

## Labranza mecanizada y fertilización del suelo: efectos sobre el comportamiento agronómico y productividad del cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

### Mechanized tillage and soil fertilization: effects on the agronomic behavior and productivity of the corn crop (*Zea mays* L.)

Daniel Vera Aviles<sup>1</sup> , Martin Orrala Icaza<sup>1</sup> , Cristian Mendoza Hernandez<sup>1</sup> , Freddy Sabando Avila<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales  
Autor de correspondencia: [dvera@uteq.edu.ec](mailto:dvera@uteq.edu.ec)

Recibido: 12/04/2023. Aceptado: 27/05/2023  
Publicado el 30 de junio de 2023

#### Resumen

El manejo de la fertilización edáfica como foliar, así como su aplicación de acuerdo con los cambios generados por la mecanización del suelo son factores determinantes de la producción maicera. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la mecanización y fertilización del maíz en las propiedades físicas del suelo y rendimiento. El ensayo se realizó en el departamento de suelos del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). El diseño experimental utilizado fue bloques completo al azar con tres repeticiones. Se identificó que el comportamiento agronómico del cultivo varía en cada tratamiento para las variables diámetro del tallo y la altura de planta. Sin embargo, el peso de 100 semillas y mazorcas más largas se presentaron en el T6: NPK+ SL + CFF. (51.15 g y 17.05 cm) y el diámetro de las mazorcas fue mayor en T8: NPK + CL + CFF (4.79 cm). La combinación de fertilización completa en ausencia de labranza y en ausencia de fertilización foliar permitió la obtención de un mayor nivel de rendimiento en el híbrido de maíz en estudio (3,597.86 kg ha<sup>-1</sup>). El beneficio económico fue mayor al combinar la fertilización completa con ausencia de labranza y la ausencia de fertilización foliar, con un 64.05% de rentabilidad.

**Palabras claves:** fertilización completa, laboreo de suelos, mecanización del suelo, rendimiento.

#### Abstract

The management of edaphic and foliar fertilization, as well as its application according to the changes generated by soil mechanization are determining factors in corn production. The objective of this research was to evaluate the effect of mechanization and fertilization of corn on soil physical properties and yield. The trial was conducted at the soil department of the National Institute of Agricultural Research (INIAP). The experimental design used was completely randomized blocks design with three replications. It was possible to identify that the agronomic behavior of the crop varied in each treatment for the variables stem diameter and plant height. However, the weight of 100 seeds and longer cobs were presented in T6: NPK+ SL + CFF. (51.15 g and 17.05 cm) and the diameter of the cobs was greater in T8: NPK + CL + CFF (4.79 cm). The combination of complete fertilization in no-tillage and in the absence of foliar fertilization allowed obtaining a higher yield level in the maize hybrid under study (3,597.86 kg ha<sup>-1</sup>). The economic benefit was higher when combining complete fertilization with no-tillage and no foliar fertilization, with a 64.05% profitability.

**Keywords:** complete fertilization, soil tillage, soil mechanization, yield.

## Introducción

El maíz (*Zea mays* L) es uno de los cultivos más importantes para la alimentación de los ecuatorianos ya que su producción provee la materia prima para la agroindustria y la alimentación humana. Según los datos del Sistema de Información Agropecuaria del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), durante el ciclo de invierno de 2022, en el país se sembraron alrededor de 380 mil hectáreas, que significa un 9% menos que en el período 2021; es decir, unas 20 mil hectáreas, aproximadamente. Por cada hectárea, se cultiva siete toneladas de maíz. En la actualidad, la producción nacional está orientada principalmente a los tipos duro y suave de color amarillo; el rendimiento promedio del maíz amarillo duro fue de 5.76 t ha<sup>-1</sup> según estimaciones del Ministerio de Agricultura (Caviedes, 2019).

La inversión limitada en insumos para reponer los nutrientes del suelo, la labranza continua, las precipitaciones escasas son las principales causas de la disminución de la productividad agrícola en la mayoría de los países mundo. Esto se debe en parte a la extracción continua de nutrientes a través de la cosecha de cultivos, las pérdidas de nutrientes a través de la escorrentía y la erosión sin una reposición proporcional a través de la aplicación externa de insumos que mejoran la fertilidad del (Kiboi *et al.*, 2019).

El laboreo del suelo es una práctica mecanizada empleada para removerlo está dirigida a acondicionar el terreno para facilitar diversas labores agrícolas en provecho del crecimiento y desarrollo de cultivos (García *et al.*, 2018); una labranza adecuada debe favorecer la producción de los cultivos a la vez mantener la fertilidad del suelo en cuanto a materia orgánica, N, P, K, capacidad de intercambio catiónico y la estructura; sin embargo, el uso intensivo e inapropiado de los implementos de labranza puede provocar procesos de degradación del suelo (Kirkegaard *et al.*, 2020).

El impacto negativo de la labranza convencional en la fertilidad del suelo puede ser mitigado mediante sistemas de labranza menos agresivos tal como la labranza reducida usando arado de cincel y labranza cero (Barut y Celik, 2017); ambos son sistemas de labranza de conservación practicada en la producción agrícola, se diferencian en cuanto a residuos administrados; en labranza reducida, el residuo se incorpora según la profundidad de arado y en labranza cero, el residuo retenido se encuentra en la superficie del suelo (Singh *et al.*, 2020).

La labranza reducida o vertical, comprende la utilización de un arado que rompa el suelo en forma vertical sin voltearlo, esta intervención facilita la infiltración sin dañar la estructura del suelo, sin embargo, debido a que no se utilizan aperos apropiados del suelo, podría limitar la germinación de las plantas (Gómez-Calderón *et al.*, 2018).

El determinar los procesos de manejo como la mecanización y la fertilidad permitirá la optimización de los recursos disponibles por el agricultor, de esta manera verificar

los efectos directos sobre la producción del híbrido de maíz INIAP H-554. Este estudio permitió validar alternativas de labranza mecanizada y así minimizar los efectos causados por el sistema de labranza, sin que esto implique disminuir los rendimientos en el cultivo de maíz, por tal motivo el objetivo de esta investigación es evaluar las variaciones en el comportamiento agronómico de plantas de maíz por efecto de mecanización del suelo y fertilización, así como identificar la interacción que provoca los mejores rendimientos del maíz híbrido INIAP-H554, por efecto de la mecanización y fertilización, por último, realizar un análisis económico en relación beneficio costo de los tratamientos basado en los niveles de mecanización y fertilización del cultivo del maíz.

## Materiales y métodos

### Descripción del sitio experimental

El experimento se llevó a cabo durante la época lluviosa del año 2021 en la Estación Experimental Tropical Pichilingue del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Ecuador, ubicado en el km. 5.5 de la vía Quevedo – El Empalme, en las coordenadas geográficas 1°04'36.5" latitud Sur y 79°29'18.1" longitud Oeste, a una altitud de 80 m.s.n.m. El sitio se caracteriza por un clima tropical húmedo con una precipitación media anual de 2,252 mm, temperatura media anual de 26 °C, Heliofanía de 1,213 horas luz año y la humedad relativa del 85%. El tipo de suelo es de textura franco arcilloso y arenoso.

### Diseño Experimental y Tratamientos

Se evaluaron dos prácticas de labranza: sin labranza (SL) y labranza convencional (CL); tres fuentes de fertilización edáfica: Sin fertilización edáfica (SFE), N-P-K (F-NPK) y fertilización completa (FC); Fertilización foliar: Sin fertilización foliar (SFF) y con fertilización foliar (CFF). Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA), con doce tratamientos y tres repeticiones para cada tratamiento (Tabla 1).

### Manejo del experimento

Se utilizó como material genético el híbrido de maíz INIAP H-554, obtenido en la Estación Experimental Tropical Pichilingue del INIAP. La preparación del suelo se realizó de acuerdo con las prácticas de labranza a evaluar. En la labranza convencional se realizó un primer pase longitudinalmente y un segundo pase transversalmente usando un arado de disco a una profundidad de 50 cm. En el sistema sin labranza se procedió a la limpieza del terreno manualmente.

La siembra se efectuó de forma manual depositando una semilla por sitio, con distanciamiento de 0.80 m entre hileras y 0.20 m entre plantas, dando una población de 62,500 plantas ha<sup>-1</sup>.

Las aplicaciones de los fertilizantes edáficos estuvieron basadas en las dosis usadas por pequeños productores y por la

recomendación técnica de la Estación Experimental Tropical Pichilingue (Tabla 2)

**Tabla 1. Descripción de los tratamientos evaluados**

Tratamientos	Fertilización Edáfica	Mecanización (labranza)	Fertilización Foliar
T1	Sin fertilización edáfica	Sin labranza	Sin fertilización foliar
T2	Sin fertilización edáfica	Sin labranza	Con fertilización foliar
T1	Sin fertilización edáfica	Sin labranza	Sin fertilización foliar
T2	Sin fertilización edáfica	Sin labranza	Con fertilización foliar
T3	Sin fertilización edáfica	Con labranza	Sin fertilización foliar
T4	Sin fertilización edáfica	Con labranza	Con fertilización foliar
T5	N-P-K	Sin labranza	Sin fertilización foliar
T6	N-P-K	Sin labranza	Con fertilización foliar
T7	N-P-K	Con labranza	Sin fertilización foliar
T8	N-P-K	Con labranza	Con fertilización foliar
T9	Fertilización completa	Sin labranza	Sin fertilización foliar
10	Fertilización completa	Sin labranza	Con fertilización foliar
11	Fertilización completa	Con labranza	Sin fertilización foliar
12	Fertilización completa	Con labranza	Con fertilización foliar

**Tabla 2. Descripción de los tipos de fertilización y dosis aplicadas**

Tipo de fertilización	Fertilizantes	Dosis (kg ha <sup>-1</sup> )
Fertilización convencional del Productor	Nitrógeno	101
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	23
	K <sub>2</sub> O	30
Fertilización completa	Nitrógeno	180
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	46
	K <sub>2</sub> O	63
	MgO	34
	SO <sub>4</sub>	44
	B	1.5
	Zn	4.0
	Mn	2.5
Cu	1.0	

La fertilización del ensayo en los tratamientos se realizó aplicando el 100% del P, K, S y Mg a la siembra; el nitrógeno

fraccionado en tres aplicaciones 15, 25 y 40 días después de la siembra. La fertilización foliar se efectuó a los 25 y 40 días después de la siembra utilizando fosfito de potasio en dosis de 1.5 L ha<sup>-1</sup>, tratando de completar las necesidades de potasio, elemento que la planta necesita en mayor proporción.

#### **Variables y análisis estadísticos**

Se evaluó la altura de planta, diámetro de tallo, diámetro

de mazorca, longitud de mazorca, peso de 100 semillas y rendimiento de grano. Para la medición de la variable de rendimiento de grano, los granos se lo ajustó al 13% de humedad. Los datos fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA) utilizando el software R Commander (R Development Core Team. 2013). Para la comparación de medias de tratamientos. se utilizó la prueba de diferencia múltiple de Tukey con ( $p =$

$\leq 0.05$ ). El análisis económico se realizó de acuerdo con lo referido por Aguilera (2017), con base al rendimiento y los costos de cada uno de los tratamientos se determinó la relación beneficio/costo.

$$R(B/C) = IB / CTP$$

Dónde:

R (B/C): Relación beneficio – costo

IB: Ingreso Bruto

CTP: Costo Total de producción

### Resultados

#### Altura de la planta

La variable altura de planta muestra diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre los tratamientos para cada una de las frecuencias de evaluaciones realizada. Durante los primeros 15 días la mayor altura fue encontrada en el

tratamiento 10 (CFC-SL-CFF) con promedio de altura de 27.40 cm, mientras que, la menor altura de planta fue para el tratamiento 4 (SFE-CL-CFF) con 17.06 cm. A los 30 días fue posible identificar que la mayor altura de la planta lo obtuvo el tratamiento 9 (CFC-SL-SFF) con 93.30 cm. y la menor altura obtenida fue para el tratamiento 4 (SIN-CON-CON) con 47 cm. A los 45 días, se verificó que la mayor altura de la planta la obtuvo el tratamiento 10 (CFC-SL-CFF) con 199.40 cm y la menor altura fue el tratamiento 2 (SFE-SL-CFF) con 99.00 cm. Para la última evaluación realizada a los 60 días posteriores a la siembra se observó que la altura de las plantas de maíz fue mayor en el tratamiento 7 (NPK-CL-SFF) con 313.40 cm y la menor altura fue para el tratamiento 1 (SFE-SL-SFF) con 222.9 cm. El coeficiente de variación para cada evaluación fue diferente y varió entre el 11.21% y el 25.89% (Tabla 3).

**Tabla 3. Variable altura de plantas en el cultivo de maíz en respuesta la aplicación de fertilización edáfica, foliar y labranza**

Trat.	Fert. Edáfica	Mec.	Fert. Foliar	Altura de plantas (cm)							
				15 DDS		30 DDS		45 DDS		60 DDS	
				Media	Letra	Media	Letra	Media	Letra	Media	Letra
T1	SFE	SL	SFF	20.14	cd	49.33	c	108.70	cd	222.90	d
T2	SFE	SL	CFF	18.31	d	48.44	c	99.00	d	241.20	cd
T3	SFE	CL	SFF	18.41	d	49.67	c	111.60	cd	248.90	cd
T4	SFE	CL	CFF	17.06	d	47.00	c	101.10	d	259.80	c
T5	NPK	SL	SFF	22.83	bc	92.30	a	191.00	b	278.80	bc
T6	NPK	SL	CFF	21.27	cd	85.30	ab	197.50	ab	278.90	bc
T7	NPK	CL	SFF	19.52	cd	70.50	b	169.00	c	313.40	a
T8	NPK	CL	CFF	19.60	cd	74.50	b	185.70	bc	312.70	a
T9	CFC	SL	SFF	26.58	ab	93.20	a	195.90	ab	290.10	bc
T10	CFC	SL	CFF	27.40	a	90.33	ab	199.40	a	310.00	ab
T11	CFC	CL	SFF	20.00	cd	69.89	bc	172.60	c	307.00	b
T12	CFC	CL	CFF	19.65	cd	68.20	bc	181.70	bc	309.50	ab
Coeficiente de variación (%)				15.31		25.67		25.89		11.21	

Promedios con la misma letra en cada grupo de datos no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ( $p \geq 0.05$ ). DDS: días después de la siembra

### Diámetro del tallo

Los resultados muestran que en cada una de las evaluaciones existe diferencias significativas entre los tratamientos, con coeficiente de variación de 15.31; 25.67; 25.89 y 14.46% a los 15, 30, 45 y 60 días después de la siembra, respectivamente. Cuando el cultivo alcanzó los 15 días de edad, el mayor diámetro del tallo se registró en T10: CFC + SL + CFF, con un promedio de 15.26 mm, mientras que el menor diámetro se obtuvo en T4: SFE + CL + CFF, con un promedio de 9.68 mm. Para los 30 días de edad del cultivo, el mayor diámetro correspondió a T5: NPK + SL + SFF, con un promedio de 25.09 mm, mientras que el menor diámetro se presentó en T2: SFE + SL + CFF, con 16.60 mm. Posteriormente cuando el cultivo alcanza los 45 días de edad, el mayor diámetro del tallo se registró en T10: CFC + SL + CFF, con un promedio de 25.17 mm y las plantas con menor diámetro del tallo se obtuvieron en T1: SFE + SL + SFF, con un promedio de 16.76 mm. Finalmente, para la última evaluación, realizada a los 60 días de edad del cultivo, en

T10: CFC + SL + CFF, con un promedio de 25.89 mm de diámetro del tallo, mientras que el menor diámetro del tallo correspondió al tratamiento a T1: SFE + SL + SFF (Tabla 4).

### Diámetro y longitud de la mazorca

De acuerdo con los resultados obtenidos para las variables diámetro y longitud de la mazorca fue posible encontrar diferencias significativas entre los tratamientos. El diámetro de la mazorca, el T8: NPK + CL + CFF registró el mayor promedio, con un valor de 4.79 cm, mientras que el menor valor correspondió a T2: SFE + SL + CFF, con un promedio de 4.04 cm. El coeficiente de variación para este parámetro fue de 4.55%. En lo correspondiente a la longitud de la mazorca, las mazorcas de mayor longitud se obtuvieron en el T6: NPK + SL + CFF, con un promedio de 17.05 cm, mientras que el menor promedio correspondió a T2: SFE + SL + CFF, con 13.32 cm. El coeficiente de variación fue 9.33% (Tabla 5).

**Tabla 4. Variable diámetro del tallo en el cultivo de maíz en respuesta la aplicación de fertilización edáfica, foliar y labranza**

Trat.	Fert. Edáfica	Mec.	Fert. Foliar	Diámetro del tallo (mm)							
				15 DDS		30 DDS		45 DDS		60 DDS	
				Promedio	Letra	Promedio	Letra	Promedio	Letra	Promedio	Letra
T1	SFE	SL	SFF	10.51	c	16.67	d	16.76	d	16.84	d
T2	SFE	SL	CFF	10.59	c	16.60	d	16.71	d	16.97	d
T3	SFE	CL	SFF	10.49	cd	16.96	d	18.19	cd	18.93	d
T4	SFE	CL	CFF	9.68	d	17.45	d	17.90	cd	18.01	cd
T5	NPK	SL	SFF	11.59	b	25.09	a	25.15	b	25.78	b
T6	NPK	SL	CFF	11.16	bc	24.01	b	24.90	bc	25.13	a
T7	NPK	CL	SFF	10.79	c	22.41	c	22.58	c	23.69	ab
T8	NPK	CL	CFF	10.56	c	22.95	c	23.43	b	23.71	b
T9	CFC	SL	SFF	14.28	ab	24.06	b	24.83	bc	24.95	bc
T10	CFC	SL	CFF	15.26	a	24.37	ab	25.17	a	25.89	a
T11	CFC	CL	SFF	10.79	c	21.69	cd	22.78	ab	12.95	cd
T12	CFC	CL	CFF	11.27	bc	23.01	bc	23.24	a	23.61	c
Coeficiente de variación (%)				15.31		25.67		25.89		14.46	

Promedios con la misma letra en cada grupo de datos no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ( $p \geq 0.05$ ). DDS: días después de la siembra

**Tabla 5. Variables diámetro y longitud de la mazorca en el cultivo de maíz en respuesta la aplicación de fertilización edáfica, foliar y labranza**

Trat.	Fert.Edáfica	Mec.	Fert. Foliar	Diámetro de la mazorca (cm)	Longitud de la mazorca (cm)
T1	SFE	SL	SFF	4.05 c	13.53 d
T2	SFE	SL	CFE	4.04 c	13.32 d
T3	SFE	CL	SFF	4.09 c	13.78 d
T4	SFE	CL	CFE	4.45 bc	14.65 cd
T5	NPK	SL	SFF	4.70 a	16.45 bc
T6	NPK	SL	CFE	4.63 ab	17.05 a
T7	NPK	CL	SFF	4.60 ab	16.88 b
T8	NPK	CL	CFE	4.79 a	16.97 ab
T9	CFC	SL	SFF	4.55 b	16.80 b
T10	CFC	SL	CFE	4.73 a	16.57 bc
T11	CFC	CL	SFF	4.74 a	16.77 bc
T12	CFC	CL	CFE	4.55 b	15.82 c
<b>Coefficiente de variación (%)</b>				6.17	9.33

Promedios con la misma letra en cada grupo de datos no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ( $p \geq 0.05$ )

**Tabla 6. Variables peso de 100 semillas y rendimiento por hectárea en el cultivo de maíz en respuesta la aplicación de fertilización edáfica, foliar y labranza**

Trat.	Fert. Edáfica	Mec.	Fert. Foliar	Peso de 100 semillas (g)	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )
T1	SFE	SL	SFF	40.60 d	868.55 e
T2	SFE	SL	CFE	39.95 e	1,207.45 de
T3	SFE	CL	SFF	41.35 cd	1,232.61 de
T4	SFE	CL	CFE	43.95 cd	1,428.70 d
T5	NPK	SL	SFF	49.35 bc	3,083.65 c
T6	NPK	SL	CFE	51.15 a	2,772.38 cd
T7	NPK	CL	SFF	50.65 ab	3,245.05 b
T8	NPK	CL	CFE	50.90 ab	2,811.63 cd
T9	CFC	SL	SFF	50.40 ab	3,597.86 a
T10	CFC	SL	CFE	49.70 bc	3,108.81 bc
T11	CFC	CL	SFF	50.30 b	3,167.99 bc
T12	CFC	CL	CFE	47.45 c	3,575.16 ab
<b>Coefficiente de variación (%)</b>				9.33	40.46

Promedios con la misma letra en cada grupo de datos no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ( $p \geq 0.05$ )

**Peso de 100 semillas (g) y rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>)**

El análisis estadístico muestra diferencias significativas entre los tratamientos para ambas variables. Para el peso de 100 semillas, el T6: NPK + SL + CFF registró el mayor promedio, con un valor de 51.15 g, mientras que el menor valor correspondió a T2: SFE + SL + CFF, con un promedio de 39.95 g. El coeficiente de variación para este parámetro fue de 9.33%. Para el rendimiento por hectárea, el mayor promedio se obtuvo en el T9: CFC + SL + SFF, con 3,597.86 kg ha<sup>-1</sup>, mientras que el menor promedio correspondió a T1: SFE + SL + SFF, con 868.55 kg ha<sup>-1</sup>. Para esta variable el coeficiente de variación fue de 40.46% (Tabla 6).

**Análisis económico**

**Costo de los tratamientos**

A continuación, se presentan todos los elementos que se utilizaron en los tratamientos del presente proyecto, según lo reflejado en la Tabla 7:

**Ingresos totales por tratamientos**

Para determinar de forma correcta los ingresos totales por cada uno de los tratamientos, se tomó como referencia el precio oficial (2021) de quintal de maíz \$ 14.60 (45.36 kg), en su correcta etapa de cosecha, granos amarillos con un 13% de humedad y 1% de impureza. Se logró establecer a partir de los datos expuestos anteriormente, los ingresos generados por cada uno de los tratamientos aplicados a la investigación, según se muestra en la Tabla 8, de entre todos los mejores y/o rentables en términos de producción fueron los tratamientos 9 (CFC + SL + SFF) y 12 (CFC + CL + CFF) con valores de \$ 1,151.32 y \$ 1,144.05 dólares respectivamente y la opción con el ingreso más bajo fue el tratamiento 1 (SFE + SL + SFF) con \$ 277.94 dólares generado de su producción.

**Tabla 7. Costos de cada uno de los tratamientos en estudio**

Rubros	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
Alquiler de terreno	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0
INIAP H-554	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0
Arado			100.0	100.0			100.0	100.0			100.0	100.0
Atrazina	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8
Pendimethalin	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
Glufosinato De Amonio	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5
King	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0
Urea									7.5	7.5	7.5	7.5
Muriato De Potasio					23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0
Abono Foliar		18.0		18.0		18.0		18.0		18.0		18.0
Cosecha + Transporte	152.0	152.0	152.0	152.0	152.0	152.0	152.0	152.0	152.0	152.0	152.0	152.0
Jornales de trabajo	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0
<b>Total</b>	<b>671.3</b>	<b>689.3</b>	<b>771.3</b>	<b>789.3</b>	<b>694.3</b>	<b>712.3</b>	<b>794.3</b>	<b>812.3</b>	<b>701.8</b>	<b>719.8</b>	<b>801.8</b>	<b>819.8</b>

Tabla 8. Ingresos totales por cada uno de los tratamientos en estudio

Trat.	Fert. Edáfica	Mec.	Fert. Foliar	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	Ingresos totales (\$)
T1	SFE	SL	SFF	868.55	277.94
T2	SFE	SL	CFF	1207.45	386.38
T3	SFE	CL	SFF	1232.61	394.44
T4	SFE	CL	CFF	1428.70	457.18
T5	NPK	SL	SFF	3083.65	986.77
T6	NPK	SL	CFF	2772.38	887.16
T7	NPK	CL	SFF	3245.05	1,038.42
T8	NPK	CL	CFF	2811.63	899.72
T9	CFC	SL	SFF	3597.86	1,151.32
T10	CFC	SL	CFF	3108.81	994.82
T11	CFC	CL	SFF	3167.99	1,013.76
T12	CFC	CL	CFF	3575.16	1,144.05

Tabla 9. Indicadores económicos de la producción de maíz en respuesta la aplicación de fertilización edáfica, foliar y labranza

Trat.	Fert. Edáfica	Mec.	Fert. Foliar	Ingresos totales (\$)	Costos totales (\$)	Ingresos netos (\$)	Relación B/C	Rentabilidad (%)
T1	SFE	SL	SFF	277.94	671.30	-393.36	0.41	-58.60
T2	SFE	SL	CFF	386.38	689.30	-302.92	0.56	-43.95
T3	SFE	CL	SFF	394.44	771.30	-376.86	0.51	-48.86
T4	SFE	CL	CFF	457.18	789.30	-332.12	0.58	-42.08
T5	NPK	SL	SFF	986.77	694.30	292.47	1.42	42.12
T6	NPK	SL	CFF	887.16	712.30	174.86	1.25	24.55
T7	NPK	CL	SFF	1038.42	794.30	244.12	1.31	30.73
T8	NPK	CL	CFF	899.72	812.30	87.42	1.11	10.76
T9	CFC	SL	SFF	1151.32	701.80	449.52	1.64	64.05
T10	CFC	SL	CFF	994.82	719.80	275.02	1.38	38.21
T11	CFC	CL	SFF	1013.76	801.80	211.96	1.26	26.44
T12	CFC	CL	CFF	1144.05	819.80	324.25	1.40	39.55

**Relación beneficio/costo**

Para concluir con el análisis económico del efecto de la mecanización y fertilización en la serie de suelos evaluados sobre el comportamiento agronómico de plantas de maíz híbrido INIAP H-554, considerando las variables de los tratamientos, de acuerdo con lo contrastado en la Tabla 9, se puede apreciar un ventaja considerable de los tratamientos 9 (CMPL-SIN-SIN) y 5 (NPK-SIN-SIN), de 1.64 y 1.42, respectivamente en relación con B/C, evidenciando el T1 con

la puntuación más baja de entre todos los tratamientos con (0.41).

**Discusión**

Las prácticas de campo que implican el uso de la mecanización en las plantaciones de interés económico pueden resultar en una compactación del suelo que altera las propiedades físicas del suelo y crea problemas de densidades.

En el presente estudio fue posible identificar que la aplicación de labranza en el cultivo de maíz aporta a la disminución tanto de la altura como del diámetro del tallo, mostrando restricción del desarrollo de las plantas de maíz, sin embargo, esto se puede atribuir a una labranza muy intensa (Acevedo & Martínez, 2014), lo que se traduce en un menor desarrollo de las plantas debido a que pierde su anclaje por lo que no puede asimilar correctamente los nutrientes (Demuner *et al.*, 2012). Por otra parte, se pudo apreciar que la adición de la fertilización completa aumenta notablemente el desarrollo de las plantas de maíz, que, en combinación con la fertilización foliar, promueven un mayor desarrollo tanto en términos de crecimiento como en engrose del tallo. Esto es un factor importante, puesto que plantas con una buena arquitectura (Volveras, Amézquita & Campo, 2016) y con un tallo de un grosor adecuado que les permita sobrevivir a vientos fuertes, ayudando de esta manera al sostenimiento de las plantas (López, 2016).

El análisis de las dimensiones de la mazorca mostró que éstas aumentan al eliminarse la fertilización foliar, lo que se puede atribuir a una baja tasa de asimilación del cultivo en lo que respecta al fosforo de potasio (Baca, 2016), ya que este fertilizante foliar solo aporta dos elementos. Esto adquiere relevancia al observarse que la fertilización edáfica completa, por contener más elementos que pueden ser aprovechados por el cultivo para su nutrición (Sandal, 2014). En lo que respecta a la labranza, la aplicación de esta promovió el desarrollo de las mazorcas, lo que se puede atribuir a que la labranza en el grado que se aplicó en el presente estudio no afectó negativamente al desarrollo de las mazorcas (Vera, 2018).

Diferentes estudios mostraron que la temperatura del suelo, la densidad aparente del suelo y el nitrógeno disponible fueron los factores más importantes que afectaron el rendimiento del grano de maíz. Sin embargo, otros indicadores de la calidad del suelo, como la compactación del suelo, la estabilidad del suelo, mostraron una menor influencia en el rendimiento de grano de maíz. Estos resultados demostraron que la labranza cero con cobertura de paja no podía lograr la sinergia entre el mantenimiento de los rendimientos de los cultivos y la mejora de la calidad del suelo a corto plazo (Li *et al.*, 2022).

Sun *et al.* (2020) también informó que algunas regiones más frías tienen pérdidas de rendimiento y pérdidas de C del suelo tan probables como ganancias de C del suelo. Aunque el tratamiento con CN mejoró la calidad del suelo hasta cierto punto, los rendimientos de grano más bajos y la densidad aparente del suelo más alta pueden restringir la aplicación de la práctica de labranza cero y cobertura de paja bajo la gestión de pequeños agricultores en el noreste de China (Corbeels, 2020). Alternativamente, la labranza mínima, es decir, labranza del subsolado, con cobertura de paja podría minimizar el efecto de las bajas temperaturas del suelo y la densidad aparente sobre el rendimiento del maíz, así como mejorar la calidad del suelo, que puede ser la labranza de conservación adecuada en la región semiárida de noreste de China.

El presente estudio mostró que el rendimiento del maíz se vio afectado significativamente cuando se utiliza laboreo mecanizado del suelo, lo cual concuerda con Li *et al.* (2022) quien descubrió que la ausencia de labranza con cobertura de paja aumenta el rendimiento del maíz en el noreste de China. Estudios previos reportaron que la no labranza en el corto plazo condujo a un aumento en la densidad aparente del suelo, el endurecimiento de la capa de arado, el enriquecimiento de materia orgánica del suelo en la capa superficial y la falta de nutrientes en la capa profunda, lo que resultó en la disminución e inestabilidad del rendimiento de los cultivos (Adimassu, 2019; Javurek, 2022). Además del aumento de la densidad aparente del suelo y el menor suministro de nitrógeno disponible en el suelo con prácticas de labranza cero, las condiciones climáticas frías en el noreste de China son otro factor importante que obstaculiza el rendimiento del maíz.

El cultivo mecanizado continuo disminuye sustancialmente la tasa de infiltración. La compactación del suelo es más severa en los puntos de inflexión del tractor a lo largo del borde de la parcela (Pimenta *et al.*, 2019). Se ha demostrado que la erosión por labranza es tan degradante como la erosión hídrica, ya que aumenta la susceptibilidad del suelo al romper agregados de una forma más uniforme aumentando la erosión, inclusive con lluvias de baja intensidad. Al evaluarse la respuesta agronómica del cultivo de maíz, se pudo identificar que un mayor grado de labranza afecta al volcamiento de las plantas, generando más acame, lo que consecuentemente da origen a mermas del rendimiento. Este efecto fue observado por Olguín *et al.* (2017), quienes identificaron que, al incrementar la intensidad de la labranza, se produce mayor grado de acame en plantas de maíz, condicionando los componentes del rendimiento, esta práctica no se la recomienda a los productores. En concordancia con esto, se puede puntualizar con lo evidenciado en el análisis económico de manera que al aplicarse la labranza los costos se incrementaron, pero no justificó la inversión, de manera que al labrar la ganancia disminuyó (Upendra *et al.*, 2006).

El costo y el beneficio son la prioridad de los agricultores en la producción agrícola y la toma de decisiones de inversión, mientras que la pequeña escala de las tierras de cultivo puede dar lugar a incentivos insuficientes para la inversión a largo plazo, y es más fácil ignorar el aumento del costo social debido a la agricultura no puntual, fuente de contaminación. Estudios recientes han demostrado que existe una relación negativa entre la escala de las tierras de cultivo y productos químicos como fertilizantes y pesticidas (Qin y Lu, 2020; Wang *et al.*, 2021).

## Conclusiones

El comportamiento agronómico del cultivo varió en cada tratamiento para las variables diámetro del tallo y la altura de planta, sin embargo, el peso de 100 semillas y mazorcas que

fueron superiores se presentaron en el T6: NPK+ SL + CFF y el diámetro de las mazorcas fue mayor en T8: NPK + CL + CFF.

La combinación de fertilización completa en ausencia de labranza y en ausencia de fertilización foliar permitió la obtención de un mayor nivel de rendimiento en el híbrido de maíz en estudio.

El beneficio económico fue mayor al combinar la fertilización completa con ausencia de labranza y la ausencia de fertilización foliar, con un 64.05% de rentabilidad.

El enfoque del suelo en la labranza y la fertilización debe ser vinculado al sistema suelo-raíz con mayores interacciones con los microorganismos del suelo y mínima fractura del suelo para contribuir aún más a la cantidad de materia orgánica en el suelo en comparación con la nutrición convencional. Por lo tanto, la investigación futura puede centrarse en lo mencionados, que también son las principales direcciones de investigación de este artículo en el futuro próximo.

### Referencias bibliográficas

- Adimassu, Z. Alemu, G. Tamene, L. 2019. Effects of tillage and crop residue management on runoff, soil loss and crop yield in the Humid Highlands of Ethiopia. *Agric. Syst.* 168. 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.10.007>
- Aguilera, A. (2017). El costo-beneficio como herramienta de decisión en la inversión en actividades científicas. *Cofin Habana* 11(2): 322-343. <http://scielo.sld.cu/pdf/cofin/v11n2/cofin22217.pdf>
- Baca, L. 2016. La producción de maíz amarillo en el Ecuador y su relación con la soberanía alimentaria. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito-Ecuador. 84 p. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/12652>
- Barut, Z. and Celik, I. 2017. Tillage effects on some soil physical properties in semi-arid Mediterranean region of Turkey. *Chemical Engineering Transactions* 58:217-222. doi:10.3303/CET1758037
- Caviedes, G. 2019. Producción de semilla de maíz en el Ecuador: retos y oportunidades. *ACI Avances En Ciencias E Ingenierías.* 11(1). 116–123. <https://doi.org/10.18272/aci.v11i1.1100>
- Corbeels, M. Naudin, K. Whitbread, A. Kühne, R. Letourmy, P. 2020. Limits of conservation agriculture to overcome low crop yields in Sub-Saharan Africa. *Nat. Food.* 1. 447–454. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0114-x>
- Demuner, G. Cadena, M. Campos, S. Zermeño, A. & Pérez, F. 2012. Efectos de tres sistemas de labranza y mejoradores de suelo en la disponibilidad de humedad y volumen de exploración de raíces. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 3(4): 719-727. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263125299014>
- García, D. Cárdenas, J. y Silva, A. 2018. Evaluación de sistemas de labranza sobre propiedades fisicoquímicas y microbiológicas en un inceptisol. *Revista de ciencias agrícolas* 34(1):16-25. doi:10.22267/rcia.183501.79
- Gómez-Calderón, N. Villagra-Mendoza, K. y Solórzano-Quintana, M. 2018. La labranza mecanizada y su impacto en la conservación del suelo. *Tecnología en Marcha* 31(1):170-180. doi:10.18845/tm.v31i1.3506
- Javurek, M. Tajnsek, A. 2022. Impact of conservation tillage on grain yield of field crops comparing to conventional tillage at different sites. *Sci. Agric. Bohem.* 33. 135-140. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=CZ2003000155>
- Kirkegaard, J. Kirkby, C. Oates, A. Van der Rijt, V. Poile, G. and Conyers, M. 2020. Strategic tillage of a long-term, no-till soil has little impact on soil characteristics or crop growth over five years. *Crop and Pasture Science* 71(12):945 - 958. doi:10.1071/cp20334
- López, M. 2016. Determinación de la confiabilidad de los métodos de ollas isobáricas y centrífuga para la determinación de capacidad de campo y punto de marchitez permanente. Quito, Ecuador. Universidad Central del Ecuador. 79 p. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/8068>
- Kiboi, M. Ngetich, K. Fliessbach, A. Muriuki, A. Mugendi, D. 2019. Soil fertility inputs and tillage influence on maize crop performance and soil water content in the Central Highlands of Kenya. *Agricultural Water Management.* Volume 217. Pages 316-331. ISSN 0378-3774. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.03.014>
- Olguin, J. Guevara, R. Carranza, J. Scopel, E. Barreto, O. Mancilla, O. & Talavera, A. 2017. Producción y rendimiento de maíz en cuatro tipos de labranza bajo condiciones de temporal. *Idesia (Arica)* 35(1): 51-61. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292017005000018>
- Pimenta, R. Bergamin, A. Santos, L. Costa, M. Cazetta, J. Prates, A. & Damacena, E. 2019. Changes in the physical properties of an Amazonian Inceptisol induced by tractor traffic. *Chilean journal of agricultural research* 79(1): 103-113. DOI: 10.4067/S0718-58392019000100103
- Qin, S. y Lu, X. 2020. Do large-scale farmers use more pesticides? Empirical evidence from rice farmers in five Chinese provinces. *Journal of Integrative Agriculture.* Volume 19. Issue 2. 590–599. doi:10.1016/s2095-3119(19)62864-9
- R Development Core Team. (2013). An Introduction to R. Notes on R: A Programming Environment for Data Analysis and Graphics. Version 3.02. R Development Core Team. <http://cran.r-project.org/doc/manuals/R-intro.pdf>
- Sandal, M. (2014). Comportamiento agronómico de tres híbridos de maíz (*Zea mays* L.) en el cantón Pueblo Viejo provincia de Los Ríos. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. 93 p. <http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/478>

- Singh, D. Lenka, S. Lenka, N. Trivedi, S. Bhattacharjya, S. Sahoo, S. Saha J. and Patra, A. 2020. Effect of reversal of conservation tillage on soil nutrient availability and crop nutrient uptake in soybean in the Vertisols of Central India. *Sustainability* 12:6608. doi:10.3390/su12166608
- Sun, W. Canadell, J. Yu, L. Yu, L. Zhang, W. Smith, P. Fischer, T. Huang, Y. 2020. Climate drives global soil carbon sequestration and crop yield changes under conservation agriculture. *Glob. Chang. Biol.* 26. 3325–3335. <https://doi.org/10.1111/gcb.15001>
- Vera, J. 2018. Efecto de la fertilización orgánica y algas marinas en el rendimiento del maíz dulce (*Zea mays L.*) en la zona de Babahoyo”. Universidad Técnica de Babahoyo. 55 p. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/5146>
- Volverás-Mambuscay, B. Amézquita-Collazos, É. & Campo-Quesada, J. 2016. Indicadores de calidad física del suelo de la zona cerealera andina del departamento de Nariño. Colombia. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 17(3): 361-377. DOI: [http://dx.doi.org/10.21930/rcta.vol17\\_num3\\_art:513](http://dx.doi.org/10.21930/rcta.vol17_num3_art:513)
- Wang, S. Bai, X. Zhang, X. Reis, S. Chen, D. Xu, J. 2021. Urbanization can benefit agricultural production with large-scale farming in China. *Nat Food* 2. 183–191. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00228-6>

