sometimes becomes significant.

By increasing doses of nitrogen, phosphorus and to include potassium increases the cost of crop production, which was not offset by greater increase in production, so that economically is not feasible to increase fertilization at doses greater than 300-100-100.

With the application of treatment 140-60-00 for corn under flood irrigation and conventional tillage, due to its limited yield, gains from its exploitation are low. It is important to implement production techniques that optimize water and nutrient resources, to promote greater yields and thus obtain greater benefits from the exploitation of maize under irrigated areas.

Conclusions

The traditional doses of fertilization through drip irrigation and metered by phenological stage, led to significant increases in grain and stover yield.

The extraction curves of NPK represent a basic tool for the proper management of fertigation in maize, because it allowed dosing the fertilizer according to the actual demands of the crop.

Fertigation and conservation tillage increased the benefit-cost ratio in corn, since they produced significant increases in grain yield, stover and green fodder for silage.

End of the English version



- Hochmuth, G. J. 1995. Fertilization of vegetables crops in Florida, USA. Dalia.
- Jasso, Ch.; Martínez, G. M. A.; Jesús, H. D. and Mitchell, J. P. 2002. increasing corn and bean yields with conservation tillage and fertigation in North-Central México. *In proceedings 2002 annual meetings. American Society of Agronomy.* 119-120 pp.
- Jasso-Chaverría, C.; Martínez-Gamiño, M. A. y Huerta-Díaz, J. 2004. Tecnología para producir altos rendimientos de maíz con fertirriego en San Luis Potosí. San Luis Potosí, México. Folleto técnico Núm. 25. 21 p.
- Kondo, L. J. 1997. El programa de ferti-irrigación en la Alianza para el Campo. *In: Memoria técnica del 2° simposium Internacional de ferti-irrigación. Querétaro, Querétaro, México.* 119-126 pp.

- Lal, R. 1989. Conservation tillage for sustainable agriculture. Tropics versus temperate environments. *Ad. Agron.* 42:85-197.
- Mannering, J. V. and Foster, C. R. 1983. What is conservation tillage? *J. Soil Water Cons.* 38:141-143.
- Martínez, G. M. A. y Jasso, Ch. C. 2004. Efecto de conservación de labranza en un sistema de rotación maíz-avena forrajera en la región centro-norte de México. *In: Proceedings 26th Southern conservation tillage conference for sustainable agriculture.* North Carolina Agric. Res. Serv. Tech. Bulletin. 321:125-160.
- Martínez-Gamiño, M. A. y Jasso-Chaverría, C. 2005. Rotación maíz-avena forrajera con labranza de conservación en el centro norte de México. *Terra.* 23(2):257-263.
- Matson, P. A.; Paron, W. J.; Power, A. G. and Swift, M. J. 1997. Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science.* 277:504-509.
- Mendoza, R. J. L. 2003. Manejo de cultivos para grano mediante riego por goteo. Folleto técnico Núm. 18. INIFAP. 38 p.
- Nathan, R. 1995. La fertirrigación combinada con el riego. Notas del curso asociación israelí de Cooperación Internacional. Ministerio de agricultura estado de Israel. 51 p.
- Pizarro, C. F. 1996. Riegos localizados de alta frecuencia (goteo, microaspersión y exudación) 3ª (Ed.). Edición Mundi-Prensa. Madrid, España. 469 p.
- Reeves, D. W. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil Tillage Res.* 43:131-167.
- Rincón, S. L. 1991. Fertirrigación en cultivos hortícolas *In: el agua y los fertilizantes.* Consejería de agricultura, Ganadería y Pesca, Región de Murcia, España. 223-229 pp.
- Vuelvas, C. M. A. 1999. Producción de maíz con riego por goteo. *In: Memorias Primer Simposium Internacional de Irrigación y Nutrición Vegetal.* 57-64 pp.