

Comparación de los rendimientos del maíz, empleo de agua y crecimiento bajo diferentes sistemas de laboreo y tipos de fertilizantes

Amin Fathi¹, Davood Barari Tari², Hormoz Fallah Amoli³ & Yousef Niknejad⁴

¹ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7539-0053>, Universidad Islámica de Azad, Sede Ayatollah Amoli, Departamento de Agronomía, Amol, Irán, ²ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3712-0746>, Universidad Islámica de Azad, Sede Ayatollah Amoli, Departamento de Agronomía, Amol, Irán, ³ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7434-3140>, Universidad Islámica de Azad, Sede Ayatollah Amoli, Departamento de Agronomía, Amol, Irán, ⁴ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3328-7362>, Universidad Islámica de Azad, Sede Ayatollah Amoli, Departamento de Agronomía, Amol, Irán.

Citación: Fathi, A., Barari Tari, D., Fallah Amoli, H., & Niknejad, Y. (2023). Comparación de los rendimientos del maíz, empleo de agua y crecimiento bajo diferentes sistemas de laboreo y tipos de fertilizantes. *Agrisost*, 29, 1–10. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8319717>

Recibido: 23 abril 2022

Aceptado: 16 julio 2023

Publicado: 5 septiembre 2023

Financiamiento: No se declara.

Conflictos de interés: No se declaran.

Email: davoodbarari@yahoo.com

Resumen

Contexto: EL maíz es uno de los cuatro cereales más importantes después del trigo y el arroz. El nitrógeno y variadas formas de laboreo son factores importantes para mejorar los rasgos y el rendimiento del maíz. La agricultura sostenible requiere de mejoras en cuanto al manejo del laboreo de los suelos, así como una aplicación más eficiente de los fertilizantes como recursos agrícolas.

Objetivo: Esta investigación se enfocó en la importancia de realizar exámenes a las condiciones de los nutrientes, particularmente el consumo de nitrógeno en varios sistemas de laboreo, así como el impacto de estos factores en el rendimiento, crecimiento y eficiencia en el empleo del agua en el maíz cultivado en Irán.

Métodos: El experimento se desarrolló en una parcela dividida, mediante un diseño experimental completamente aleatorio por bloques y cuatro réplicas, en la ciudad de Darreh shahr, provincia de Ilam, Irán. Los tratamientos consistieron en tres niveles de laboreo del suelo, incluyendo la siembra directa, mediante el laboreo combinado y surcos (arado Moldboard + gradas dobles + nivelador y surcos en la parcela principal).

Resultados: Se demostró que la mayor cantidad de materia seca total se obtuvo en el tratamiento con mínimo laboreo (4542,7 g/m²), mientras que el menor valor se obtuvo mediante el cultivo tradicional (4029,2 g/m²). El volumen de fertilizante no utilizado (NPK)₀ fue de 0,61 kg·m⁻³. Se puede afirmar que el laboreo mínimo puede mejorar los rendimientos del maíz con el más alto EEA, y también puede incrementar sus propiedades durante la temporada de crecimiento.

Conclusiones: Según los resultados de este estudio, se puede afirmar que el laboreo mínimo mejora los rendimientos del maíz con el más alto EEA, y también puede incrementar sus propiedades durante la temporada de crecimiento.

Palabras clave: *laboreo mínimo, agricultura de conservación, empleo eficiente del agua, crecimiento del maíz.*

Comparison of corn yield, water use efficiency (WUE), and growth under different tillage systems and fertilizer inputs

Abstract

Context: Corn is one of the four most important cereals in the world after wheat and rice. Nitrogen and various tillage systems are important factors in improving the traits and performance of corn. Sustainable agriculture requires improvements in soil tillage management and more efficient application of fertilizers as agricultural resources.

Objective: Considering the importance of examining the status of nutrients, particularly nitrogen consumption in various tillage systems, and the impact of these factors on the performance, growth, and water use efficiency of corn in Iran, this research was conducted.

Methods: The experiment was performed as a split plot in a randomized completely block design (RCBD) with four replications in Darreh shahr city, Ilam province, Iran. The treatments consisted of three levels of soil tillage including NT (direct sowing), MT (using compound tillage and furrow) and CT (Moldboard plow+ double discs + leveler and furrow) as the main plot.

Results: The results showed that the highest total dry matter (TDM) was obtained in MT treatment at 4542.7 g/m² and the lowest in CT treatment at 4029.2 g/m². The amount of non-use of fertilizer (NPK)₀ was 0.61 kg/m³. It can be stated that MT can improve the grain yield of corn with the highest WUE as well as increasing the properties during the growing season.

Conclusions: Based on the results of this study, it can be stated that MT can improve maize grain yield with the highest WUE and increase the characteristics during the growing season.

Key words: *net assimilation rate, crop growth rate, leaf area index, tillage, total dry matter.*

Introducción

Se considera que el maíz es una fuente importante de alimentos en diferentes partes del mundo (USDA-2021). Es uno de los cuatro cereales más importantes después del trigo y el arroz. Anualmente se cultivan más de cien millones de hectáreas de maíz en las tierras cultivables en todo el mundo. Es el tercer cereal de mayor importancia después del trigo y el arroz en todo el mundo. Como promedio, un campo de maíz absorbe y elimina 200-300 kg de nitrógeno, 80-120 kg de fósforo, así como 200-300 kg de potasio por hectárea de tierra (Fathi et al., 2016). EL manejo del nitrógeno en el caso del maíz pudiera afectar múltiples procesos de manera directa o indirecta, como el cultivo de la soya y modifica la asimilación de nitrógeno y a la larga, también afecta los rendimientos de las semillas. Además, el aporte a las demandas de nitrógeno del suelo, la soya establece una simbiosis con *Bradyrhizobium* spp. que como promedio contribuye en un 50-60% de los requerimientos de nitrógeno (Salvagiotti et al., 2008), a través de la fijación simbiótica del nitrógeno (FSN). Por lo tanto, un requisito importante para conservar la salud del suelo es evitar las cargas negativas sobre las plantas ecológicas que satisfacen las necesidades nutricionales de otros cultivos. Los sistemas de agricultura convencional no fueron exitosos en cuanto al manejo de recursos y estos sistemas terminaron dependiendo de insumos artificiales. Entre otras variables, mayores cantidades de residuos de maíz pudieran tener un efecto negativo en los sistemas de cultivo de soya sin laboreo, al alterar el nitrógeno del suelo y la nodulación de la soya (Vanhie et al., 2015). EL laboreo ocasiona una

variedad de cambios en el medio del suelo, como la descomposición de los residuos de la planta (Mutegi et al., 2010). El sistema de no laboreo (NL) tuvo un régimen de temperatura diferente en comparación con el sistema basado en el laboreo (Muñoz-Romero et al., 2015) y por lo general tiene mayor compresión en la superficie que ocasiona pobre drenaje y ventilación, así como la liberación de los gases del suelo (Ball et al., 1999; Kardoni et al., 2019). Por otra parte, comparado con el laboreo convencional (LC), la gran cantidad de residuos permanecen en la superficie del suelo con el sistema de NL. Como estos residuos no se mezclan con el suelo, están menos expuestos a los microorganismos y presentan una menor velocidad de descomposición. La aplicación de tecnologías deseables, como los sistemas de laboreo de conservación son uno de los métodos más efectivos de la agricultura sostenible, que pueden retrasar la degradación de la tierra y aumentar la sostenibilidad de la agricultura (Fathi & Zeidali, 2021). Por añadidura, la restricción de los recursos hídricos en el país y la intensificación de esta limitación debido a las sequías y elevación del consumo, ha conllevado al máximo empleo de los recursos hídricos disponibles para aumentar la productividad y los volúmenes de producción por área. Una mayor producción de los suelos dependerá del almacenamiento de humedad de los suelos y el manejo del riego (Unger, 1994). El laboreo de conservación eleva la cantidad de humedad en el suelo (Habtegebrail et al., 2007; Kardoni et al., 2019), mientras que la penetración del agua en el suelo aumenta con el empleo de un arado Moldboard (Quincke et al., 2007). Varios investigadores hallaron que la utilización de un arado Moldboard aumenta las pérdidas de humedad del suelo y a la larga reduce la

producción de granos y ocasiona una menor evapotranspiración y escurrimientos que los sistemas NL. Por consiguiente, se puede afirmar que el manejo de la irrigación y los métodos de laboreo desempeñan un rol esencial en las propiedades físicas, de cómo fluye el agua, así como el volumen de agua empleado en el suelo (Halvorson et al., 2006).

El análisis cuantitativo del crecimiento es un método que justifica e interpreta las respuestas de las plantas a diferentes condiciones medioambientales durante la temporada de crecimiento, mediante la cual el material fotosintético se puede transferir y acumular en varios órganos, al medir la cantidad de MS producida. El empleo de los indicadores de crecimiento, especialmente el Índice de Área Foliar (IAF) es una herramienta excelente para mostrar el proceso de la producción de plantas y utilización de la luz. Los investigadores confirmaron la correlación existente entre el área foliar y los rendimientos en el maíz y plantearon que esa relación es tan alta que los rendimientos del maíz se pueden estimar en base a tipo de área foliar (Karimi & Siddique, 1991). En el caso del maíz, el área foliar aumenta de manera sigmoideal desde la fase de plántula hasta la pre cosecha y muestra un ligero decrecimiento durante el llenado de los granos, aunque se observa un rápido decrecimiento del área foliar al terminar el ciclo de vida. La curva del ritmo de crecimiento relativo (RCR) cambia con el estado fotosintético y la respiración de la planta. Por consiguiente, con el tiempo, el RCR ocasiona una disminución del crecimiento de las plantas al aumentar la velocidad de respiración al final del crecimiento. El RCR indica la cantidad de materia seca (MS) acumulada en la planta por unidad de tiempo, que fue más alta en las primeras etapas de crecimiento cuando las plantas eran pequeñas y con frecuencia estaban expuestas a la luz solar directa. Pero a la vez, el crecimiento de la

planta y el aumento del área de sombra en lugar de la producción de materiales fotosintéticos están más relacionados con la actividad de los parásitos (Karimi & Siddique, 1991). Los investigadores sostuvieron que la máxima producción de MS por unidad de área depende del desarrollo temprano al comienzo de la temporada para emplear la tasa neta de absorción temprana (Thomas et al., 2003). Recientemente, se ha considerado el uso de diferentes tipos de laboreo del suelo y la inclusión de fertilizantes químicos (NPK). Por lo tanto, el estudio de los rendimientos, EEA y el análisis del crecimiento revisten gran importancia.

Materiales y métodos

Localización del experimento

Los experimentos se desarrollaron durante dos años (2016 y 2017) en una finca situada a 5 km de la ciudad Darreh shahr, provincia de Ilam, en Irán. El área del experimento se ubica en 33°11' latitud norte, 47°21' latitud este, a 636 msnm. Para determinar las características del suelo antes del experimento, se tomaron muestras de suelo entre 0 y 30 cm para realizar los análisis. La tabla 1 muestra los resultados de los análisis de las muestras de suelo, mientras que las características del sitio del experimento (según el Centro Meteorológico de la provincia de Ilam) aparecen en la tabla 2.

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas del sitio experimental

Prof. (cm)	Text. suelo	pH	CE (ds/m ⁻¹)	Carbón org. (%)	N total (%)	Pdisponible ppm	Kdisponible ppm
0-30	Arcillo so/arenoso	7,3	1,01	0,88	0,07	10	90

Tabla 2. Valores mensuales de las variables climáticas durante la etapa de crecimiento 2015-2016-2016-2017.

Evaporación (mm)		Humedad relativa (%)		Temperatura máxima		Temperatura mínima		Precipitaciones (mm)		Mes
2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	
423,5	336,2	14	20	45,1	42,6	14,7	16,8	0	0	Jun
445,6	397,3	11	13	48,9	47,4	21,6	23,2	0	0	Jul
454,2	487,3	10	12	36,6	47,5	23,9	22,4	0	0	Ago
380,5	377,7	12	15	33,5	45,9	18,7	17,4	0	0	Sep
239	237	21	18	41,3	39,2	10,7	13,3	0	0	Oct
138	143,4	14	31	38	32,6	9	6	0,4	0,6	Nov

Diseño experimental y tratamientos

El experimento se desarrolló en una parcela dividida, mediante un diseño experimental por bloques completamente aleatorio (RCBD) y cuatro réplicas, en la ciudad de Darreh shahr, provincia de Ilam, Irán. Los tratamientos consistieron en tres niveles de laboreo del suelo, incluyendo la siembra directa (NL), el laboreo combinado y surcos (LM) y arado Moldboard + gradas dobles + nivelador y surcos (LC) en la parcela principal. Además, se incluyó el uso de nitrógeno, fósforo y potasio (NPK) en tres niveles, sin NPK (NPK)₀, con 50% de la cantidad recomendada de NPK (NPK)₅₀ y 100% de la cantidad recomendada de NPK (NPK)₁₀₀. En este experimento, se aplicó el 100% del nitrógeno recomendada como 184 kg de nitrógeno puro, 100% del fosforo se empleó como 38 kg de fósforo puro y 100% de la cantidad recomendada de potasio, como 67 kg de potasio puro.

Manejo del cultivo

La distancia entre los lotes fue de 3 m y entre los bloques, esta fue de 6 m. Los lotes principales eran de 5 x 15, mientras que los sublotos eran de 5 x 5. Cada sublote comprendía seis hileras y los intervalos entre las hileras y las plantas eran de 75 cm y 20 cm, respectivamente. La cantidad de semilla consumida fue de 25 kg/ha. La siembra se realizó a finales de junio, justo después del primer riego. EL fertilizante nitrogenado se aplicó en tres etapas (plantación, aparición del tallo y floración), mientras que los fertilizantes a base de fósforo y potasio se emplearon sobre el suelo antes de la plantación.

Mediciones

Para determinar el rendimiento de los granos, se descartaron las hileras de los extremos laterales y 50 cm del inicio y final de cada parcela. Se empleó la siguiente ecuación para determinar EEA.

(1) EEA según los rendimientos económicos = $\frac{Yec}{EA}$

La anterior ecuación refiere a EEA como la eficiencia económica del agua (kg/m³), Yec es el rendimiento del grano con un contenido de humedad de 15% (kg), mientras que EA es el volumen de agua consumido (metro cúbico).

En la fase de 8 hojas, cada 21 días, se midió el índice de área foliar (IAF), la materia seca total (MST), el ritmo de crecimiento del cultivo (RCC), el ritmo de crecimiento relativo (RCR), y el ritmo de absorción neto (RAN) de las muestras. Se emplearon las siguientes relaciones para medir los índices.

(2) $RCC = \frac{(w_2 - w_1)}{(t_2 - t_1)}$

(3) $RAN = RCC / IAF$

(4) $RCR = \ln w_2 - \ln w_1 / t_2 - t_1$

(5) $IAF = AF / AS$

En las ecuaciones anteriores, w es el peso seco de la planta, t es el tiempo y AF es el área foliar. AS es el área del terreno en metros cuadrados ocupados por la planta.

Análisis estadísticos

Se analizaron los resultados mediante SAS (SAS Institute, 2001), versión estadística 9.3, mediante el método o programa PROC GLM. Para comparar el promedio de rasgos, se realizó la prueba LSD con una probabilidad del 5%.

Resultados y discusión

Rendimiento de los granos

Los resultados mostraron que la interacción del laboreo de los suelos y los fertilizantes tuvieron un impacto significativo en los rendimientos. Sin embargo, el año y el efecto de la interacción triple (año-laboreo-fertilizante) no tuvieron un impacto significativo sobre los rendimientos (Tabla 3). La comparación de medias de la interacción de los efectos mostró que el mayor rendimiento de los granos se obtuvo en el tratamiento laboreo LM y (NPK)₁₀₀ con 8401 kg/ha, mayor que el tratamiento NL y (NPK)₀ con rendimientos de 5239kg/ha (Fig. 1). Según los resultados, se puede plantear que en el laboreo LM, durante el primer año, los nutrientes llegaron fácilmente a las plantas. Por lo tanto, la fertilidad y tasa de conversión de los flósculos en semilla fue mayor. Pero, en el sistema NL de la región estudiada, se observó una baja humedad relativa del aire. El proceso de caída de los residuos de las plantas fue lento y debido a que los nutrientes son lentamente liberados, no pueden llegar a las plantas de manera apropiada durante el primer año. Por consiguiente, las plantas en la fase de polinización enfrentan un déficit nutricional y finalmente, se reduce la fertilidad. Los resultados de este estudio revelaron que la absorción y transferencia de elementos a una parte diferente de las plantas aumentaron con la aplicación de altas cantidades de fertilizantes (NPK). Además, el rendimiento de los granos se elevó en la fase de crecimiento reproductivo, particularmente en la fase de llenado de los granos, gracias a una remobilización de los nutrientes. Los elementos macro (NPK) aumentaron los rendimientos del cultivo debido a su aporte al crecimiento vegetativo. Por otra parte, la alta capacidad del maíz para absorber estos elementos se debe a su efectivo sistema fotosintético. En consecuencia, la aplicación de fertilizantes puede conllevar a mayores rendimientos de manera indirecta, al incrementar el peso 1000-grano y el número de semillas. La aplicación de un laboreo correcto y el sistema de cobertura afecta los rendimientos del cultivo (Fathi & Zeidali, 2021). Las razones de esta reducción en los

niveles de rendimientos del grano durante el primer año de aplicado el sistema NL son el bajo contacto de la semilla con el suelo, ocasionado por los residuos de las plantas existentes en la superficie del suelo y una mayor resistencia del suelo hacia el crecimiento. Además, las pérdidas de rendimiento en el sistema NL en comparación con el sistema normal se da por una mayor compactación del suelo y la ausencia de condiciones para el crecimiento de las raíces. La compactación del suelo produce una reducción del crecimiento radicular, que conlleva a una reducción del consumo de agua y nutrientes por parte del cultivo.

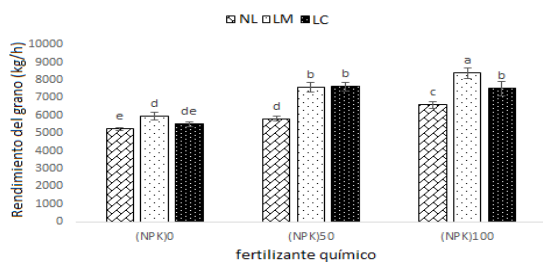


Fig. 1. Interacción entre el laboreo y el fertilizante en los rendimientos.

EEA: Los resultados de este estudio mostraron que el efecto del tratamiento primario de laboreo y fertilización y su interacción en el EEA tuvo un impacto significativo ($p < 0,01$), mientras que el impacto principal del año y la triple interacción (año, laboreo, fertilización) no tuvo un efecto significativo sobre este rasgo (Tabla 3). La comparación de las interacciones medias mostró que el EEA alto en el tratamiento de conservación mediante el consumo de $(NPK)_{100}$ se obtuvo a $0,98 \text{ kg/m}^3$, mayor que NL. El valor del volumen de fertilizante no utilizado $(NPK)_0$ fue de $0,61 \text{ kg-m}^3$ (Fig. 2.) Al parecer, el laboreo de conservación y NL, con los residuos de las plantas y la evaporación del agua, así como con la persistencia de humedad e infiltración del suelo protector, produjo el mayor EEA. Los investigadores reportaron que el empleo de NL en tratamientos con riego completo aumentará la permeabilidad y conductividad del agua en el suelo, además de aumentar la eficiencia del riego (Adiku et al., 2001; English & Raja, 1996). ML o NL ahorra más agua de lo común (Farahani et al., 1998). Los investigadores también halaron que los sistemas NL pudieran ser la solución al aumento del almacenaje de agua en el suelo y los rendimientos de granos (López-Bellido et al., 2003).

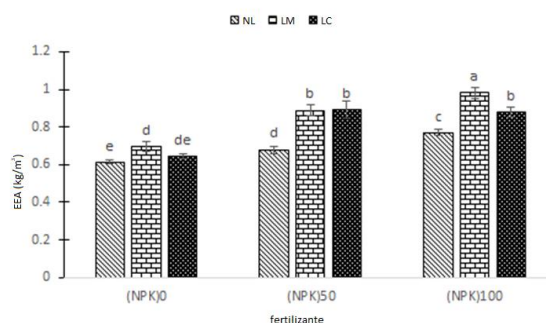


Fig. 2. Interacción entre el laboreo y el tratamiento con fertilizantes el EEA económico.

IAF Los resultados de este estudio mostraron que el efecto del tratamiento primario de laboreo y fertilización tuvieron un impacto significativo en el IAF, mientras que el año y la triple interacción (año, laboreo, fertilización) no tuvieron un efecto significativo sobre el IAF. Los resultados demostraron que el impacto del laboreo y los fertilizantes químicos en el IAF fueron significativos en los días 70 y 91 de plantación (Tabla 3), pero al menos 49 y 112 días después de la plantación los efectos no fueron significativos. En la segunda y tercera fases, se obtuvo el máximo IAF, luego, este decreció. Los resultados mostraron que el más alto IAF se obtuvo en el tratamiento LM, con 5,1, mientras que el más bajo se observó en el tratamiento LC, con 4,6. También, el mayor IAF a los 91 días de plantado en NPK 100 fue de 5,29, mientras que el más bajo se obtuvo en el tratamiento sin la aplicación del fertilizante, con 4,4 (Fig. 3 y 4). Debido a la disponibilidad de los fertilizantes químicos para el maíz mediante el laboreo protector y el molinaje de plantas de trigo y suelo, se liberan los nutrientes necesarios gradualmente, lo que trae consigo una mayor disponibilidad de nitrógeno para el maíz, que aumenta el IAF. El IAF en LM fue superior en todas las fases del crecimiento que con los otros métodos, lo cual se atribuye a las óptimas condiciones de cobertura del suelo y desarrollo de la vegetación en menor tiempo. El IAF es un factor clave para determinar la capacidad fotosintética de las plantas. Según algunos estudios, el IAF puede ser utilizado para estimar de manera confiable los cambios en los rendimientos de los cultivos. Kim et al. (2012) encontró que el área foliar está estrechamente correlacionada tanto con el potencial de fotosíntesis como con el crecimiento. Fey et al. (2012) también tuvo resultados similares. La MST resulta de la eficiencia de la comunidad de la planta al emplear la luz solar durante la etapa de crecimiento. Para que la comunidad de la planta logre una absorción óptima de la luz y la cobertura se necesita tener suficiente volumen de área foliar uniforme t que cubre la planta de manera uniforme (Fortin et al, 2013).

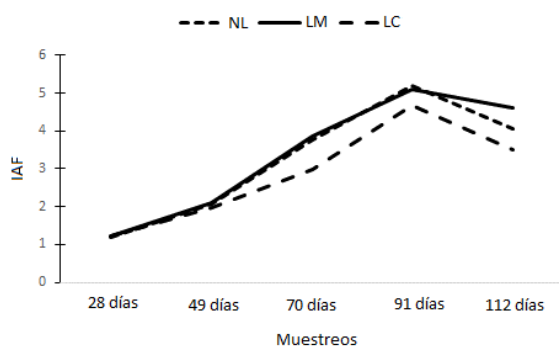


Fig. 3. Efecto del tratamiento de laboreo sobre el IAF

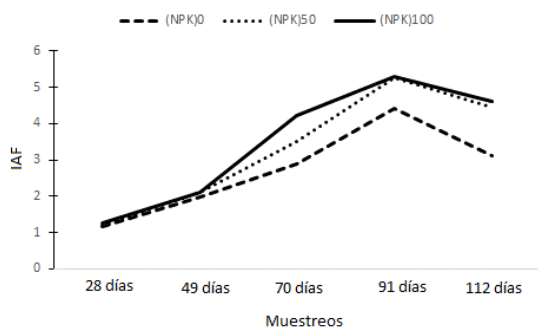


Fig. 4. Efecto del tratamiento con fertilizante el IAF

MST: Los resultados de este estudio mostraron que el efecto del tratamiento primario de laboreo y fertilización tuvo un impacto significativo en el IAF, mientras que el año y la triple interacción (año, laboreo, fertilización) no tuvieron un efecto significativo sobre el IAF. Los resultados mostraron que el efecto del laboreo y la fertilización sobre la MST fue significativo a los 70 y 91 días de plantación (Tabla 3), pero a los 49 y 112 días de plantados no se observó ningún efecto significativo. Se demostró que la mayor cantidad de materia seca total se obtuvo en el tratamiento con mínimo laboreo (4542,7 g/m²), mientras que el menor valor se obtuvo mediante el cultivo tradicional (4029,2 g/m²). También, el mayor volumen de MST se observó a los 91 días de plantado en NPK 100 (4562,7 g/m²), mientras que el más bajo se obtuvo en el tratamiento sin la aplicación del fertilizante, con 3946,4 g/m² (Fig. 5 y 6). Generalmente, durante la etapa de crecimiento, la velocidad de acumulación de MS es lenta y gradual al principio del crecimiento. La sequedad se hace más positiva hasta alcanzar su pico en la curva y luego disminuye a medida que la MS de las hojas aumenta y finalmente se detiene. Debido a la pequeña talla de las plantas y el lento crecimiento al principio de la etapa de crecimiento, no existieron diferencias entre los métodos de laboreo en cuanto a incrementos en la acumulación de MS. Aún así, la acumulación de MS entró rápidamente en una etapa de crecimiento lineal alrededor de 49 días de plantadas. Comenzó a crecer y alcanzó su máximo nivel aproximadamente a los 91 días después del implante, manteniendo la misma tendencia casi de

manera constante. El laboreo de conservación presentó mayor acumulación de MS que NL, lo cual puede haber sido ocasionado por el mayor índice de área foliar y, en consecuencia, una absorción de luz y fotosíntesis en las copas de la planta. También se observó un aumento en la acumulación de MS de la planta mediante los métodos de laboreo de conservación que en los LC debido a una mayor disponibilidad de agua, mejores condiciones de crecimiento y residuos vegetales que confieren nutrientes durante la etapa de crecimiento, que constituye una mejora. El nitrógeno es uno de los nutrientes que afectan la actividad de las enzimas fotosintéticas y por consiguiente, la acumulación de MS de la planta. La presencia de residuos vegetales en el LC de las plantas de maíz conllevó a mayores niveles de nitrógeno del suelo y en última instancia se incrementó la acumulación de MS mediante los métodos de laboreo, lo cual fue consistente con los resultados de otros investigadores (Eshel et al., 2015; Kwaw-Mensah and Al-Kaisi, 2006).

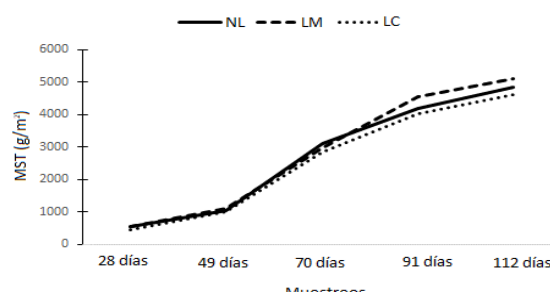


Fig. 5. Efecto del tratamiento de laboreo sobre la MST

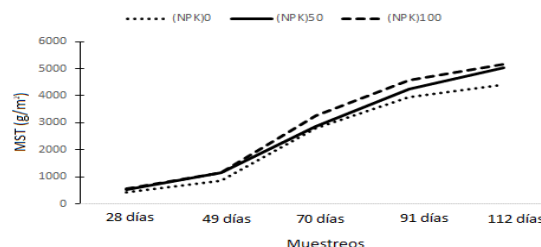


Fig. 6. Efecto del fertilizante químico sobre la MST

RCC: Los resultados de este estudio revelaron el efecto significativo del laboreo y la fertilización sobre el RCC, con un 1% de probabilidad a los 49 y 70 días después de plantados (Table 3), pero a los 91 y 112 días después de plantados no se observaron efectos significativos. Además, entre la segunda y tercera etapas se obtuvo el máximo RCC y a partir de entonces, disminuyó la velocidad de RCC (Fig. 7). Adicionalmente, el máximo RCC a los 70 después de plantados en el tratamiento LM fue de 73,99 g/m².día⁻¹, y el más alto RCC con el fertilizante químico (NPK) 100 fue de 62,75 g/m².día⁻¹ (Fig. 8). La interacción del laboreo y los fertilizantes durante la primera etapa del muestreo no fue significativa. Esto se justifica por la posibilidad de que estos dos factores pueden no haber influido en la tasa de crecimiento debido que la inexistencia de suficiente tiempo y la planta empleó más las reservas de las

semillas para su crecimiento. En la última etapa, al perderse la MS de la planta, la MS producida disminuyó y no trajo consigo efectos significativos de estos dos factores sobre el RCC. Por otra parte, a mayor ritmo de crecimiento, mayor el rendimiento final. Esto fue posible gracias a que las partes adicionadas a la planta son tejidos estructurales no metabólicamente activos y no desempeñan un papel en la fotosíntesis (Albayrak & Camas, 2005). En las últimas etapas del crecimiento, debido a la reducción de los niveles de brotes y la disminución del ritmo de fotosíntesis, se observó un decrecimiento en la eficiencia del material transferido a la semilla y la acumulación de MS. EL aumento de RCC al comienzo de la etapa de crecimiento se debe a un rápido crecimiento de la hojas y tallos, que requieren suficientes nutrientes para el crecimiento y desarrollo de las plantas, especialmente en las etapas críticas del crecimiento.

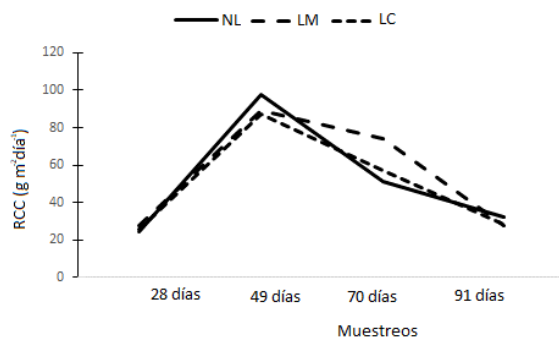


Fig. 7. Efecto del tratamiento de laboreo sobre RCC

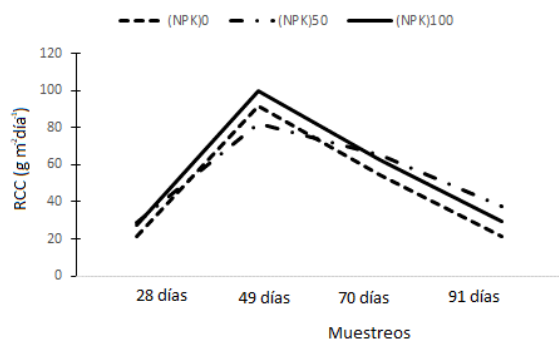


Fig. 8. Efecto del fertilizante químico sobre RCC

RCC: Los resultados de este estudio revelaron el efecto significativo del laboreo y la fertilización sobre el RCC a los 49 y 70 días después de plantados con una probabilidad de 1% (Tabla 3). A los 91 y 112 días de plantados no se observaron efectos significativos. Los resultados mostraron que el más alto RCC se obtuvo en el tratamiento LM a los 70 días, con 0,012 g/g día⁻¹, mientras que el más bajo se observó en el LC, con 0,0083 g/g día⁻¹. EL más alto RCC con la aplicación del fertilizante (NPK) 100 fue de 0,0142 g/g día⁻¹, mientras que el menos RCC en el tratamiento sin fertilizante fue de 0,0077 g/g día⁻¹

(Fig. 9 and 10). Al parecer la tendencia RCC del cultivo en los diferentes métodos del suelo también mostró que la planta tuvo el más alto RCC en el periodo de crecimiento temprano y disminuyó con el tiempo, hasta alcanzar la etapa de crecimiento tardío. EL RCC es el volumen de MS acumulado en la planta por unidad de tiempo. EL RCC tiene una tendencia a decrecer en la vida del cultivo (Karimi & Siddique, 1991). Tal tendencia sería posible gracias al aumento gradual de la absorción de radiación solar a medida que aumenta el área foliar en el periodo de crecimiento temprano y debido a la velocidad de la MST en las plantas.

Tabla 3 (ver el anexo).

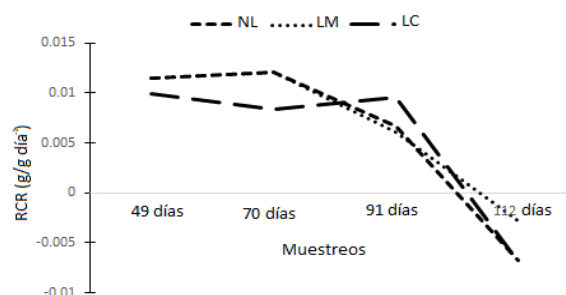


Fig. 9. Efecto del tratamiento de laboreo sobre RCR

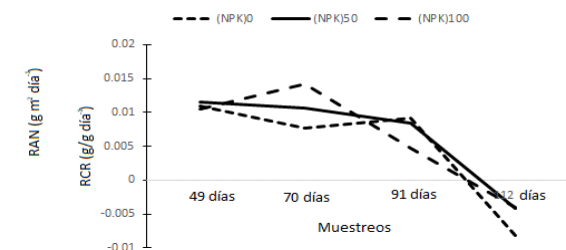


Fig. 10. Efecto del tratamiento con fertilizante el RCR

RAN: Los resultados de este estudio revelaron que el efecto del laboreo y la fertilización sobre el ritmo de asimilación neta (RAN) fue significativo con una probabilidad de 1% a los 70 después de la plantación (Tabla 3), pero no tuvo un efecto significativo a los 49 y 112 días después de plantados. Los resultados mostraron que el más alto RAN se obtuvo en el LC a los 70 días, con 16,12 g/g día⁻¹, mientras que el más bajo se observó en el LM, con 13,8 g/g día⁻¹. También, el mayor RAN fue observado en NPK 100 (14,57 g/m²), mientras que el más bajo se obtuvo en el tratamiento sin la aplicación del fertilizante, con 13,45 g/m² (Fig. 11 y 12). RAN constituye un criterio apropiado para la expresión de las características del crecimiento de las plantas y debido a que las hojas son el factor fotosintético primario de las plantas, tal expresión se basa en el área foliar. Los cambios de RAN en los métodos de laboreo y fertilización parecen ser inicialmente hacia arriba, posiblemente por las hojas jóvenes y mayor fotosíntesis, con un decremento de la absorción neta por parte de las hojas crecientes y las sombras, lo que indica una

tendencia descendiente. Este fue mayor con el LC, ya que existe un mejor desarrollo del sistema radicular que mediante otros métodos de laboreo RAN. El desarrollo del sistema radicular puede haber absorbido los nutrientes hacia la planta y haber elevado el RAN de la fotosíntesis. Los investigadores reportaron que el acceso de la planta al fertilizante nitrogenado aumentó el RAN en las etapas tempranas del crecimiento de las plantas. También argumentaron que, aunque 100, 75, and 150 kg ha⁻¹ de fertilizante nitrogenado mostró la mayor absorción a 75 kg ha⁻¹, no se observaron diferencias significativas entre los varios niveles de nitrógeno (Lucas, 1986).

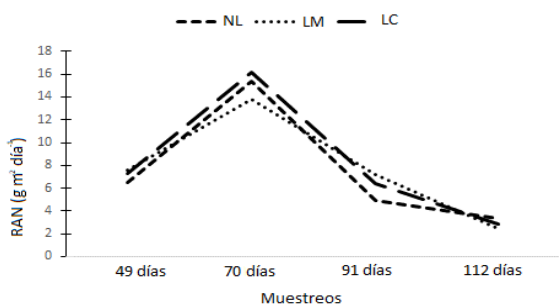


Fig. 11. Efecto del tratamiento de laboreo sobre RAN

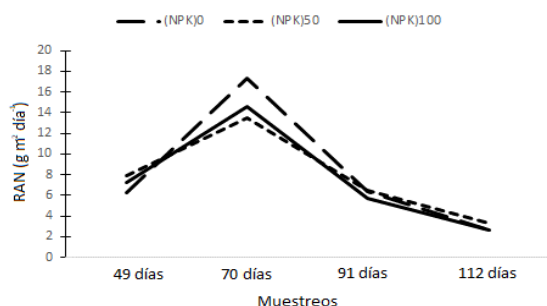


Fig. 12. Efecto del fertilizante químico sobre RAN

Conclusiones

Según los resultados reportados en esta investigación, el laboreo mínimo mostró la más alta eficiencia en comparación con otros métodos de laboreo. Posiblemente la tendencia del RCR en los diferentes métodos de laboreo también mostró que la planta tuvo el más alto RAN al comienzo del periodo de crecimiento y disminuyó con el tiempo, hasta alcanzar la etapa de crecimiento tardío. El laboreo mínimo presentó mayor MS que el no laboreo gracias a el mayor índice de área foliar y, en consecuencia, absorción de la luz y la fotosíntesis en las copas del maíz. Según los resultados de este estudio, se puede afirmar que el laboreo mínimo mejora los rendimientos del maíz con el más alto EEA, y también puede incrementar sus propiedades durante la temporada de crecimiento.

Contribución de los autores

Amin Fathi: planeación de la investigación, análisis de resultados, redacción y revisión final.

Davood Barari Tari: planeación de la investigación, análisis de resultados, redacción y revisión final.

Hormoz Fallah Amoli: análisis de resultados, redacción y revisión final.

Yousef Niknejad: análisis de resultados, redacción y revisión final.

Conflictos de Interés

No se declaran

Referencias

- Adiku, S.G., Ozier-Lafontaine, H., & Bajazet, T. (2001). Patterns of root growth and water uptake of a maize-cowpea mixture grown under greenhouse conditions. *Plant and Soil*, 235(1), 85-94. <https://doi.org/10.1023/A:1011847214706>
- Albayrak, S., & Camas, N. (2005). Effects of different levels and application times of humic acid on root and leaf yield and yield components of forage turnip (*Brassica rapa* L.). *Journal of Agronomy*, 4(2), 130-133. <https://doi.org/10.3923/ja.2005.130.133>
- Ball, B. C., Scott, A., & Parker, J. P. (1999). Field N₂O, CO₂ and CH₄ fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality in Scotland. *Soil and Tillage Research*, 53(1), 29-39. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(99\)00074-4](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(99)00074-4)
- English, M., & Raja, S. N. (1996). Perspectives on deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 32(1), 1-14. [https://doi.org/10.1016/s0378-3774\(96\)01255-3](https://doi.org/10.1016/s0378-3774(96)01255-3)
- Eshel, G., Egozi, R., Goldwasser, Y., Kashti, Y., Fine, P., Hayut, E., Kazukro, H., Rubin, B., Dar, Z., Keisar, O., & DiSegni, D. M. (2015). Benefits of growing potatoes under cover crops in a Mediterranean climate. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 211, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.05.002>
- Farahani, H. J., Peterson, G. A., & Westfall, D. G. (1998). Dryland cropping intensification: A fundamental solution to efficient use of precipitation. *Advances in agronomy*, 64, 197-223. [https://doi.org/10.1016/s0065-2113\(08\)60505-2](https://doi.org/10.1016/s0065-2113(08)60505-2)
- Fathi, A., Farnia, A., & Maleki, A. (2016). Effects of biological nitrogen and phosphorus fertilizers on vegetative characteristics, dry matter and yield of corn. *Applied Field*

- Crops Research*, 29(1), 1-7.
<https://doi.org/10.22092/aj.2016.109214>
- Fathi, A., & Zeidali, E. (2021). Conservation tillage and nitrogen fertilizer: a review of corn growth and yield and weed management. *Central Asian Journal of Plant Science Innovation*, 1(3), 121-142.
<https://doi.org/10.22034/CAJPSI.2021.03.01>
- Fey, Y., Jiulin, S., Hongliang, F., Zuofang, Y., Jiahua, Z., Yunqiang, Z., Kaishan, S., Zongming W., & Maogui, H. (2012). Comparison of different methods for corn LAI estimation over northeastern China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 18, 462-471.
<https://doi.org/10.1016/j.jag.2011.09.004>
- Fortin, J. G., Anctil, F., & Parent, L. E. (2013). Comparison of physically based and empirical models to estimate corn (*Zea mays* L) LAI from multispectral data in eastern Canada. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 39(1), 89-99.
<https://doi.org/10.5589/m13-010>
- Habtegebrail, K., Singh, B. R., & Haile, M. (2007). Impact of tillage and nitrogen fertilization on yield, nitrogen use efficiency of tef (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter) and soil properties. *Soil and Tillage Research*, 94(1), 55-63.
<https://doi.org/10.1016/j.still.2006.07.002>
- Halvorson, A. D., Mosier, A. R., Reule, C. A., & Bausch, W. C. (2006). Nitrogen and tillage effects on irrigated continuous corn yields. *Agronomy Journal*, 98(1), 63-71.
<https://doi.org/10.2134/agronj2005.0174>
- Kardoni, F., Bahamin, S., Khalil Tahmasebi, B., Ghavim-Sadati, S. H., and Vahdani, S. E. (2019). Yield comparisons of mung-bean as affected by its different nutritions (Chemical, Biological and Integration) under tillage systems. *Journal of Crop Ecophysiology*, 13, 49(1), 87-102.
<https://doi.org/10.30495/jcep.2019.664839>
- Karimi, M. M., & Siddique, K. H. M. (1991). Crop growth and relative growth rates of old and modern wheat cultivars. *Australian Journal of Agricultural Research*, 42(1), 13-20.
<https://doi.org/10.1071/ar9910013>
- Kim, S. H., Hong, S. Y., Sudduth, K. A., Kim, Y., & Lee, K. (2012). Comparing LAI estimates of corn and soybean from vegetation indices of multi-resolution satellite images. *Korean Journal of Remote Sensing*, 28(6), 597-609.
<http://dx.doi.org/10.7780/kjrs.2012.28.6.1>
- Kwaw-Mensah, D., & Al-Kaisi, M. (2006). Tillage and nitrogen source and rate effects on corn response in corn-soybean rotation. *Agronomy journal*, 98(3), 507-513.
<https://doi.org/10.2134/agronj2005.0177>
- López-Bellido, R. J., López-Bellido, L., López-Bellido, F. J., & Castillo, J. E. (2003). Faba bean (*Vicia faba* L.) response to tillage and soil residual nitrogen in a continuous rotation with wheat (*Triticum aestivum* L.) under rainfed Mediterranean conditions. *Agronomy Journal*, 95(5), 1253-1261.
<https://doi.org/10.2134/agronj2003.1253>
- Lucas, E. O. (1986). The effect of density and nitrogen fertilizer on the growth and yield of maize (*Zea mays* L.) in Nigeria. *The Journal of Agricultural Science*, 107(3), 573-578.
<https://doi.org/10.1017/S0021859600069744>
- Muñoz-Romero, V., Lopez-Bellido, L., & Lopez-Bellido, R. J. (2015). Effect of tillage system on soil temperature in a rainfed Mediterranean Vertisol. *International Agrophysics*, 29(4), 467-473.
<https://doi.org/10.1515/intag-2015-0052>
- Mutegi, J. K., Munkholm, L. J., Petersen, B. M., Hansen, E. M., & Petersen, S. O. (2010). Nitrous oxide emissions and controls as influenced by tillage and crop residue management strategy. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(10), 1701-1711.
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.06.004>
- Quincke, J. A., Wortmann, C. S., Mamo, M., Franti, T., Drijber, R. A., & Garcia, J. P. (2007). One-time tillage of no-till systems: Soil physical properties, phosphorus runoff, and crop yield. *Agronomy Journal*, 99(4), 1104-1110.
<https://doi.org/10.2134/agronj2006.0321>
- Salvagiotti, F., Cassman, K. G., Specht, J. E., Walter, D. T., Weiss, A., & Dobermann, A. (2008). Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. *Field Crops Research*, 108, 1-13.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.03.001>
- Thomas, H., Ougham, H. J., Wagstaff, C., & Stead, A. D. (2003). Defining senescence and death. *Journal of experimental botany*, 54(385), 1127-1132.
<https://doi.org/10.1093/jxb/erg133>
- Unger, P. W. (1994). Ridge tillage for continuous grain sorghum production with limited irrigation. *Soil and Tillage Research*, 31(1), 11-22.
[https://doi.org/10.1016/0167-1987\(94\)90091-4](https://doi.org/10.1016/0167-1987(94)90091-4)
- USDA. (2021). *Grain: World markets and trade*. Accessed August 1, 2021.
<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf>
- Vanhie, M., Deen, W., Lauzon, J. D., & Hooker, D. C. (2015). Effect of increasing levels of maize (*Zea mays* L.) residue on no-till soybean (*Glycine Max* Merr.) in northern production regions: A review. *Soil* &

Tillage Research, 150, 201–210.
<https://doi.org/10.1016/j.still.2015.01.011>

Abreviaturas: No Laboreo (NL), Laboreo mínima (LM), Laboreo convencional (LC), Eficiencia económica del agua (EEA), Índice del área foliar

(IAF), Materia seca total (MST), Tasa de crecimiento del cultivo (RCC), Tasa de crecimiento relativo (RCR), Ritmo de absorción neto (NAR), Materia seca (MS)

Anexo: Tabla 3. Efecto del laboreo y la fertilización

RAN	RCR	RCC	MST	IAF	EEA	Rendimiento de la semilla	FD	
1,7584 ns	0,000001 ns	1260,47 ns	15689,86 ns	0,518103 ns	0,05298*	3872782,6*	1	Año (A)
176,8167	0,000016	3016,73	51399,99	0,408036	0,00970	709203,3	6	R(A)
33,9963 **	0,000081**	750,75*	55762,36**	0,155351**	0,17904**	13088322,8**	2	Laboreo (L)
0,0022 ns	0,000000 ns	1,19 ns	45,61 ns	0,000007 ns	0,00888 ns	648993,5 ns	2	L*A
6,7451	0,000014	138,41	1640,74	0,019545	0,00775	566566,9	12	Error L
94,3856	0,000132	1828,36*	148129,10**	0,165137**	0,33197**	24268037,4**	2	Fertilizante químico (FQ)
0,0186 ns	0,000000 ns	2,69 ns	114,95 ns	0,000004 ns	0,00289 ns	211508 ns	2	FQ* A
4,2685 ns	0,000011 ns	317,97 ns	917,63 ns	0,024429 ns	0,02169**	1585388,9**	4	FQ* L
0,0189 ns	0,000000 ns	0,37 ns	1,01 ns	0,000001 ns	0,00194 ns	141797,3 ns	4	FQ* L A
8,2307	0,000002	179,68	1131,99	0,028025	0,00433	316538,4	36	Error
18,9	19,4	14,6	8	8,13	11,2	8,4	-	VC (%)

*, ** y ns, muestran las diferencias significativas a un cinco por ciento, uno por ciento y sin diferencias significativas, respectivamente