

EFFECTO DEL MANEJO MECÁNICO DE ARVENSES EN EL RENDIMIENTO DE MAÍZ EN VALLES ALTOS DE MÉXICO

EFFECT OF MECHANICAL WEED MANAGEMENT ON MAIZE YIELD IN HIGH LANDS OF MEXICO

Benjamín Hernández-Vázquez¹, Tomás Rivas-García¹, Luis Enrique Vazquez-Robles², Camilo Francisco Campos-Mariscal² y Rita Schwentesius-Rindermann^{2*}

¹SECIHTI-Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Chapingo, Texcoco, Estado de México, México. ²UACH, Chapingo, Texcoco, Estado de México, México.

*Autor de correspondencia (schwentesiuss@chapingo.mx)

RESUMEN

Es importante mantener al cultivo de maíz sin competencia con arvenses, principalmente durante los primeros 40 días del periodo vegetativo, no hacerlo puede representar pérdidas hasta de 80 % en el rendimiento de grano, además de incrementar los costos de manejo y cosecha, y baja calidad. Con el objetivo de tener alternativas no químicas para el manejo de arvenses, se evaluaron diferentes implementos para el control mecánico y se compararon con dos testigos en parcelas con diseño de bloques completos al azar. Los tratamientos fueron: T1) testigo (sin deshierbe), T2) control manual, T3) aporcador Ridge 2, T4) fresadora manual, T5) arado rotativo-groundblaster, y T6) cultivadora + aporque montada al tractor. Se encontró que el control con el aporcador Ridge 2 tuvo una eficacia de 73.24 % y el rendimiento de grano del cultivo fue de 6600 kg ha⁻¹, mientras que los otros tratamientos mecánicos tuvieron valores superiores a 67.00 %. El uso de implementos para el control mecánico es una alternativa viable para reducir el uso de herbicidas sintéticos; sin embargo, es necesario implementar un manejo integrado que involucre otras actividades y herramientas o insumos.

Palabras clave: agroecología, eficacia, fenología, rendimiento.

SUMMARY

It is important to keep the maize crop free from weed competition, especially during the first 40 days of the growing season. Failure to do so may result in losses of up to 80 % in grain yield, increased management and harvesting costs, and poor quality. In order to have non-chemical alternatives for weed management, different implements for mechanical control were evaluated and compared with two controls in plots under a randomized complete block design. The treatments were: T1) check (without weeding), T2) manual control, T3) Ridge 2 hiller, T4) manual milling machine, T5) rotary plow-groundblaster, and T6) cultivator + hilling machine coupled to tractor. It was found that the control with Ridge 2 hiller had an efficacy of 73.24 % and the grain yield of the crop was 6600 kg ha⁻¹, while the other mechanical treatments had values higher than 67.00 %. The use of implements for mechanical control is a viable alternative to reduce the use of synthetic herbicides; however, it is necessary to implement an integrated management involving other activities and tools or inputs.

Index words: agroecology, efficacy, phenology, yield.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los tres principales cereales cultivados en el mundo, junto con el trigo, arroz y otros cultivos, son fuente fundamental para la alimentación humana y animal. La producción de maíz en el mundo para el año 2022 alcanzó 1.1 mil millones de toneladas (FAO, 2023). Para México el maíz tiene un valor de importancia alimentaria y socioeconómica, es un elemento fundamental en el escenario cultural y de consumo, en 2023 la superficie sembrada alcanzó 6,941,031 ha y se tuvo una producción de 27,549,917 toneladas (SIAP, 2023). La producción de maíz se realiza principalmente sobre esquemas de monocultivo con alto uso de insumos (fertilizantes, herbicidas, plaguicidas).

El impacto ambiental y a la salud humana, la aparición de arvenses resistentes a herbicidas, así como el interés por alimentos más sanos y sistemas de producción con menor impacto ambiental, han propiciado que se busquen métodos alternativos para el manejo de plagas, enfermedades y arvenses en los cultivos, tal como en los sistemas de agricultura orgánica y agroecológica.

En el caso del manejo de arvenses, mantener al cultivo del maíz sin competencia con éstas en las etapas críticas de crecimiento es crucial para el óptimo desarrollo y crecimiento, ya que pueden representar pérdidas hasta de 80 % en el rendimiento, ya que se afecta el rendimiento por la competencia del cultivo por luz, agua, nutrientes y, en algunos casos, las arvenses también originan productos químicos (metabolitos secundarios), como son las sustancias alelopáticas, que se consideran perjudiciales para los cultivos (Gharde *et al.*, 2018; Horvath *et al.*, 2023; Imoloame y Omolaiye, 2017; Sharma y Rayamajhi, 2022); además, si no se hace control se incrementan los costos de manejo y cosecha, y hay menor calidad del producto.

Por lo anterior, es importante realizar actividades de control de arvenses, y es necesario explorar y desarrollar nuevas tecnologías que sean económica y ambientalmente sostenibles (Sharma y Rayamajhi, 2022).

La exploración de alternativas para el manejo de arvenses es esencial para reducir el uso de herbicidas (Harker y O'Donovan, 2013), aunado a las tendencias políticas, resulta importante considerar prácticas tales como el control mecánico, como una opción sostenible que se ha realizado a lo largo de la historia agrícola (Machleb *et al.*, 2020); sin embargo, la eficacia de control por medios mecánicos depende de muchos factores que no siempre son fácilmente manejables por los agricultores (Fogliatto *et al.*, 2019), por lo que se deben considerar factores como el momento de control, la frecuencia de su aplicación, el tipo de implemento utilizado y la intensidad de labor (Lagué y Khelifi, 2001; Machleb *et al.*, 2020), además de tener condiciones climáticas y de suelo propicias para la desecación de las arvenses, tales como altas temperaturas y suelo seco (Curran *et al.*, 2019).

Este método de manejo de arvenses puede realizarse por cultivadores montados en tractores, motocultivadores o cultivadores empujados manualmente o tirados por caballos (Bullock, 2012). Al determinar el método de control a utilizar es importante considerar que, para ser aceptado por los agricultores, debe ser factible agrónomicamente y en su manejo (Moody, 1996).

Ante los escenarios actuales hacia una agricultura sostenible, bajo esquemas con menor dependencia de insumos externos para los sistemas de producción agrícola, es necesario implementar alternativas que permitan la producción sin detrimento en los rendimientos y calidad nutricional de los productos de consumo. Lo anterior toma relevancia sobre todo en los pequeños productores, los cuales generan el 60 % de la producción nacional, y en conjunto con los medianos productores (aquellos que producen hasta 10 t ha⁻¹), alcanzan el 75 % de la producción nacional, representados en el 91 % de la superficie sembrada de maíz (SADER, 2020). Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar diferentes implementos para el control mecánico de arvenses en el cultivo de maíz como alternativas para la disminución de productos químicos como herbicidas a base de glifosato.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

Se establecieron dos experimentos en campo, en parcelas de productores cooperantes, en las localidades de Santa María Tulantongo (Tulantongo) y San Luis

Huexotla (Huexotla), Texcoco, Estado de México, durante el ciclo agrícola primavera-verano 2023, en suelos franco y franco arcilloso, 2.01 y 2.16 % de materia orgánica para Tulantongo y Huexotla, respectivamente. Se utilizó el híbrido comercial NB777 de Novasem, con grano blanco de ciclo intermedio (175-180 días a cosecha), recomendado para regiones de 2000 a 2400 msnm, como los valles altos centrales de México.

Diseño experimental

Se evaluaron diferentes tratamientos para el control de arvenses en un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, la unidad experimental tuvo una superficie de 40 m² (cinco surcos de 0.80 m de ancho y 10.0 m de largo). Los tratamientos fueron T1) testigo (sin deshierbe), T2) control manual, T3) aporcador Ridge 2, T4) fresadora manual, T5) arado rotativo, y T6) cultivadora de tres puntos + aporque y se realizaron en un solo día para cada experimento, 22 días después de la emergencia (dde) del cultivo para Tulantongo y 24 dde para Huexotla, cuando las plantas de cultivo tuvieron entre 20 y 30 cm de altura. El T2 se consideró como testigo limpio para referencia en el cálculo de la eficacia de control que se compararon con el control mecánico de arvenses con diferentes implementos como se muestran en el Cuadro 1.

Manejo agronómico

La siembra se realizó en dos fechas diferentes, para el caso de Tulantongo ésta fue el 17 de mayo, mientras que en Huexotla se sembró el 12 junio de 2023, con sembradora FAMAQ SL-20 de dos cuerpos montada al tractor (Agrac, Tlaquepaque, Jalisco, México), a densidad de siembra de 95,000 plantas por hectárea.

La fertilización se realizó en dos aplicaciones, de acuerdo con los análisis de suelo de las parcelas, los cuales mostraron características similares. Se proporcionó el 60 % del nitrógeno y el 100 % de fósforo al momento de la siembra, y el 40 % del nitrógeno restante se aplicó en la segunda labor de cultivo (aporque) con la fórmula 180-60-00 (N-P-K). Como fuentes fertilizantes se utilizaron fosfato diamónico (18-46-00) y sulfato de amonio (21-00-00-24). También se aplicó en ambas parcelas 2 t ha⁻¹ de composta, previo a la aplicación de los tratamientos, a fin de que pudieran incorporarse al suelo. Se realizaron tres riegos, el primero al momento de la siembra, el segundo durante la etapa vegetativa (60 y 59 días después de la siembra, dds) y otro más durante el llenado de grano (134 y 108 dds) para Tulantongo y Huexotla, respectivamente, el resto del ciclo se condujo bajo temporal (Figura 1).

El manejo de plagas y enfermedades que pudieran

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos evaluados para el control mecánico de arvenses en maíz, ciclo p-v 2023, Texcoco, Estado de México.

Tratamiento	Implemento	Acople o implemento
T1	Testigo sin deshierbe	
T2	Control manual	Deshierbe manual y azadón
T3	Aporcador Ridge 2	Motocultor BCS 740A
T4	Fresadora manual	Acople con KM 56 RC-E (STIHL)
T5	Arado Rotativo – Ground Blaster	Motocultor BCS 740A
T6	Cultivadora de tres puntos + Aporque	Tractor

afectar el óptimo crecimiento y desarrollo del cultivo se realizó bajo la primicia de aplicaciones preventivas y repelentes, principalmente para el control de gusano cogollero [*Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith)] por lo que se hicieron dos aplicaciones con tierra de diatomeas (Diaprotex®), jabón potásico y el consorcio de *Beauveria bassiana*, *Metharhizium* spp. y *Bacillus* spp. en dosis de 10 g, 10 mL y 5 mL por L de agua, respectivamente. La primera aplicación se hizo en forma de aspersión con mochila manual 38 dde, y la segunda aspersión en la etapa de floración, mediante aplicación de los mismos compuestos con un dron (HongFei modelo HTU T30-6, Nanjing, China).

Variables respuesta

Para evaluar los efectos del manejo de arvenses sobre el cultivo se registraron variables fenológicas y agronómicas. En cada unidad experimental (UE) se realizaron las mediciones en los surcos centrales. En cinco plantas se registró la altura de planta (Ap) y de mazorca (Am) en cm, desde la base del tallo hasta la lígula de la hoja bandera y hasta el nudo de inserción de la mazorca primaria, respectivamente; la floración (Fm) se consideró como el número de días desde la siembra hasta que en el 50 % de las plantas de la unidad experimental ocurriera liberación de polen. La cosecha se realizó en forma manual en los tres surcos centrales de cada unidad experimental y se registró el número de mazorcas y peso de mazorcas (Rp) en campo. Para obtener los componentes del rendimiento se utilizaron 10 mazorcas representativas de cada UE y se midió el peso (g) de mazorca (Pmz), longitud de mazorca (Lmz) (cm), diámetro de mazorca (Dmz) (cm), tomado en su parte media, número de hileras por mazorca (Hmz), número de granos por hilera (Ghil), índice de desgrane (Id, calculado como el porcentaje de grano con respecto al peso de la mazorca). Las mazorcas de cada parcela se desgranaron y se registró el peso (g) del grano por mazorca (Pgmz), diámetro de olote (Do, en cm tomado en su parte media) y profundidad

de grano (cm) (Profg, como la diferencia entre Dmz y Do dividida entre 2). El rendimiento de grano por hectárea (kg ha⁻¹), ajustado a 14 % de humedad, se determinó con la fórmula:

$$Rto = Rp \times (100 - Phg) / 86 \times Id \times (10000/d)$$

Donde: Rp es el peso de mazorcas, Phg es el porcentaje de humedad del grano al momento de cosecha, 86 es el factor para estandarizar el rendimiento a 14 % de humedad, Id es el índice de desgrane y d es la superficie de la unidad experimental (m²).

Eficacia de control de arvenses

Para evaluar la eficacia en la reducción de arvenses, se registró la incidencia de arvenses por el método de densidad de plantas por unidad de superficie, se hizo el conteo de plantas dos días previos a la aplicación de los tratamientos (21 dde del cultivo) y 77 días después de aplicados los tratamientos. El conteo se realizó dentro de un cuadro de 0.5 × 0.5 m (0.25 m²) (Cámara Procultivos ANDI, 2015; López-Urquidez *et al.*, 2020), por triplicado en cada una de las unidades experimentales; ésto permitió la estimación de la eficacia en el control de arvenses. La eficacia se expresó como la reducción en la densidad de plantas según se determinó con la ecuación de Henderson-Tilton (1955):

$$\text{Porcentaje de eficacia} = [1 - (Ca/Ta) \times (Td/Cd)] \times 100$$

Donde: Ca: infestación en parcela testigo (T1) antes de aplicar el tratamiento, Ta: infestación en parcela tratada antes de aplicar el tratamiento, Td: infestación en parcela tratada después de aplicar el tratamiento, Cd: infestación en parcela testigo, control manual (T2) después de aplicar el tratamiento. En el último muestreo se recolectaron y se secaron en estufa a 75 °C por 72 h para determinar la biomasa acumulada (Ba).

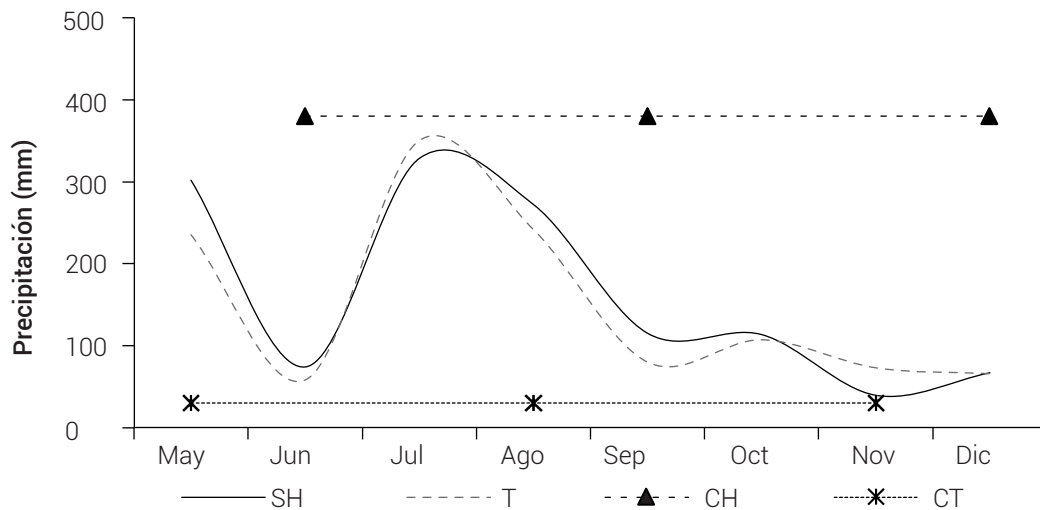


Figura 1. Distribución de la precipitación durante el periodo crítico de desarrollo del cultivo de maíz en Texcoco, Estado de México (2023). T: Tulantongo, SH: San Luis Huexotla, CH: ciclo de cultivo en San Luis Huexotla, CT: ciclo de cultivo en Tulantongo. Elaboración propia con datos del SMN (2023).

Análisis de datos

La evaluación de las variables agronómicas, fenológicas y de rendimiento de grano se hizo mediante análisis de varianza combinado a través de localidades, y cuando se encontraron diferencias significativas, se realizó la comparación de medias múltiples de Tukey ($P \leq 0.05$). Los análisis se realizaron con el programa SAS v. 9.4 (SAS Institute, 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre los dos sitios evaluados (Loc) y entre tratamientos para las variables Fm, Ap, Am, Lmz, Pmz, Dmz, Pgmz, Mzpl y Rto, lo que sugiere que hubo efecto de sitios o ambientes, así como entre los implementos utilizados para el control de arvenses sobre el desarrollo del cultivo, así como sobre los componentes de rendimiento y rendimiento de grano de maíz (Cuadro 2).

Cuando se realiza un control de arvenses en las primeras etapas de desarrollo del cultivo de maíz (40 dds) existe una reducción significativa en la biomasa acumulada de arvenses entre los 70 y 90 dds. Esto se debe a que al eliminar las plantas presentes en las primeras etapas de desarrollo del maíz, solo se permite la acumulación de biomasa de las generaciones de arvenses que nacen y crecen posterior al control mecánico. La eliminación temprana de las primeras generaciones de arvenses reduce efectos de competencia con el maíz, lo que favorece el crecimiento y desarrollo del cultivo, con lo que se cubre la superficie

de suelo y se provoca sombreo sobre las nuevas plántulas arvenses, las cuales se ven limitadas en captación de luz (radiación solar), lo que limita su capacidad fotosintética, y en consecuencia, menor producción de fotoasimilados y menos biomasa, debido a una menor capacidad de competencia con las plantas de cultivo. Lo anterior es congruente con lo encontrado por Martínez *et al.* (2021) y Sharma y Rayamajhi (2022), quienes mencionaron que al controlar las arvenses en los periodos críticos (4-7 semanas después de la siembra), se minimizan las pérdidas, y el cultivo presenta mejores resultados en altura de planta, longitud y diámetro de mazorca, y mayor rendimiento (Martínez *et al.*, 2021) en respuesta a menores efectos de competencia.

Cuando no se realizó control de arvenses en las etapas críticas de crecimiento del cultivo, se tuvo un efecto negativo (testigo sin deshierbe) sobre características como altura de planta, y de mazorca, y prolificidad de plantas, debido a la competencia por luz, agua y nutrientes, lo que sucede también cuando se utilizan sistemas de cultivo en altas densidades al reducir la distancia entre surcos o entre plantas; en caso contrario, se reduce el crecimiento y rendimiento del cultivo (Pannacci *et al.*, 2017), por efecto de la competencia intra e inter planta, lo que llega a inducir esterilidad (plantas jorras) (Ramírez-Gómez *et al.*, 2020). Esto pudo observarse también en menor vigor de planta y mazorcas más cortas y delgadas (Cuadro 3), así como mayor número de plantas jorras (plantas que no producen mazorca), y por lo tanto, se redujo el número y peso de mazorcas por parcela; en consecuencia, reducción en el rendimiento de grano, hasta

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza para variables agronómicas, rendimiento y sus componentes, de maíz bajo control mecánico de arvenses con diferentes implementos agrícolas, Texcoco, Estado de México. 2023.

Fuente	Loc	Rep (loc)	Tra	Tra × loc	Error	CV (%)
gl	1	6	5	5	30	
Ap	16576.3 **	82.3 ns	1805.0 **	744.8 **	106.2	4.6
Am	867.0 **	24.8 ns	518.6 *	839.0 **	106.9	10.0
Pmz	28584.1 **	534.1 ns	12147.1 **	1768.3 *	572.2	11.0
Lmz	2.9 ns	0.7 ns	19.6 **	3.1 **	1.1	6.3
Dmz	0.6 **	0.0 ns	0.3 **	0.1 ns	0.0	3.7
Pgmz	11100.9 **	420.2 ns	9213.0 **	1336.9 *	409.3	11.2
Mzpl	0.9 **	0.0 ns	0.1 *	0.2 **	0.0	16.2
Rto	76,452,490.1 **	3,991,911.9 *	30,890,291.0 **	7,583,811.0 **	1,277,287.1	24.7
Ba	22238.3 *	2390.1 ns	14809.5 **	2803.3 ns	1366.4	36.5

*, **, ns: significativo ($P \leq 0.05, 0.01$) y no significativo (ns), Ap: altura de planta, Am: altura de mazorca, Pmz: peso de mazorca completa, Lmz: longitud de mazorca, Dmz: diámetro de mazorca, Pgmz: peso de grano por mazorca, Mzpl: número de mazorcas por planta; Rto: rendimiento de grano al 14 % de humedad, Ba: biomasa. acumulada de arvenses, Loc: localidad, Rep: repetición, Tra: tratamientos; gl: grados de libertad, CV: coeficiente de variación.

82 % menor respecto al tratamiento de mayor rendimiento (T2, control manual) (Figura 2), tal como lo encontrado por Cuevas y Puentes (2018) en el cultivo de arroz sobre el amacollamiento, menor crecimiento y desarrollo de planta y panícula, y menor número de granos; así también, Martínez *et al.* (2021) mencionaron que cuando se permite la competencia durante 20-40 días durante el desarrollo vegetativo del cultivo, además de los efectos sobre el crecimiento, desarrollo y menor rendimiento, también se pueden incrementar los costos de cosecha con pérdidas hasta de 45 %, principalmente por la dificultad de realizar la actividades, y al final, menor calidad del grano cosechado.

En los diferentes métodos de control mecánico se encontró que cuando el control de arvenses se hizo con el aporcador Ridge2, con control manual (testigo limpio), con el arado rotativo, y con el paso de cultivadora más el aporque, los rendimientos de grano de maíz fueron estadísticamente iguales; sin embargo, agronómicamente se observaron rendimientos de 15 y 26 % mayores cuando se controló con el aporcador Ridge2 respecto al testigo con deshierbe y al cultivo con aporque (Figura 2); estos resultados pueden atribuirse principalmente a la mayor producción de mazorcas (número de mazorcas por parcela), la longitud, diámetro y peso de las mazorcas (mayor tamaño), ya que en este tratamiento las plantas de maíz se desarrollaron y crecieron con menor competencia por arvenses respecto al resto de los tratamientos de control de arvenses (Cuadro 3).

Durante el ciclo del cultivo se tuvieron 255 mm de precipitación menos que en el mismo periodo del ciclo 2022 (mayo-septiembre), etapa donde el cultivo tuvo su mayor demanda de agua (Figura 1).

Al evaluar la eficacia de control de arvenses se encontró que la mayor eficacia (81.10 %) se tuvo con el testigo con deshierbe; sin embargo, cuando se realizó el control con el aporcador Ridge 2, la eficacia fue de 73.24 %, similar a lo encontrado por Mastkar *et al.* (2022) cuando evaluaron el control mecánico en maíz, mientras que en los demás tratamientos se encontraron valores inferiores a 67.00 %, (Figura 2). Los resultados mostraron que el mejor implemento para el control de arvenses fue el aporcador Ridge 2, aunque al comparar el rendimiento de grano obtenido en el cultivo con este tratamiento, no fue significativamente distinto del testigo limpio (T2), control con cultivadora más el aporque (T5) (Figura 2), aunque estos últimos (T2 y T5) mostraron diferencia significativa entre ellos. Estos resultados mostraron que el control manual y el control mecánico son alternativas para el manejo de arvenses, pero debe considerarse la demanda de mano de obra que se requiere, también debe considerarse que generalmente se practica en la producción de cultivos a pequeña escala (Idziak *et al.*, 2022), por lo que para mantener el umbral de arvenses, principalmente en etapas tempranas del cultivo, de manera mecánica deben considerarse factores como la superficie de la parcela, las condiciones ambientales, así como de la capacidad

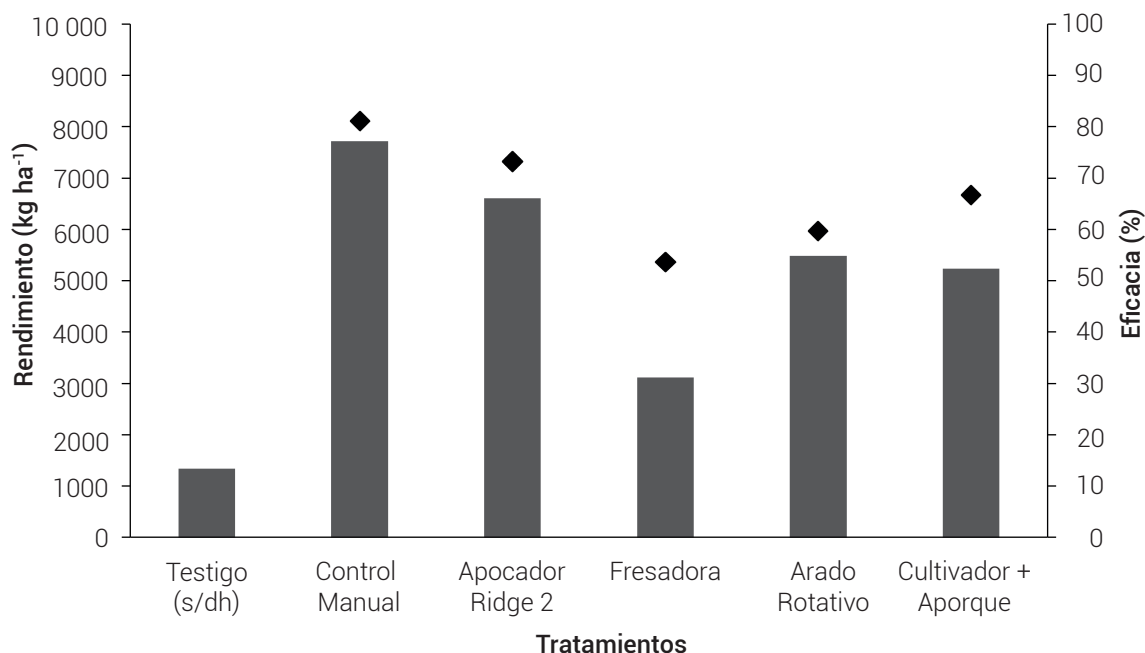


Figura 2. Rendimiento de grano de maíz y eficacia (♦) en control mecánico de arvenses con diferentes implementos.

Cuadro 3. Promedios de variables agronómicas, rendimiento y sus componentes en maíz con diferentes métodos de control mecánico de arvenses en Texcoco, Estado de México. 2023.

Tratamiento	Ap (cm)	Am (cm)	Pmz (g)	Lmz (cm)	Dmz (cm)	Pgmz (g)	Mzpl (N°)	Ba (g)
Testigo (s/dh)	199.00 d	96.25 b	140.79 b	13.69 b	4.76 c	115.26 c	0.9 b	147.65 a
control manual	241.63 a	116.00 a	247.71 a	17.66 a	5.29 a	208.81 a	1.1 ab	38.85 c
apocador Ridge 2	236.25 ab	111.63 ab	237.86 a	17.73 a	5.23 a	200.01 ab	1.1 ab	111.65 ab
fresadora	219.00 c	99.63 b	213.14 a	16.64 a	5.19 a	177.28 b	0.9 ab	137.81 a
arado Rotativo	228.63 abc	99.88 b	232.55 a	17.38 a	5.29 a	195.41 ab	1.0 ab	111.60 ab
cultivador + Aporque	225.25 bc	98.88 b	229.22 a	17.57 a	5.24 a	189.91 ab	1.2 a	60.54 bc
dHS	15.67	15.72	36.38	1.60	0.29	30.77	0.3	56.22

Medias con letras iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, P ≤ 0.05). Ap: altura de planta, Am: altura de mazorca, Pmz: peso de mazorca completa, Lmz: longitud de mazorca, Dmz: diámetro de mazorca, Pgmz: peso de grano por mazorca, Mzpl: número de mazorcas por planta, Ba: biomasa acumulada de arvenses. DHS: diferencia honesta significativa, s/dh: sin deshierbe.

económica del productor para adquirir o disponer de uno u otro implemento. Efectuar un manejo integrado de forma sistemática puede maximizar los rendimientos y expresión del potencial de los cultivos, ya que ningún método de forma individual puede proporcionar una solución completa. Es recomendable adoptar un manejo integrado de arvenses que combinen prácticas de control mecánico con enfoques culturales para diversificar el programa de manejo que pueda reducir comparativamente el uso de herbicidas y centrarse en cultivos sostenibles para un futuro mejor; además, se deben promover también otras alternativas como el uso de bioherbicidas (Sharma y Rayamajhi, 2022).

Los esfuerzos para cambiar la agricultura hacia una agricultura más conservacionista y respetuosa con el medio ambiente han abierto nuevas vías para controlar las arvenses, lo que requiere más investigaciones en profundidad para controlar el banco de semillas de las arvenses (Maqsood *et al.*, 2020) que, además, ayuden a la mejora y recuperación de la salud del suelo.

CONCLUSIONES

El momento de control de arvenses en las etapas críticas de crecimiento del cultivo de maíz es crucial para la productividad, los resultados de este trabajo muestran que el control mecánico de arvenses es eficaz con implementos como el aporcador Ridge 2 durante las primeras etapas de crecimiento vegetativo del cultivo. Se puede realizar el manejo de arvenses con alternativas de control mecánico y reducir el uso de herbicidas sintéticos; sin embargo, es necesario implementar un manejo integrado que involucre otras actividades y herramientas o insumos, como rotación de cultivos, cultivos de cobertura, semillas certificadas, uso de bioherbicida y métodos preventivos, que complementen la reducción de arvenses en las diferentes etapas de crecimiento y desarrollo del cultivo.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado por el Proyecto 2023 "Alternativas agroecológicas orientadas a la sustitución gradual de herbicidas a base de glifosato en frutales y cultivos básicos" financiado por la Universidad Autónoma Chapingo con recursos del CONAHCYT. (322610). "Programas Estratégicos Nacionales de Ciencia, Tecnología y Vinculación con el Sector Social, Público y Privado".

BIBLIOGRAFÍA

- Bullock F. D. (2012)** Control weeds without chemicals. Extension Publications. Tennessee State University. Nashville, Tennessee, USA. <http://digitalscholarship.tnstate.edu/extension/28> (October 2024).
- Cámara Procultivos ANDI (2015)** Manual para la Elaboración de Protocolos para Ensayos de Eficacia con PQUA. Cámara Procultivos de la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia. Bogotá, D. C., Colombia. 110 p.
- Cuevas M. A. y B. Puentes M. (2018)** El Manejo de las Malezas en el Programa AMTEC. FEDEARROZ-Fondo Nacional del Arroz. Bogotá, Colombia. 67 p.
- Curran W., C. Cahoon and D. Sandy (2019)** Mechanical weed control: post-plant. In: A Practical Guide for Integrated Weed Management in Mid-Atlantic Grain Crops. M. VanGessel (ed.). GROW - Getting Rid of Weeds through Integrated Weed Management. New Jersey Agricultural Experiment Station Rutgers, The State University of New Jersey. New Brunswick, New Jersey, USA. pp:107-118.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2023)** Datos sobre alimentación y agricultura. Base de Datos FAOSTAT, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL> (Octubre 2024).
- Fogliatto S., M. Milan, F. De Palo, A. Ferrero and F. Vidotto (2019)** Effectiveness of mechanical weed control on Italian flint varieties of maize. *Renewable Agriculture and Food Systems* 34:447-459, <https://doi.org/10.1017/S1742170517000813>
- Gharde Y., P. K. Singh, R. P. Dubey and P. K. Gupta (2018)** Assessment of yield and economic losses in agriculture due to weeds in India. *Crop Protection* 107:12-18, <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.01.007>
- Harker K. N. and J. T. O'Donovan (2013)** Recent weed control, weed management, and integrated weed management. *Weed Technology* 27:1-11, <https://doi.org/10.1614/WT-D-12-00109.1>
- Henderson C. F. and E. W. Tilton (1955)** Tests with acaricides against the brown wheat mite. *Journal of Economic Entomology* 48:157-161, <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/jee/48.2.157>
- Horvath D. P., S. A. Clay, C. J. Swanton, J. V. Anderson and W. S. Chao (2023)** Weed-induced crop yield loss: a new paradigm and new challenges. *Trends in Plant Science* 28:567-582, <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2022.12.014>
- Idziak R., H. Waligóra and V. Szuba (2022)** The influence of agronomical and chemical weed control on weeds of corn. *Journal of Plant Protection Research* 62:215-222, <https://doi.org/10.24425/jppr.2022.141362>
- Imoloame E. and J. Omolaiye (2017)** Weed Infestation, growth and yield of maize (*Zea mays* L.) as Influenced by periods of weed interference. *Advances in Crop Science and Technology* 5:267, <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000267>
- Laguë C. and M. Khelifi (2001)** Energy use and time requirements for different weeding strategies in grain corn. *Canadian Biosystems Engineering* 43:2.13-2.21.
- López-Urquidez G. A., C. A. Murillo-Mendoza, J. A. Martínez-López, F. Ayala-Tafoya, M. G. Yañez-Juárez and C. A. López-Orona (2020)** Effect of pre-emergent herbicides on weed control and onion development under fertigation conditions. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 11:1149-1161, <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i5.2337>
- Machleb J., G. G. Peteinatos, B. L. Kollenda, D. Andújar and R. Gerhards (2020)** Sensor-based mechanical weed control: present state and prospects. *Computers and Electronics in Agriculture* 176:105638, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105638>
- Maqsood Q., R. N. Abbas, M. A. Iqbal, K. A. Serap, A. Iqbal and A. El Sabagh (2020)** Overviewing of weed management practices to reduce weed seed bank and to increase maize yield. *Planta Daninha* 38:e020199716, <https://doi.org/10.1590/s0100-83582020380100075>
- Martínez C. T. F., B. G. Zúñiga R., J. E. Martínez P., E. A. Cantos S. and J. J. Muñoz C. (2021)** Efecto de la interferencia de arvenses en el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) el triunfo,

- provincia del Guayas. *Ciencia Latina* 5:13890-13905, https://doi.org/https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i6.1364
- Mastkar A., H. S. Kushwaha and M. L. Kewat (2022)** Weed control efficiency, yield attributes and yield of maize (*Zea mays* L.) as influenced by weed management practices. *Annals of Agricultural Research New Series* 43:267-271.
- Moody K. (1996)** Manejo de malezas en arroz. In: Manejo de Malezas para Países en Desarrollo. Vol. 120. R. Labrada, J. C. Caseley y C. Parker (eds.). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia. pp:265-272.
- Pannacci E., F. Tei and M. Guiducci (2017)** Mechanical weed control in organic winter wheat. *Italian Journal of Agronomy* 12:336-342, <https://doi.org/10.4081/ija.2017.900>
- Ramírez-Gómez J. S., R. de la Rosa-Santamaría, S. Miranda-Colín, J. J. García-Zavala, J. A. Mejía-Contreras, A. García-Velázquez y L. M. Vargas-Villamil (2020)** Comportamiento agronómico del maíz tropical dosmesano nativo de Tabasco, México bajo diferentes densidades de siembra. *Revista Fitotecnica Mexicana* 43:251-258, <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.3.251>
- SADER, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2020)** Maíz el cultivo de México. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México, México. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-el-cultivo-de-mexico> (Octubre 2023).
- SAS Institute (2013)** Base SAS. Procedures Guide. Statistical Procedures (9.4). SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA.
- Sharma N. and M. Rayamajhi (2022)** Different aspects of weed management in maize (*Zea mays* L.): a brief review. *Advances in Agriculture* 2022:7960175, <https://doi.org/10.1155/2022/7960175>
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2023)** Anuario estadístico de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Ciudad de México. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/ (Octubre 2024).
- SMN, Servicio Meteorológico Nacional (2023)** Base de datos climatológica nacional. Registro diario histórico. Servicio Meteorológico Nacional, Comisión Nacional del Agua. Ciudad de México. https://smn.conagua.gob.mx/tools/RECURSOS/Normales_Climatologicas/Diarios/mex/dia15125.txt (Junio 2025).