

Evaluación agrotécnica de implementos manuales para la siembra de maíz

Jesús Antonio López Gómez^{1§}

Jelle Van Loon¹

¹Programa de Intensificación Sustentable- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Carretera México-Veracruz km 45. El Batán, Texcoco, Estado de México. CP 56237.

[§]Autor para correspondencia: j.a.lopez@cgiar.org.

Resumen

La siembra es una actividad crítica en la producción de maíz y paso crucial para obtener buenos rendimientos. Herramientas manuales tradicionales son en su mayoría fabricadas artesanalmente y el trabajo de siembra manual demanda una alta inversión de labor y tiempo. En varias ocasiones se reportan esfuerzos de más de 50 horas de trabajo para realizar la siembra manual de una hectárea. Modernizar estas herramientas permite a los pequeños productores optimizar sus recursos, realizar sus siembras a tiempo y hacerlas menos fatigosas (Aikins *et al.*, 2010). Con el objetivo de determinar parámetros de desempeño que permitan identificar las herramientas más funcionales para la siembra manual de maíz, se evaluaron seis sembradoras determinando su capacidad efectiva en campo, con valores obtenidos entre 0.020 y 0.055ha/h. Al analizar el tiempo utilizado para sembrar una cama con diferentes operadores se obtuvieron diferencias significativas entre operadores para las sembradoras Boshima, Fitarelli y la pala (*p*- value = 0.017, 0.037 y 0.028 respectivamente). La emergencia del cultivo caracterizó la funcionalidad de las herramientas alcanzando valores de 71.1% con el espeque y solo 10.5% con la Fitarelli. Aportando a las metodologías de evaluaciones agrotécnicas convencionales, se realizó una ponderación considerando la facilidad de uso, la precisión y la eficiencia en campo. En su totalidad, las herramientas tradicionales presentaron mejores resultados a comparación de herramientas modernas, probablemente debido a su sencillez y baja demanda de mantenimiento. Sin embargo, algunas herramientas modernas se destacan fuertemente en rubros específicos de desempeño.

Palabras clave: capacidad efectiva, evaluación agrotécnica, herramientas agrícolas, pequeños productores, siembra manual.

Recibido: enero de 2018

Aceptado: febrero de 2018

Introducción

Los rendimientos de los principales cereales usados como alimento están sufriendo una disminución principalmente causada por la degradación de superficies agrícolas. El aumento en la producción de alimentos requiere de la implementación de prácticas de intensificación sustentable y favorable en la conservación de los recursos naturales del planeta, lo que requiere a su vez de la difusión de las tecnologías de mecanización apropiadas (Sims and Kienzle, 2015).

Productores con extensiones agrícolas de 2 ha o menos producen hasta 70% de los alimentos en el mundo (Maass- Wolfenson, 2013) y la mayoría de estos pequeños agricultores se encuentran ubicados en regiones del mundo en desarrollo como el África subsahariana, el sur y sureste de Asia, así como centro y el sur de América (Harman, 2016). Por lo tanto, para aumentar rendimientos en la producción de granos básicos en estas regiones se necesita de una estrategia que incluya un enfoque en las operaciones de siembra manual, así como, en las herramientas que se usan para ello. En efecto, estas herramientas forman parte integral de las soluciones de mecanización que facilitan la realización de mayor sustentabilidad y productividad en el campo, igual que herramientas de tiro animal o accionadas por motores (Kienzle y Sims, 2014).

En México, la siembra manual de maíz se realiza mayormente con equipos sencillos tales como espeques, azadones o palas que hacen de esta operación una faena pesada. Por lo regular, en cada golpe se colocan de dos a tres semillas para asegurar una germinación, y esta práctica trae consigo no solo un uso ineficiente de insumos sino también la competencia entre plantas que disminuye los rendimientos. Según Chim *et al.* (2014) la singularización de semillas en la siembra de maíz puede llegar a incrementar los rendimientos hasta 40% en comparación a la práctica mencionada anteriormente. Otro factor importante es la siembra oportuna, sobre todo en condiciones de temporal. En efecto, Lawles (2006) y Hodgen (2007) indican que el retraso en la emergencia puede resultar en una reducción significativa del rendimiento.

Smithers *et al.* (2010) indica que los requerimientos a tomar en cuenta para el desarrollo de una sembradora manual son un diseño sencillo que facilite el uso y mantenimiento, la velocidad de siembra, la flexibilidad para poder sembrar semillas con distintos tamaños y formas, y finalmente el costo. Estos mismos autores compararon en campo un prototipo propio contra una herramienta tradicionalmente utilizada en África del Sur requiriendo solo 30% del tiempo comparado con la herramienta convencional, atribuyendo esta superioridad al dosificador mecánico y a la punta afilada de la herramienta.

Por otro lado, Osei- Bonsu *et al.* (2015) evaluó en Ghana una sembradora de origen chino tipo Boshima (Boshima, 2017), una sembradora manufacturada localmente y una herramienta tipo machete tradicionalmente usada para la siembra de maíz en diferentes condiciones de preparación de suelo y rastrojo obteniendo 8.59 h (implemento tipo Boshima) y 23.58 h (machete) como valores mínimo y máximo respectivamente para realizar la tarea de siembra en una hectárea. Ellos mencionan como desventaja de la sembradora de origen chino el material de construcción el cual es en su mayoría de plástico.

En otro estudio Osei Bonsu *et al.* (2016) obtuvieron valores de 2.48, 8.05, 6.32, 14.37 h/ha con una sembradora montada a un tractor de 4 ruedas, y las tres sembradoras manuales anteriormente evaluadas respectivamente. Comparaciones realizadas por Aikins *et al.* (2010) exhiben poco control en el sistema de dosificación de sembradoras manuales de accionamiento de clavado (*jab-planter* en inglés) lo cual conlleva a una densidad de siembra errónea que finaliza con un mal rendimiento.

Omara *et al.* (2016) y Dhillon *et al.* (2017) describieron el desarrollo de la sembradora GreenSeeder (INDIGDEV, 2017) y se enfocaron en el mejoramiento del dosificador para conseguir la singularización y la reducción de fallas mediante la variación de las dimensiones de la cavidad que aloja la semilla de acuerdo a los requerimientos. Los autores registraron una reducción en múltiples semillas dosificadas y fallas, con una singularización exitosa 80% de los golpes.

Basándose en las metodologías utilizadas en los estudios anteriormente mencionados y los lineamientos presentados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO, 1994), el presente trabajo muestra los resultados obtenidos de la evaluación en campo de seis sembradoras de accionamiento manual para la siembra de maíz con el objetivo de conocer el desempeño de las herramientas tradicionales utilizadas en México, en contraste con diversas sembradoras modernas y comercialmente disponibles. Finalmente, la metodología utilizada permitirá interpretar los resultados de la evaluación agrotécnica para facilitar la identificación y selección de las mejores opciones de herramientas manuales para productores de baja escala.

Materiales y métodos

La evaluación en campo se llevó a cabo dentro de las instalaciones del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) ubicado en El Batán, Texcoco, Estado de México. A una altitud de 2 240 msnm, con clima templado semi-seco, una temperatura media anual de 15.9 °C y una precipitación media anual de 686 mm (INAFED, 2018). La clasificación del suelo de la parcela según la Base Referencial Mundial (WRB por sus siglas en inglés) es de un Phaeozem Haplíco (FAO, 2007).

Las sembradoras manuales que se incluyeron en la evaluación son representativas de herramientas utilizadas de manera tradicional en México y equipos comercialmente disponibles en varias regiones del mundo. En la Figura 1 se pueden apreciar los distintos equipos utilizados en la evaluación, mientras que en el Cuadro 1 se alistan las características generales de cada una.

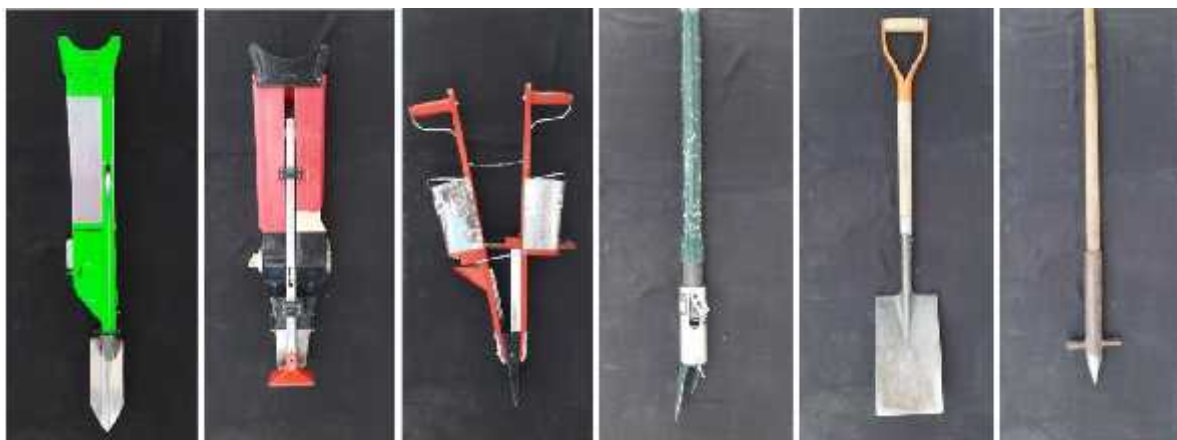


Figura 1. Herramientas manuales utilizadas en la evaluación agrotécnica: Yufeng, Boshima, Fitarelli, GreenSeeder, Pala y Espeque (izquierda a derecha).

La herramienta marca Yufeng de origen chino, fabricada en material de plástico en su mayoría cuenta únicamente con un depósito para semillas. El dosificador es de rodillo con una serie de orificios en su periferia. La punta está formada por un compartimento de precarga y una pala de 25 cm de largo encargada de hacer el orificio en el suelo. Su dosificador se acciona con el movimiento de empuje vertical hacia el suelo.

También de origen chino, la sembradora Boshima cuenta con compartimientos para semilla y fertilizante (Boshima, 2017). Sus dosificadores se accionan similarmente a la sembradora mencionada anteriormente, pero cuenta con dos puntas de 9 cm de largo que colocan la semilla y fertilizante simultáneamente en el suelo. El material de su estructura es de plástico.

La sembradora brasileña Fitarelli está compuesta de un cuerpo de madera y cuenta con depósitos para semilla y fertilizante; dos puntas de acero de 13 cm de largo guían los insumos al suelo (Fitarelli, 2017). El accionamiento de los mecanismos para la carga/descarga de semilla y fertilizante se realiza mediante el movimiento de apertura y cierre de los brazos. Esta herramienta es considerada una de las primeras sembradoras de accionamiento de clavado (Johansen *et al.*, 2012).

La sembradora GreenSeeder desarrollada por la universidad de Oklahoma en Estados Unidos de América consiste de un tubo de PVC que sirve como contenedor de semillas y un dosificador de aluminio con un rodillo de una sola cavidad (INDIGDEV, 2017). En la parte inferior cuenta con una pequeña cuchilla de 11 cm de largo encargada de hacer el orificio en el suelo. Su mecanismo funciona con el golpe al suelo y un resorte que hace girar el rodillo en el interior del dosificador.

Las dos herramientas convencionales utilizadas para la siembra manual de maíz no contienen ningún dispositivo de dosificación ni depósito para semilla o fertilizante. La semilla es transportada por el operador en un contenedor a la altura de la cintura; la dosificación y colocación de semilla se realiza completamente de manera manual. A comparación de la pala conformada por una hoja de acero con filo en su borde con ancho de 16 cm y altura de 30 cm, el espeque simplemente cuenta con un componente de acero en forma cónica que sirve para hacer un orificio en el suelo y profundizar un máximo de 12 cm.

Cuadro 1. Descripción general de las sembradoras utilizadas en la evaluación agrotécnica.

Sembradora	Masa en vacío, kg	Dimensiones (L, A, H), cm	Dosificador semillas	Dosificador fertilizante	Capacidad contenedores, l
Yufeng	2	14, 15, 97	Rodillo	N/A	3
Boshima	2.2	15, 19, 81	Rodillo	Rodillo	1.5
Fitarelli	3.5	12, 48, 90	Placa recíprocante	Compuerta	1.5
GreenSeeder	2.3	8, 8, 169	Rodillo	Rodillo	1
Pala	1.7	10, 17.5, 106	N/A	N/A	N/A
Espeque	1.4	5.1, 15, 143	N/A	N/A	N/A

Caracterización de la semilla utilizada en la evaluación

Las dimensiones, esfericidad, masa de 1 000 semillas y densidad aparente fueron determinadas como se reportan en Co kun *et al.* (2006). La humedad de la semilla fue determinada utilizando un determinador de humedad John Deere modelo SW08120 (John Deere, 2017) con 10 repeticiones. Una prueba de germinación como lo establece Warham *et al.* (1997) fue realizada para conocer el porcentaje de semilla viable.

Determinación de la capacidad efectiva de siembra

Cada herramienta fue evaluada sembrando 4 camas de un largo aproximado de 26 m realizada en junio del 2016. En el centro de cada cama fue colocada una cuerda, marcando los golpes a intervalos regulares. La distancia entre golpes fue definida a 0.23 m, para obtener una densidad de aproximadamente 58 000 plantas por hectárea en camas de 0.75 m de ancho. La semilla utilizada fue maíz criollo blanco ‘Santiaguito’ originario del municipio de Texcoco, Estado de México. El cultivo establecido previamente en esta área fue trigo por lo que las camas conservaban aun una cobertura de rastrojo rala.

Cada herramienta fue calibrada para depositar una semilla por golpe y con la finalidad de contrastar resultados del desempeño del operador fueron seleccionadas 2 personas para operar cada uno de los instrumentos. Como lo describe la FAO (1994), se tomó registro del número de golpes realizados por cama, el tiempo para finalizar cada cama y el número de interrupciones que tuvieron lugar en el transcurso de la actividad de siembra. Una falla u obstrucción del mecanismo, la necesidad de limpiar las puntas o de rellenar el depósito de semillas fue registrada como una interrupción en la cual la medición del tiempo fue suspendida.

Adaptado de Hancock *et al.* (1991), se procedió a determinar la capacidad efectiva (C_e) en ha/h para cada sembradora como se describe en la ecuación 1, con los valores de ancho de trabajo en metros (A_t), la distancia recorrida en metros (D) obtenida a partir del número de golpes realizados, y el tiempo (t) en segundos requerido para finalizar.

$$C_e = \left(\frac{A_t * D}{t} \right) * 0.36 \quad (1)$$

Emergencia del cultivo

La determinación del porcentaje de emergencia del cultivo fue realizada 20 días después de haber efectuado la siembra. Se tomó registro del número de golpes con presencia de plantas emergidas por cama, así como el total de golpes con presencia de dobles (2 plantas emergidas) o triples (3 plantas emergidas) para las 4 camas correspondientes a cada herramienta evaluada.

Eficiencia general de las sembradoras

Con la finalidad de determinar la eficiencia general de trabajo o la capacidad de cumplir adecuadamente la actividad de siembra de cada herramienta evaluada, los valores obtenidos en campo fueron transformados a una escala de 1 a 10 en donde 1 representa la calificación de menor desempeño y 10 de mayor desempeño. A continuación, se establecieron tres categorías de evaluación cada uno compuesto por diferentes aspectos evaluados en el estudio. Posteriormente, los diferentes aspectos fueron ponderados, basados en el grado de importancia relativa de la labor de una siembra manual. Las categorías, aspectos correspondientes y ponderación son los siguientes:

Facilidad de uso: la accesibilidad para el operador (20%) y la versatilidad que ofrece la herramienta (15%).

Precisión: el porcentaje de emergencia (26.25%) y la ocurrencia de dobles (6.25%).

Eficiencia de trabajo: la capacidad efectiva (21.25%) y la cantidad de interrupciones durante la actividad de siembra (11.25%).

Para la versatilidad se revisaron características de las sembradoras, otorgando la mejor puntuación (10) si la herramienta cuenta con dispositivo que permita sembrar y fertilizar de manera simultánea, pues esto generaría un ahorro en la mano de obra. Un valor intermedio (5) fue otorgado a las herramientas que cuentan con sistemas de dosificación de semilla solamente y el valor más bajo (1) fue otorgado a las herramientas que no cuentan con ningún dispositivo de dosificación.

Se asumió que la dificultad de operar un tipo de sembradora o la accesibilidad para el operador, es representado por el p -value de la Anova unifactorial del tiempo utilizado para sembrar una cama entre operadores. Por lo tanto, sin importar la significancia estadística se pudo inferir la accesibilidad de una herramienta para un operador con dicho resultado. En este sentido un p -value alto representa una accesibilidad amplia y un p -value reducido indica un sistema más complejo a operar. Realizando la misma transformación a una escala de 1 a 10, se obtuvo la calificación utilizada.

Para obtener la puntuación final para cada herramienta, la calificación de cada aspecto fue multiplicada por la ponderación aplicada y dichos productos sumados.

Resultados y discusión

Caracterización de la semilla utilizada en la evaluación

La semilla utilizada durante la evaluación presentó en promedio 5.44, 7.91, 4.2 mm en sus dimensiones de largo, ancho y grosor respectivamente, la esfericidad promedio de la semilla

fue de 0.52, la masa de 1 000 semillas fue de 367.7 g y la densidad aparente de 0.74 g/cm³ con contenido de humedad de 9.63%. En la prueba de germinación de semilla se obtuvo un valor promedio de 92% de semillas germinadas.

Determinación de la capacidad efectiva de siembra

Las capacidades efectivas obtenidas durante la actividad de siembra se presentan en el Cuadro 2 en donde se puede apreciar que la sembradora Boshima obtuvo el mejor desempeño con un promedio de 0.055 ha/h; es decir, son necesarios alrededor de 23 h de trabajo para finalizar una hectárea. Además, se puede observar una gran variación en los resultados obtenidos con las otras sembradoras, debido mayormente a la diferencia en el tiempo utilizado por los operadores con distintas sembradoras. La capacidad efectiva más baja se presentó con la sembradora Yufeng con la cual se requirió más de 50 h para finalizar una hectárea de trabajo.

Este resultado es sorprendente, puesto que los sistemas de dosificación de semillas de ambas herramientas son prácticamente los mismos. No obstante, la diferencia puede atribuirse a que en el caso de la sembradora Boshima, no se tiene una visibilidad para asegurar la colocación correcta de la semilla por lo que en muchas ocasiones se asume que se ha depositado correctamente y se continua con el siguiente golpe sin contratiempos, mientras que con la sembradora Yufeng se tiene la visibilidad la descarga de la semilla al momento de realizar el golpe. Al no visualizar la colocación de semilla, el operador procede intuitivamente a repetir la acción, requiriendo un mayor tiempo. Esta acción también se refleja en el estudio de Osei Bonsu *et al.* (2015) en donde la herramienta tradicional resultó con el mayor tiempo en finalizar cierta superficie debido a que los operadores se aseguraban de colocar adecuadamente la semilla.

Al ser así, la posibilidad de visualizar una colocación exitosa de la semilla deberá reflejarse en un mayor porcentaje de emergencia del cultivo más adelante.

Cuadro 2. Resumen de resultados obtenidos en campo de las seis sembradoras evaluadas.

Sembradora	C_e , ha/h	Tiempo por superficie, h/ha	Promedio de interrupciones
Boshima	0.055	22.9	1.25
GreenSeeder	0.023	45.0	3.25
Pala	0.026	39.3	0.00
Yufeng	0.020	50.9	1.50
Espeque	0.023	44.5	0.25
Fitarelli	0.029	36.1	4.00

En general, entre los operadores no se encontró ninguna diferencia significativa en tiempo utilizado para sembrar una cama (p -value= 0.19), pero si existen diferencias significativas entre operadores para el uso de las sembradoras Boshima, Fitarelli y la pala (p -values= 0.017, 0.037, 0.028 respectivamente). Este resultado indica que la habilidad o experiencia del operador para trabajar con ciertos equipos es importante a considerar, y que unos equipos son más accesibles que otros. Los valores obtenidos en esta evaluación superan a los proporcionados por Osei- Bonsu *et al.* (2015; 2016) ya que el arreglo topológico fue distinto.

Finalmente en el Cuadro 2, se puede observar el promedio de las interrupciones durante la actividad de siembra en las cuales las herramientas pala y espeque exigen menos atención. Esto sugiere porque tradicionalmente son las herramientas preferidas por los agricultores. Las sembradoras Fitarelli y GreenSeeder son las que más interrupciones presentaron para ajustes, con un promedio de más de tres interrupciones en un tramo de 26 m.

Emergencia del cultivo

Como se mencionó anteriormente, el tiempo que tarda el operador en colocar la semilla en el suelo y la confirmación visible de una colocación de la semilla exitosa debe reflejarse en el porcentaje de emergencia del cultivo. De hecho, analizando los datos capturados a 20 días después de la siembra (Figura 2), se puede confirmar esta hipótesis pues los valores promedio de germinación en la hilera de siembra fueron de 71.1%, 62.8% y 64.9% para el espeque, la sembradora Yufeng y la herramienta pala respectivamente. Los valores más bajos fueron obtenidos con la sembradora Fitarelli presentando una germinación en promedio de 10.5% respecto al total de golpes realizados, mientras que la sembradora Boshima demostró la más grande variabilidad.

Probablemente, estos resultados se deben además al sistema de penetración de cada sembradora. Los tres sistemas más exitosos, aparte de tener alta visibilidad al momento de depositar la semilla, cuentan con solo una pieza que está en contacto con el suelo y generan un corte (*i.e.* Yufeng y la pala) u orificio (*i.e.* espeque) en el suelo antes de depositar la semilla. En contraste, la Fitarelli y la Boshima cuentan con un sistema de puntas móviles para penetrar y abrir el suelo, las cuales se ven limitadas al encontrar zonas compactadas y que fácilmente presentan obstrucciones al realizar un mal accionamiento. En este sentido, la sembradora GreenSeeder presenta una excepción pues la punta de esta herramienta está conformada de una sola pieza. Sin embargo, existen componentes internos que dificultan y retardan la caída de la semilla, resultando una mala colocación de la semilla en repetidas ocasiones.

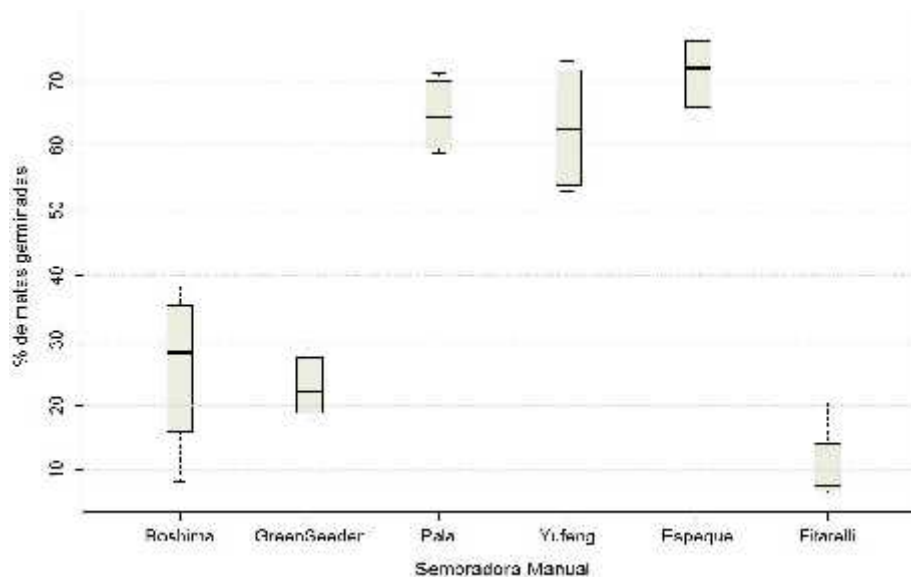


Figura 2. Porcentaje de golpes que presentaron germinación para cada cama a 20 días después de realizar la siembra.

Durante el registro de datos de emergencia se tomó en cuenta el número de plantas emergidas por golpe, lo cual indica la eficiencia de la singularización del sistema de dosificación de las sembradoras. Una alta incidencia de 2 plantas emergidas por golpe se observó en los 4 surcos establecidos con la sembradora Boshima con 18.4% respecto al número total de golpes realizados. Otros valores encontrados fueron 15.9%, 14.3% y 11.3% para las sembradoras Yufeng, GreenSeeder y Fitarelli respectivamente. La herramienta pala y espeque presentaron los valores más bajos con 3.3% y 2.3% respectivamente. Solo en un número mínimo de casos se encontraron tres plantas emergidas por golpe, por lo cual no se consideran en este estudio.

Eficiencia general de las sembradoras

Los resultados obtenidos al realizar la ponderación y transformación a una escala de 1 a 10 para determinar el desempeño general de las sembradoras se muestran en el Cuadro 3, de acuerdo a lo indicado en la metodología.

Cuadro 3. Resultados de la evaluación ponderada para definir la eficiencia de los implementos.

Sembradora	Facilidad		Precisión		Eficiencia		Total
	Operador	Versatilidad	Germinación	Dobles	C _e	Interrupciones	
Boshima	1.00	10	3.26	1.00	10.00	7.19	5.6
GreenSeeder	4.16	5	2.88	3.31	3.05	2.69	3.5
Pala	1.88	1	9.07	9.44	4.74	10.00	5.6
Yufeng	10.00	5	8.77	2.38	1.00	6.63	6.2
Espeque	4.16	1	10.00	10.00	6.94	9.44	6.8
Fitarelli	1.48	10	1.00	4.97	5.76	1.00	3.7

En este análisis el espeque termina con la mejor calificación de todas con un puntaje final de 6.8. Este resultado confirma porque el implemento ha sido la opción preferida de muchos agricultores hasta la fecha y demuestra lo robusto que es la selección por generaciones de usuarios. No obstante, dos sembradoras manuales modernas se posicionan en segundo y tercer lugar, con 6.2 y 5.6 puntos para la Yufeng y Boshima, respectivamente. Ambas tienen sistemas de dosificación similares, pero la visibilidad y la facilidad de penetrar el suelo hacen que la Yufeng supere a la Boshima a pesar que esta última presenta una mayor versatilidad. Es importante notar que la velocidad de avance y un establecimiento exitoso del cultivo se comportan de manera opuesta. La herramienta pala se ubica en el cuarto lugar, perdiendo campo por ser simple y rudo para el operador menos experimentado.

En las últimas posiciones se ubican la Fitarelli y la GreenSeeder con valores de 3.7 y 3.5 respectivamente. La razón del menor desempeño de estas herramientas es debida a la manera de abrir y depositar la semilla en el suelo. La Fitarelli, por su sistema de tijera suele taparse mucho ocasionando constantes interrupciones para limpiar las puntas similarmente a lo reportado por Johansen *et al.* (2012), mientras que la GreenSeeder tiene problemas en la sincronización de la caída de la semilla mencionada anteriormente haciéndola imprecisa y poco práctica.

De tal manera, los parámetros obtenidos permitieron caracterizar el desempeño de las distintas herramientas estudiadas en donde se observan ventajas y desventajas de cada una. Herramientas que pueden ser manipuladas con mayor rapidez proporcionan un aumento en la capacidad efectiva en campo; sin embargo, se corre el riesgo de no colocar la semilla adecuadamente afectando severamente el establecimiento exitoso del cultivo. Las herramientas tradicionales aseguran la colocación adecuada, pero dependen de cierta manera de la experiencia del operador. Sin embargo, utilizando semilla criolla los sistemas de dosificación integrados en las sembradoras modernas tampoco dan siempre la precisión requerida.

Factores no evaluados en este trabajo, pero igual importantes a considerar son: el material de construcción y su robustez (como lo mencionan estudios similares las herramientas fabricadas de plástico tienden a tener poca vida útil por el deterioro de sus componentes), la complejidad de los mecanismos de dosificación (un número elevado de componentes de pequeñas dimensiones suelen provocar contratiempos en los ajustes) y el cansancio generado en el operador por el uso de cierta herramienta. Este último factor no se consideró en el trabajo presentado debido a que la superficie reducida de trabajo no permitió llegar a niveles de fatiga relevantes, aparte de requerir instrumentación especializada.

Conclusiones

Se realizó la evaluación agrotécnica de 6 sembradoras de accionamiento manual mediante la siembra de maíz en campo. Dos de las herramientas evaluadas son utilizadas tradicionalmente por productores y estas carecen de mecanismos de dosificación de semilla y fertilizante; las restantes cuentan con mecanismos modernos comercialmente disponibles en varias regiones del mundo. La versatilidad de un implemento, como la opción de sembrar y fertilizar al mismo tiempo, representa una ventaja por el ahorro del trabajo que implica una segunda actividad como lo es la fertilización.

En resumen, para poder cumplir con la necesidad de los productores es necesario contar con una herramienta robusta y fácil de operar en general, con una precisión satisfactoria. Basado en el análisis presentado el espeque sigue siendo una herramienta que cumple con mejor resultado incluyendo estos criterios. No obstante, existen varias opciones que acercan al desempeño de las herramientas tradicionales y ofrecen una solución para operadores menos experimentados, aumentando la eficiencia de trabajo. Hoy en día, este aspecto es sumamente importante dentro del contexto demográfico rural que se encuentra en una disminución fuerte de personas con interés de involucrarse en actividades del campo.

Los resultados del presente trabajo explican porque los agricultores siguen prefiriendo sus implementos tradicionales para realizar la siembra de maíz de manera manual. Sin embargo, con las exigencias de intensificar la agricultura en predios pequeños y el incremento en el costo de la labor existe la necesidad de buscar herramientas más versátiles, precisas y eficientes en condiciones cambiantes. Desde esta perspectiva, el análisis presentado describe una metodología relativamente sencilla para evaluar la eficiencia general de diversas herramientas para la siembra manual de maíz, tomando en cuenta las características más importantes según las necesidades de la región. En el futuro será necesario ampliar el estudio

incluyendo más herramientas, diferentes condiciones de suelo y una variedad de semillas, entre otros.

Agradecimientos

El trabajo fue implementado por CIMMYT como parte del proyecto MasAgro Productor. Así como, fue posible por el apoyo generoso de la SAGARPA. Todas las opiniones, resultados, conclusiones o recomendaciones expresados en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del donante. Los autores extiendan sus agradecimientos a G. Martínez en especial y otros colegas de CIMMYT por su invaluable apoyo.

Literatura citada

- Aikins, S. H. M.; Afuakwa, J. J.; Adjei, E. and Kissi G. 2011. Evaluation of different planting tools for maize stand establishment. *Inter. J. Sci. Nature*. 4(2):890-893.
- Aikins, S. H. M.; Bart, P. A. and Opoku, B. S. 2010. Performance evaluation of jab planters for maize planting and inorganic fertilizer application. *J. Agric. Biol. Sci.* 1(5):29-33.
- Baudron, F.; Mwanza, H. M.; Triomphe, B. and Bwayala, M. 2007. Conservation agriculture in Zambia: a case study of Southern Province Nairobi. African Conservation Tillage Network, Centre de Coopération Internationale de Recherche Agronomique pour le Développement, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 28 pp.
- Boshima. 2017. Green boshima international - services. <http://www.boshimaco.com/services>.
- Chim, B. K.; Omara, P.; Macnack, N.; Mullok, J.; Dhital, S. and Raun, W. 2014. Effect of seed distribution and population on maize (*Zea mays* L.). Grain yield. *Inter. J. Agron*.
- Co kun, M. B.; Yalçin, I. and Özarslan, C. 2006. Physical properties of sweet corn seed (*Zea mays saccharata* Sturt.). *J. Food Eng.* 4(74):523-528.
- Dhillon, J. S.; Figueiredo, B.; Aula, L.; Lynch, T.; Taylor, R. K. and Raun, W. R. 2017. Evaluation of drum cavity size and planter tip on singulation and plant emergence in maize (*Zea mays* L.). *J. Plant Nutr.* 20(40):2829-2840.
- Fitarelli. 2017. Plantadeira e adubadeira manual. <http://www.fitarelli.com.br/site/produto/29/plantadeira-e-adubadeira-manual>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1994. Testing and evaluation of agricultural machinery and equipment: principles and practices. FAO Agricultural Services Bulletin 110. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. 102 pp.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2007. IUSS Working Group WRB. World reference base for soil resources 2006, first update 2007. World Soil Resources Reports No. 103. Rome, Italy. 128 pp.
- Hancock, J. N.; Swetnam, L. D. and Benson, F. J. 1991. Calculating farm machinery field capacities. Agricultural Engineering Extension Publications. 20. University of Kentucky. 6 pp.
- Harman, R. M. 2016. Opportunities in sustainability: maize seeders for the developing world and alternative fertilizers in the United States. Master's Thesis. University of Tennessee. 142 pp.

- Hodgen, P. J. 2007. Individual corn plant nitrogen management. Doctoral dissertation. ETD collection for University of Nebraska. AAI3271926. <http://digitalcommons.unl.edu/dissertations/AAI3271926>.
- INDIGDEV. 2017. Small farm toolbox- resources of the small farm. The GreenSeeder. https://smallfarmtoolbox.com/epages/cb749bd8-f9a0-4462-9691-2d5bd9cf7628.sf/en_us/?objectpath=/shops/cb749bd8-f9a0-4462-9691-2d5bd9cf7628/categories/category1].
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED). 2017. Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM15mexico/>.
- Johansen, C.; Haque, M. E.; Bell, R. W.; Thierfelder, C. and Esdaile, R. J. 2012. Conservation agriculture for small holder rainfed farming: opportunities and constraints of new mechanized seeding systems. *Field Crops Research*. 132:18-32.
- John Deere. 2017. Medidores de humedad. <https://www.deere.com.ar/es/repuestos-servicio/repuestos/productos-complementarios/medidores-de-humedad/>.
- Kienzle, J. and Sims, B. G. 2014. Agricultural mechanization strategies for sustainable production intensification: concepts and cases from (and for) sub-Saharan Africa. Food and Agricultural Organization of the United Nations. http://www.clubofbologna.org/ew/documents/3_1b_KNR_Kienzle_mf.pdf.
- Lawles, K. D. 2006. Effect of delayed emergences on corn grain yields. Master of science thesis. Oklahoma State University. Stillwater, Oklahoma, USA. 30 pp.
- Maass, W. K. D. 2013. Coping with the food and agriculture challenge: smallholders' agenda. Natural Resources Management and Environment Department Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. 55 pp.
- Omara, P.; Aula, L.; Raun, B.; Taylor, R.; Koller, A.; Lam, E.; Ringer, J.; Mullock, J.; Dhital, S. and Macnack N. 2016. Hand planter for maize (*Zea mays* L.) in the developing world. *J. Plant Nutr.* 39(9):1233-1239.
- Osei, B. P. 2016. Four planting devices for planting no-till maize. *Inter. J. Development Sustainability*. 5 (5):213-219.
- Osei, B. P.; Omaa, H.; Nagumo, F.; Owusu, B. R. and Pinamang, A. P. 2015. Evaluation of two jab planters for planting maize in the forest zone of Ghana. *Inter. J. Innov. Appl. Studies*. 10(1):30-35.
- Sims, B. and Kienzle, J. 2015. Mechanization of conservation agriculture for smallholders: issues and options for sustainable intensification. *Environments*. 2(2):139-166.
- Smithers, J.; Lagrange, L.; Fraser, B.; Neethling, D. and Hill, A. 2010. Design and evaluation of a jab planter. *In: XVII World Congress of the Agricultural and Biosystem Engineering (CGIR)*. Quebec, Canada. 8 pp.
- Warham, E. J.; Butler, L. D. and Sutton, R. C. 1997. Ensayos para la semilla de maíz y trigo: manual de laboratorio. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). México. 84 p.