

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria
Ingeniería Agronómica



Proyecto Especial de Graduación
**Evaluación de parámetros de siembra de maíz a diferentes velocidades
de operación del implemento y utilizando el monitor de siembra
SeedStar**

Estudiante

Fharadiva Navarrete Osegueda

Asesor

José Adrián Ordoñez Bonilla, Mtr.

Allan Martínez, Ing. Agrónomo

Alina Castillo, Ing. Agrónomo

Honduras, agosto 2023

Autoridades

SERGIO ANDRÉS RODRIGUEZ ROYO

Rectora Interina

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

CELIA O. TREJO RAMOS

Directora Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros	4
Índice de Figuras	5
Resumen	7
Abstract	8
Introducción	9
Materiales y Métodos	11
Sitio de Estudio y Condiciones Geo-Climáticas	11
Maquinaria	11
Preparación del Monitor de Siembra SeedStar®	12
Preparación del Equipo	18
Monitor	19
Diseño Experimental	19
Resultados y Discusión	21
Densidad de Siembra	21
Productividad	22
Consumo y Rendimiento de Combustible	24
Conclusiones	27
Recomendaciones	28
Referencias	29

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Descripción del diseño estadístico Bloques Completos al Azar para las diferentes velocidades de siembra del cultivo de maíz.....	20
Cuadro 2 Efecto de la velocidad de avance del tractor en la densidad promedio de siembra (ss/ha).....	22
Cuadro 3 Efecto de la velocidad de avance del tractor en la productividad del trabajo (ha/h).	24
Cuadro 4 Efecto de la velocidad de avance del tractor en el consumo (L/h) y rendimiento (L/ha) de combustible del tractor.	26

Índice de Figuras

Figura 1 Ubicación de la finca Zona 1, Zona 2, Zona 3, San Nicolas y Pivote en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras.....	11
Figura 2 Tractor 6125M-01 acoplado a la sembradora MaxPlanter Plus 1030.....	12
Figura 3 Primer paso para la documentación de la siembra, selección de recursos, maquinaria e implemento en el monitor de siembra GreenStar 3.....	13
Figura 4 Segundo paso para la documentación de la siembra, ingreso de datos del cliente como nombre, finca, lote a trabajar, labor, campaña y operador que ejecutará la tarea en el monitor de siembra GreenStar 3.	13
Figura 5 Tercer paso para la documentación de la siembra, ingreso de datos de la maquinaria como tipo, modelo, nombre y tipo de conexión en el monitor de siembra GreenStar 3.....	14
Figura 6 Cuarto paso para la documentación de la siembra, ingreso de datos del implemento como tipo, modelo, nombre y ancho de trabajo en el monitor de siembra GreenStar 3.	14
Figura 7 Quinto paso para la documentación de la siembra, ingreso de la variedad de semilla en el monitor de siembra GreenStar 3.....	15
Figura 8 Dashboard del sitio web MyJohnDeere®, para acceder al centro de operaciones y visualizar el desempeño de la labor.....	15
Figura 9 Interfaz del centro de operaciones, donde se observan los lotes trabajados y la labor que se realizó en ellos.	16
Figura 10 Selección del lote de interés, para analizar el desempeño de la labor realizada.....	16
Figura 11 Acceso al mapa y los datos generados en la plataforma dando click a la opción “Field Analyzer”.....	17
Figura 12 Exportación del reporte correspondiente al lote seleccionado y previsualización del mapa del lote.....	18

Figura 13 Informe final del lote seleccionado con mapa coloreado de acuerdo a la densidad de
siembra..... 18

Resumen

La siembra es una labor trascendental que persigue la obtención de una población homogénea a través de implementos que dosifiquen, conduzcan y distribuyan la semilla en el terreno uniformemente. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la velocidad de avance en la densidad, productividad, consumo y rendimiento de combustible para la labor de siembra de maíz Tuxpeño para la producción de semilla. El experimento fue realizado en los lotes de la Unidad de Producción de Granos y Semillas de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. Se estableció un diseño de bloques completos al azar (BCA), siendo el efecto bloque el tamaño de la superficie de los lotes evaluados. Área pequeña, mediana y grande, donde el área pequeña fue de 3.7 - 4.4 ha (B3), la mediana de 4.7 - 7 ha (B2) y grande de 9.3 - 10.1 ha (B1). Para cada bloque se evaluaron tres tratamientos, siendo tratamiento 1 (T1) 6 km/h, tratamiento 2 (T2) 8 km/h y tratamiento 3 (T3) 9 km/h, para cada tratamiento se realizaron tres repeticiones. Las diferentes velocidades de avance tuvieron efecto sobre la deposición de semilla (ss/ha), disminuyendo a medida que la velocidad aumentaba; la productividad (ha/h) y consumo de combustible (L/h) no se vieron afectados en función de la velocidad de avance. El rendimiento de combustible sí se vió afectado por el aumento de velocidad, destacando el tratamiento 6km/h con el menor consumo de combustible (8.6 L/ha) y el tratamiento 3 (9 km/h) con el mayor consumo (10.77 L/ha), siendo un 24% superior.

Palabras clave: consumo de combustible, maíz, productividad, siembra, velocidad.

Abstract

Sowing is a transcendental task that seeks to obtain a homogeneous population through implements that dose, drive and distribute the seed evenly on the ground. The objective of the study was to evaluate the effect of the forward speed on the density, productivity, consumption, and fuel yield for sowing work. The experiment was carried out in the lots of the Grain and Seed Production unit of the Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. Blocks classified according to their extension into small, medium, and large areas were used, with the small area being 3.7-4.4 ha (B3), the median area being 4.7-7 ha (B2), and the large area being 9.3-10.1 ha (B1). Three treatments were evaluated for each block, treatment 1 (T1) 6 km/h, treatment 2 (T2) 8 km/h, and treatment 3 (T3) 9 km/h, for each treatment three repetitions were performed. The different advancing speeds had an effect on seed deposition (ss/ha), decreasing as the speed increased; productivity (ha/h), and fuel consumption (L/h) were not affected as a function of forward speed. The fuel yield was affected by the increase in speed, highlighting treatment 1 (6km/h) with the lowest fuel consumption (8.6 L/ha) and treatment 3 (9 km/h) with the highest consumption (10.77 L/ha), being 24% higher.

Keywords: corn, fuel consumption, productivity, sowing, speed.

Introducción

Los rendimientos de la mayoría de los cultivos han aumentado progresivamente con el paso de los años, esto debido a las mejoras en las prácticas de manejo, la optimización en el uso de los insumos agrícolas y a los avances genéticos (Gargicevich y Maroni 1997). La producción de granos juega un papel destacado en la actividad agrícola mundial. Los cultivos de cereales y oleaginosos ocupan la mayor parte de la superficie sembrada en suelos agrícolas. Entre los cereales, se destaca el cultivo del maíz (*Zea mays L.*) como uno de los más importantes a nivel mundial, con una producción total de 1.65 billones de toneladas, donde Honduras contribuye con 648,634 toneladas (FAOSTAT 2018).

(Bragachini et al. 2002) atribuyeron los aumentos del rendimiento para el cultivo de maíz a los avances logrados con los híbridos simples y al papel de la biotecnología con la incorporación del gen Bt, la fertilización balanceada y la mejora en el aprovechamiento del agua a través de sistemas de riego especializados. Sin embargo, (D'Amico y Tesouro 2007) describen la importancia de la operación de siembra en el maíz, no sólo en la optimización de la semilla como insumo, sino que conlleva al logro de un conjunto de plantas planificado y distribuido uniformemente que tendrá influencia decisiva en la expresión del potencial de rendimiento.

En países en vía de desarrollo, la escasez de recursos hace necesaria la implementación de paquetes tecnológicos con el fin de satisfacer la demanda de alimentos con relación al crecimiento poblacional. A raíz de esta situación, hemos pasado de la agricultura 1.0 a la agricultura 4.0, un cambio crucial que integra diferentes innovaciones que engloban a la agricultura de precisión, Internet de las Cosas (IdC) y macrodatos con el fin de lograr mayor eficiencia en la producción (Valle 2022). En complemento con lo anterior, la utilización de maquinaria agrícola en las distintas labores agrícolas tiene un efecto crucial en maximizar rendimientos. Entre ellas la siembra, que es una labor trascendental debido a que los posibles errores cometidos en ella, se trasladan a la cosecha, afectando directamente el potencial de rendimiento del cultivo (Nielsen 1997).

La siembra persigue la obtención de una población homogénea a través de implementos que dosifiquen, conduzcan y distribuyan la semilla en el terreno. Considerando esto, la elección de los equipos de siembra junto a los diferentes componentes que la integran son elementos básicos para obtener la máxima expresión del potencial de rendimiento. La correcta dosificación en términos de densidad y distribución uniforme de la semilla en la línea de siembra, permite la optimización del espacio disponible para cada planta, minimizando la competencia intraespecífica por recursos (luz, agua y nutrientes) (Grienpetrog 1998).

(Breece et al. 1992) establecieron que existen factores que afectan la densidad y/o uniformidad en el espaciamiento entre semillas, siendo estos: velocidad de la sembradora, presión de inflado de los neumáticos, condiciones del mecanismo dosificador y tamaño del alveolo de la placa de semilla, teniendo la velocidad de la siembra como uno de los factores controlables que incide significativamente sobre la población y distribución de plantas logradas (Gargicevich y Maroni 1997).

A raíz de la necesidad de facilitar las actividades agrícolas para los productores, la empresa John Deere creó una variedad de tecnologías que facilitan y optimizan el trabajo de campo de las cuales destaca el monitor de siembra SeedStar® que tiene como objetivo mejorar la logística de una explotación agrícola, tomar decisiones agronómicas y aprovechar al máximo la maquinaria. SeedStar® ayuda a conocer a fondo el estado y funcionamiento de la sembradora en campo, aparte de entregar datos precisos de la cantidad de semillas sembradas por metro lineal, hectárea y lote (John Deere 2012). El monitor SeedStar® es una herramienta cuyo propósito es facilitar el conteo de semillas en un área específica, este destaca funciones como son la proporción y espaciado por hilera, fallo de la hilera, nivel de vacío, superficie total y velocidad del tractor convirtiéndola en una herramienta útil en campo, ya que además cuenta con una aplicación para monitorear la labor en vivo (John Deere 2014).

Los objetivos de este proyecto se enmarcaron en evaluar el efecto de diferentes velocidades de avance en la densidad promedio de siembra (ss/ha), productividad del tractor (ha/h), consumo (L/h) y rendimiento de combustible (L/ha) del tractor.

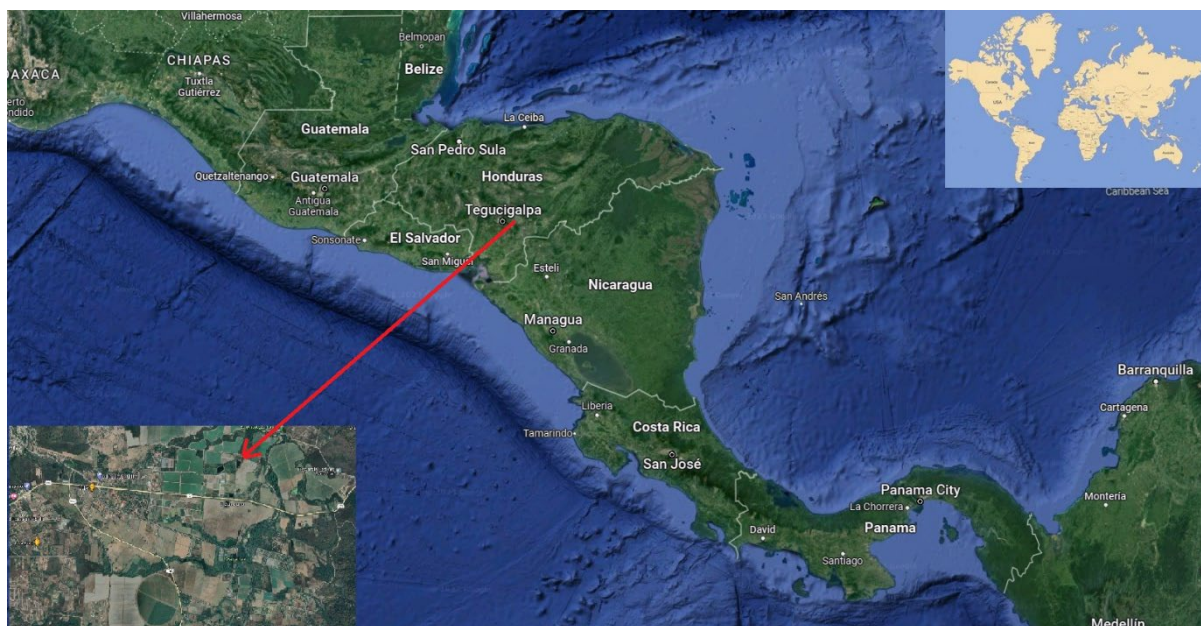
Materiales y Métodos

Sitio de Estudio y Condiciones Geo-Climáticas

Este estudio se llevó a cabo en los lotes de producción agropecuaria de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano; en el valle del río de Yeguaré, a 30 Km de Tegucigalpa, carretera a Danlí, Municipio de San Antonio de Oriente, Departamento de Francisco Morazán, Honduras. Con una temperatura promedio de 24 °C, a una altura de 800 msnm y 1100 mm de precipitación anual promedio. El monitor de siembra SeedStar® se utilizó en las finca Zona 1, Zona 2, Zona 3, San Nicolas, Pivote, EAP Zamorano (Figura 1).

Figura 1

Ubicación de la finca Zona 1, Zona 2, Zona 3, San Nicolas y Pivote en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras.



Maquinaria

Se utilizó un tractor agrícola John Deere® modelo 6125M con motor de 125 hp y cabina panorámica de 360 grados (Figura 2), sembradora John Deere® MAXPLANTER Plus 1030 de 4 hileras de siembra, pantalla GreenStar 3, monitor de siembra SeedStar.

Figura 2

Tractor 6125M-01 acoplado a la sembradora MaxPlanter Plus 1030.



Preparación del Monitor de Siembra SeedStar®

Para iniciar con el proceso de siembra fue necesario añadir los insumos con la información proporcionada por el cliente de los lotes. Los lotes que fueron trabajados pertenecen a la unidad de Granos y Semillas. En cuanto a la semilla utilizada para la elaboración de este experimento fue de maíz de la variedad Tuxpeño.

La interfaz de GreenStar® ofrece varias opciones al usuario, para la documentación de la tarea a realizar se debe dar click en Setup y posteriormente activar la documentación (Figura 2), que automáticamente incluye recursos, máquina e implemento. Luego de activar la documentación, se procederá a ingresar los datos requeridos por el sistema, tales como cliente, tractor e implemento (Figura 3). Para la documentación de la siembra, se ingresa el nombre del cliente, la granja y el lote a

trabajar, del mismo modo se especifica el tipo de labor a realizar (en este caso siembra), la campaña y la información referente al operador del tractor (nombre y número de licencia) (Figura 4). Posteriormente, se procede a llenar las especificaciones de la maquinaria, tipo de maquinaria (tractor), modelo de la maquinaria (6125M), el nombre de esta (6125M-01) y el radio de giro (Figura 5). Seguidamente, se indican las especificaciones del implemento, tipo (sembradora), modelo (MaxPlanter Plus 1030), nombre y ancho (Figura 6). Finalmente, se insertan los datos correspondientes a la labor (siembra) y variedad de semilla (tuxpeño) (Figura 7).

Figura 3

Primer paso para la documentación de la siembra, selección de recursos, maquinaria e implemento en el monitor de siembra GreenStar 3.

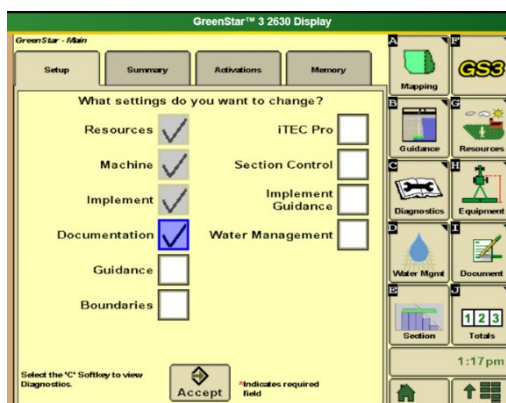
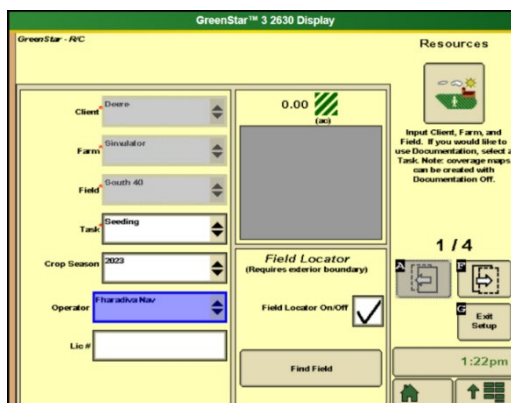


Figura 4

Segundo paso para la documentación de la siembra, ingreso de datos del cliente como nombre, finca,



lote a trabajar, labor, campaña y operador que ejecutará la tarea en el monitor de siembra GreenStar 3.

Figura 5

Tercer paso para la documentación de la siembra, ingreso de datos de la maquinaria como tipo, modelo, nombre y tipo de conexión en el monitor de siembra GreenStar 3.

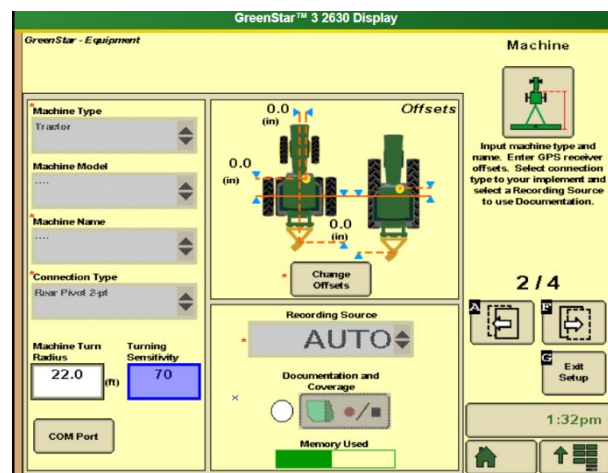


Figura 6

Cuarto paso para la documentación de la siembra, ingreso de datos del implemento como tipo, modelo, nombre y ancho de trabajo en el monitor de siembra GreenStar 3.

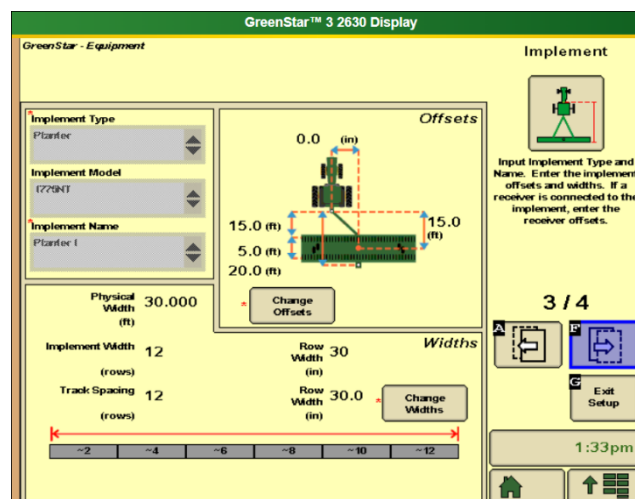
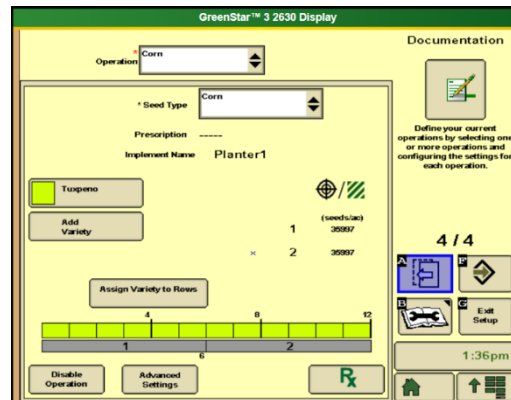


Figura 7

Quinto paso para la documentación de la siembra, ingreso de la variedad de semilla en el monitor de siembra GreenStar 3.



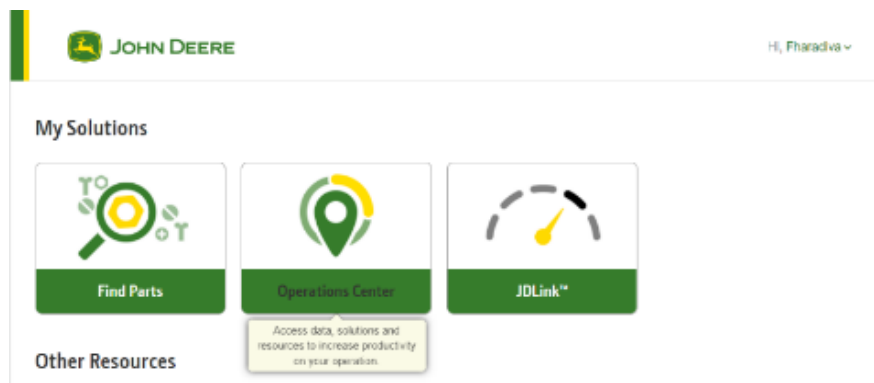
Una vez la configuración es completada de forma correcta el sistema está listo para funcionar. Si todos los datos requeridos por el sistema no fueron completados correctamente, el sistema podría no funcionar de manera adecuada y la recolección de datos se verá afectada.

Acceso y Exportación al Informe de Siembra

Una vez la tarea fue realizada, en este caso la siembra, nos dirigimos a la página web <https://myjohndeere.deere.com> para ingresar al centro de operaciones y acceder a los datos colectados durante la actividad (Figura 8).

Figura 8

Dashboard del sitio web MyJohnDeere®, para acceder al centro de operaciones y visualizar el desempeño de la labor.



Luego de acceder al centro de operaciones (Figura 8), se visualizan todos los lotes de la granja y se pueden diferenciar por colores de acuerdo con el trabajo realizado en ellos, siendo el color verde el correspondiente a la actividad de siembra (Figura 9). Seguidamente, se selecciona el lote de interés y se da clic a “field analyzer” para acceder a los datos provistos por la plataforma (Figura 10).

Figura 9

Interfaz del centro de operaciones, donde se observan los lotes trabajados y la labor que se realizó en ellos.

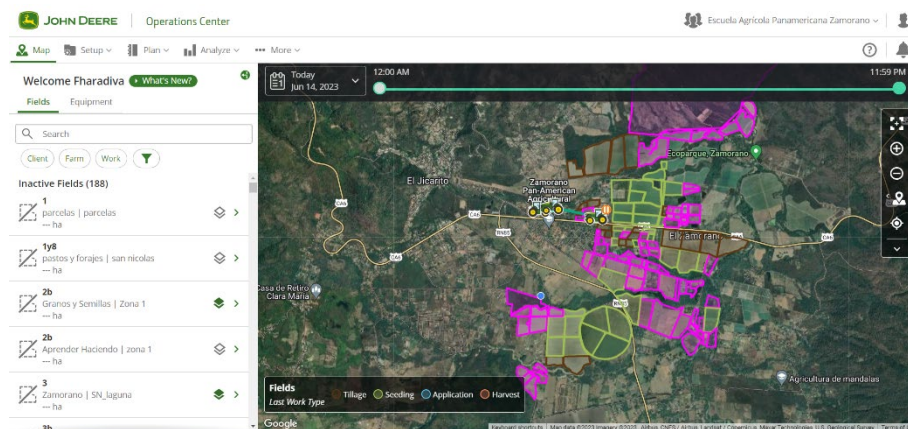
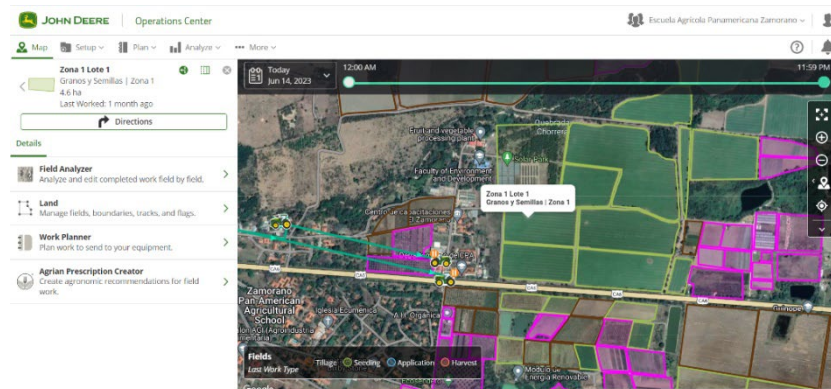


Figura 10

Selección del lote de interés, para analizar el desempeño de la labor realizada.



Una vez se accede al análisis del lote, se observan los datos correspondientes al lote seleccionado, siendo estos, nombre del lote, hora y fecha del inicio y finalización del trabajo en el lote. De igual forma, se puede observar detalles de la actividad, como el área trabajada, promedio aplicado de semillas (ss/ha), total aplicado, productividad, tiempo de trabajo, consumo de combustible (L/h), rendimiento de combustible (L/ha) y total de combustible consumido (Figura 11). Finalmente, se hace clic en exportar y en la ventana emergente se selecciona a la opción descargar para obtener el informe generado por el programa (Figura 12). En la Figura 13, se observa el informe final del trabajo realizado para el lote seleccionado y un mapa de la densidad, diferenciado por colores de acuerdo con el promedio aplicado por tramo.

Figura 11

Acceso al mapa y los datos generados en la plataforma dando click a la opción "Field Analyzer".

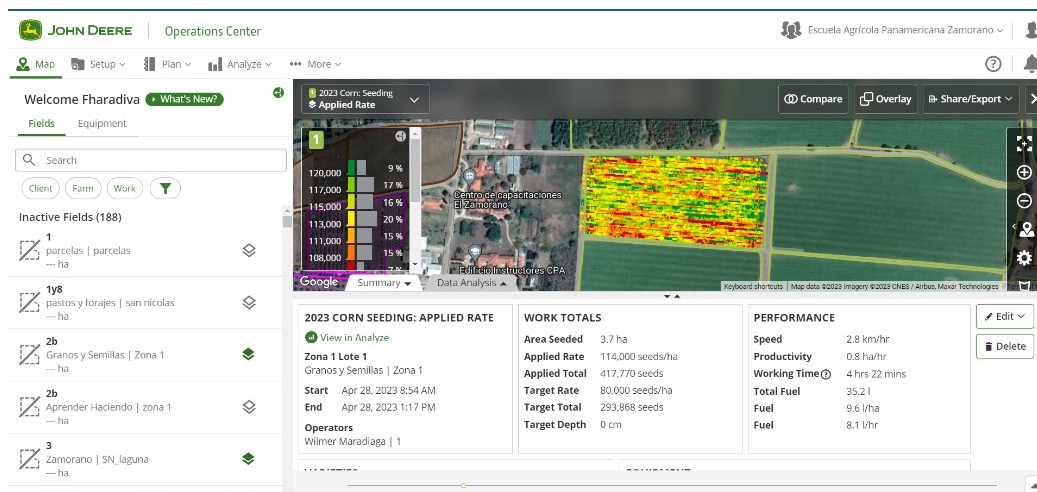


Figura 12

Exportación del reporte correspondiente al lote seleccionado y previsualización del mapa del lote.

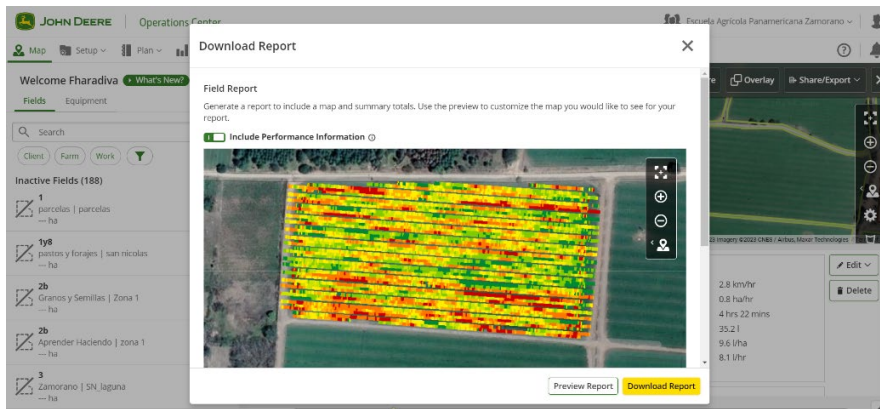


Figura 13

Informe final del lote seleccionado con mapa coloreado de acuerdo a la densidad de siembra.



Preparación del Equipo

Previo al inicio de la siembra, se debe garantizar el correcto funcionamiento del tractor y calibrar el implemento de acuerdo a las necesidades del productor. Con respecto al tractor, primero se realiza una inspección visual general para verificar si hay daños, fugas o anomalías que puedan

afectar su funcionamiento. Después, se revisa que los niveles de fluidos sean adecuados, tomando en cuenta el combustible, aceite de motor, refrigerante y líquido hidráulico. Posteriormente, se verifica que los filtros de aire estén limpios y en buen estado. Finalmente, se realiza una revisión del estado de los neumáticos, asegurando que no hayan grietas, desgaste excesivo o elementos incrustados y que la presión sea la adecuada.

Una vez ha sido comprobado que el tractor se encuentra en óptimas condiciones para realizar el trabajo, se procede a acoplar el implemento y calibrarlo. Para la calibración de la sembradora MaxPlanter Plus 1030, se ajustó los engranajes para dosificar 8 semillas/metro, los abresurcos a 1.5 pulgadas de profundidad y el sistema de dosificador por presión a 10 psi.

Monitor

Antes de iniciar la siembra en los lotes se procedió a revisar el estado de los sensores de siembra con el fin de obtener un monitoreo eficiente de la dosificación. El monitor de siembra trabaja junto con sensores conectados al dosificador, los cuales cuentan la caída de las semillas provenientes de la tolva ofreciendo un promedio de cuantas semillas/ha serán sembradas, dependiendo de la uniformidad de la semilla y la velocidad del tractor a trabajar.

Diseño Experimental

Para este estudio se realizó la siembra de los lotes de producción de la unidad de granos y semillas, los cuales fueron divididos en bloques completos al azar (BCA). Una vez colectados los datos se hizo una comparación haciendo uso de pruebas Duncan con un nivel de significancia de 0.05 entre los lotes sembrados a distintas velocidades con el objetivo de encontrar diferencias en la densidad promedio (semillas/ha), productividad (ha/h), consumo de combustible (l/h) y rendimiento de combustible (l/ha).

Los bloques fueron clasificados de acuerdo con su extensión en área pequeña, mediana y grande, siendo el área pequeña de 3.7-4.4 ha (B3), la mediana de 4.7-7 ha (B2) y grande de 9.3-10.1 ha (B1). Para cada bloque se evaluaron tres tratamientos, siendo tratamiento 6 km/h, tratamiento 8

km/h y tratamiento 9 km/h, para cada tratamiento se realizaron tres repeticiones (una en cada bloque) (Cuadro 1).

Cuadro 1

Descripción del diseño estadístico Bloques Completos al Azar para las diferentes velocidades de siembra del cultivo de maíz.

Bloque 3 A. pequeña (3.7 – 4.4 ha)	Bloque 2 A. mediana (4.7 – 7 ha)	Bloque 1 A. grande (9.3 – 10.1 ha)
6 km/h	6 km/h	6 km/h
8 km/h	8 km/h	8 km/h
9 km/h	9 km/h	9 km/h

Resultados y Discusión

Densidad de Siembra

El análisis de varianza indicó que, para la variable de densidad promedio hubo diferencia significativa entre los tres tratamientos evaluados. A medida que aumenta la velocidad de 6 km/h a 9 km/h, la dosificación de semillas fue disminuyendo. El mayor valor de densidad promedio (ss/ha) se observó en el tratamiento 6 km/h y fue de 106,133.3 ss/ha, mientras que en el tratamiento 9 km/h fue de 93,500.0 ss/ha. El dosificador de la sembradora se calibró para depositar 97,500.00 ss/ha, se considera que el tratamiento 9 km/h fue el que arrojó la cantidad de semillas más adecuadas, con una deposición promedio 102,000.00 ss/ha, ya que se prefiere una cantidad mayor de semillas que una menor, ya que esto aumenta la probabilidad que algunas semillas germinen y se conviertan en plantas, lo que puede ser útil en condiciones difíciles de crecimiento o en terrenos no muy fértiles, donde la semillas germinarán y en caso de obtener más plantas de las requeridas, se puede corregir con un raleo de las plantas adicionales, para evitar la competencia entre plantas por recursos.

(Balboa GR. et al. 2008) determinaron la existencia de una relación lineal entre la densidad de semillas sembradas con el desvío estándar de la distancia entre semilla, significando que la densidad disminuye a medida que la velocidad aumenta. Es decir, al aumentar la velocidad, se sembraron menos semillas por hectárea. Este efecto es atribuible al patinaje de la rueda motriz de la sembradora que transmite el giro a los dosificadores, factor que a su vez mantiene una relación inversa con la densidad de siembra (Colombino et al. 1988; Doldán y Ferrari 2017). Esto se debe a que la rueda motriz de la sembradora pierde tracción con el suelo, lo que afecta su capacidad de avance, disminuyendo su capacidad de mantener una velocidad constante y controlar adecuadamente la dosificación de semillas, por lo que la colocación de semillas no es uniforme debido a la inercia como respuesta a la falta de tracción, resultando en una mayor variabilidad de densidad en el campo.

Del mismo modo, en un estudio realizado por (Mayans et al. 2008) , demostró que al aumentar la velocidad de avance la dosis de siembra disminuye, esto debido a que se incrementan los fallos del

implemento (orificios del disco sin semillas). El aumento de fallos del implemento responden al aumento de velocidad, ya que aumentan las vibraciones del implemento al momento de siembra, dificultando mantener el ritmo de trabajo estable, es decir las vibraciones afectan el correcto posicionamiento de la semilla en el alveolo del disco de siembra, aumentando la cantidad de semillas no colocadas en el disco y consecuentemente no depositadas al suelo, lo cual significa una incorrecta distribución de semillas en el campo, lo que podría afectar el rendimiento de cosecha del cultivo, ya que una menor cantidad de semillas significa una menor cantidad de plantas para cosecha. Lo que se observa en el Cuadro 2 donde la velocidad de 6 Km/h sobresale con la mayor densidad promedio aplicada, al contrario de la velocidad de 9 km/h que muestra un número significativamente menor de semillas sembradas.

Cuadro 2

Efecto de la velocidad de avance del tractor en la densidad promedio de siembra (ss/ha).

Tratamiento	Densidad promedio (ss/ha)
6 km/h	106,133.33a
8 km/h	102,700.00b
9 km/h	93,500.00c
CV	1.17
R ²	0.99

Nota. Separación de medias por Duncan. Medias con letra común no indican diferencia significativa para valor P <0.05.

Productividad

La productividad (capacidad de trabajo) de la maquinaria agrícola se refiere la cantidad de trabajo realizado en una unidad de tiempo determinada cumpliendo con los requisitos establecidos de calidad (uniformidad y profundidad). La capacidad de trabajo de la maquinaria agrícola es un factor crucial en la eficiencia y productividad de las labores agrícolas (Palomino 2016). En el Cuadro 3 se aprecia el comportamiento de los valores medios de la productividad en función de las velocidades evaluadas, a pesar de no encontrarse diferencias significativas entre los tratamientos, se considera que los tres tratamientos se encuentran dentro de los rangos teóricos aceptables para esta labor.

Según (Reyna-Pompa et al. 2018), la siembra mecanizada de maíz puede considerarse eficiente si la productividad por hora de tiempo de explotación oscila entre 1.2 a 4.5 ha/h, y este valor se puede optimizar con un mayor ancho de trabajo (Vásquez [updated 2013]). En el contexto de siembra mecanizada, se busca aumentar la capacidad de trabajo para lograr la siembra en el menor tiempo posible, ya que en algunos sectores las ventanas de siembra son muy cortas, sin embargo, para optimizar la capacidad de trabajo de la maquinaria agrícola, se hace necesario encontrar un equilibrio entre la velocidad de avance y calidad de la siembra, es por ello que lo que las casas comerciales recomiendan es no sobrepasar los límites recomendados para garantizar un buen trabajo.

Del mismo modo, (Del Castagner et al. 2019) establece que existe una relación directa entre la velocidad de avance y la capacidad de trabajo, es decir, a mayor velocidad, mayor es la cantidad de área que se puede cubrir en un tiempo determinado. Si bien se menciona que a pesar de que una disminución de la velocidad de avance se reduce la capacidad de trabajo, una velocidad baja puede ser justificada debido a su efecto en la deposición de semilla. Además, (Bowers 1992) comprobó que a velocidades bajas y constantes se puede lograr una distribución más uniforme y una mayor densidad de siembra, lo cual resulta en un mejor rendimiento en la cosecha. Es por ello por lo que se considera ampliar el ancho de trabajo, para aumentar la capacidad de trabajo, ya que un mayor ancho permite cubrir una mayor superficie en cada pasada. El ancho de trabajo, después de la velocidad, permite la optimización de recursos, reduciendo costos operativos y mejorando la rentabilidad en las labores de campo.

Igualmente, un factor que se debe considerar es el tamaño del lote, a cómo (Marín et al. 2021) señala, la productividad o capacidad de trabajo se verá directamente afectada respecto al tamaño del lote, viéndose que en un lote de tamaño pequeño la productividad puede verse afectada negativamente, al contrario de el caso en un lote de tamaño grande donde la productividad aumenta. Esto se debe a que, en un lote pequeño, la maquinaria deberá realizar más pasadas y giros frecuentes,

lo que implica un aumento del tiempo empleado para completar la siembra y, por ende, reduce la eficiencia de la operación.

Cuadro 3

Efecto de la velocidad de avance del tractor en la productividad del trabajo (ha/h).

Tratamiento	Productividad (ha/h)
6 km/h	1.23a
8 km/h	1.37a
9 km/h	1.57a
CV	0.1
R ²	0.81

Nota. Separación de medias por Duncan. Medias con letra común no indican diferencia significativa para valor P <0.05.

Consumo y Rendimiento de Combustible

En los estudios referentes a procesos productivos, el consumo de combustible (L/h) es un indicador muy importante ya que a partir de éste se puede realizar la planificación para la siguiente campaña (Vásquez [updated 2013]). Del mismo modo, el rendimiento de combustible (L/ha) representa un elemento de máxima importancia para la producción de todas operaciones agrícolas, esto se define como el consumo unitario de combustible requerido por cada unidad de trabajo (Gil 1994). Es por ello, que ambos factores son considerados como indicadores del rendimiento del motor (Navas et al. 2011), debido a que estos indican al operador el desempeño del tractor para la realización de la labor por su relación con la eficiencia energética y la optimización de insumos. El combustible que se consume al realizar una determinada labor de cultivo depende de una serie de variables entre las que se pueden destacar el tipo de suelo y su estado, apero utilizado y profundidad a la que trabaja (Ponce 2001; Lal et al. 2004). Esto es debido a que el suelo debe estar en estado óptimo para la entrada del tractor al campo, porque si se encuentra muy húmedo o saturado, aumenta el patinaje del tractor y del mismo modo afecta la labor a realizar por el implemento ya sea labranza, siembra o cosecha. Igualmente, el consumo de combustible se verá afectado según su velocidad de avance y la carga que debe vencer. Actuando sobre el acelerador y la caja de cambios se puede obtener un buen

aprovechamiento de la potencia y la óptima transformación de combustible en trabajo. Se recomienda, que en la realización de labores, el tractor desarrolle la potencia necesaria utilizando el régimen del motor y la marcha más adecuados, intentando conseguir el mínimo de consumo de combustible (INDAE 2005). En general, se puede afirmar que cuanto mayor es la profundidad y la velocidad de trabajo, mayor es el consumo de combustible (Ortiz y Ortiz Rodríguez 2012). En el cuadro 4, no se encuentran diferencias significativas en el consumo de combustible para los tres tratamientos evaluados, ya que es posible que exista una eficiencia óptima que minimice el consumo horario de combustible (Ramírez y Shkiliova 2019), esto indica que específicamente para el rango de velocidades evaluados no se vieron afectados sustancialmente, sin embargo esto puede variar en caso de tomar un mayor espectro de velocidades en otro estudio.

(Navas et al. 2011) indican que a medida la velocidad de avance aumenta, el motor del tractor debe trabajar más para superar la resistencia del terreno y mantener el movimiento a una velocidad constante, del mismo modo la resistencia aerodinámica también aumenta, lo que resulta a un mayor requerimiento de energía y combustible por unidad de trabajo (Vásquez [updated 2013]), esto porque a medida que la velocidad de avance aumenta, la resistencia del terreno se vuelve más significativa, ya que el tractor debe superar la fricción con el suelo, sortear irregularidades que pueda encontrar en su camino, lo que requiere más potencia del tractor para mantener la velocidad y avanzar con eficiencia. En el cuadro 4, se puede observar que el tratamiento 6 km/h fue el mejor en ambos parámetros (consumo y rendimiento de combustible), indicando el menor consumo de combustible por hora y por hectárea, lo que permite reducir costos operativos y aumentar la rentabilidad de la labor, ya que se puede observar un aumento de 16% y 24% de consumo de combustible para los tratamientos 8 km/h y 9 km/h respectivamente.

Cuadro 4

Efecto de la velocidad de avance del tractor en el consumo (L/h) y rendimiento (L/ha) de combustible del tractor.

Tratamiento	Consumo de combustible (L/h)	Rendimiento de combustible (L/ha)
6 km/h	6.87a	8.6a
8 km/h	7.33a	10.00ab
9 km/h	7.33a	10.77b
CV	0.66	0.42
R ²	0.81	0.79

Nota. Separación de medias por Duncan. Medias con letra común no indican diferencia significativa para valor P <0.05.

Conclusiones

La productividad (ha/h) del tractor no fue afectada por la velocidad de avance del tractor, al contrario de la densidad de siembra, considerándose el tratamiento 8 km/h más efectivo al depositar 102,700.00 ss/ha.

El consumo horario de combustible (L/h) no se vio afectado a diferentes velocidades de avance, sin embargo, el rendimiento de combustible (L/ha) si mostró afectaciones, ya que a medida que esta aumenta el rendimiento se reduce, destacando el tratamiento 6 km/h con el menor consumo (8.6 L/ha) y el tratamiento 9 km/h con el mayor consumo (10.77 L/ha), siendo un 24% superior.

Recomendaciones

Realizar un estudio que evalué el efecto de la velocidad en diferentes actividades agrícolas.

Evaluar el efecto de la velocidad en diferentes sistemas dosificadores de semilla.

Hacer uso de distintos anchos de trabajo para determinar su efecto en la productividad de la labor de siembra en campo.

Evaluar un rango de velocidad de avance más amplio con el objetivo de determinar su impacto en la productividad de la labor de siembra.

Referencias

- Balboa GR, Espósito G.P., Castillo CA, Balboa RG. 2008. Uniformidad espacial de plantación de maíz (*Zea mays* L.). Argentina: [sin editorial]. https://www.produccionvegetalunrc.org/images/fotos/699_balboa_gr.pdf.
- Bowers W. 1992. Machinery Management: How to select machinery to fit the reseed needs of farmers managers. U.S.A: Deere Publishing. ISBN: 9780444597816; [consultado el 15 de ago. de 2023].
- Bragachini M, Martini A., Bianchini A, Mendez A. 2002. Eslabonamiento productivo del sector maquinaria agrícola. Bragachini, Mario. Argentina: [sin editorial] (Mercado de sembradoras).
- Breece HE, Hansen HV, Hoemer TA. 1992. Fundamentals of machine operation: Planting Deere & Co. 215. Illinois. <https://ageconsearch.umn.edu/record/267294/>.
- Colombino AA, Pollancino J, Sosa RO. 1988. Máquinas para la implantación de cultivos [Tesis de Pregrado]. Instituto Superior de Enseñanza, Estudios y Extensión Agropecuaria. <https://sra.campusinstituto.com.ar/mod/book/view.php?id=20403&forceview=1>.
- D'Amico J, Tesouro O. 2007. Dosificadores neumáticos por succión: Pautas de uso y regulación para la siembra de precisión; [consultado el 15 de ago. de 2023]. 24. Argentina. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57311513011.pdf>.
- Del Castagner R, Bonacci A, Cuenca F, Cáceres M, Garetto E. 2019. Calidad de siembra en el cultivo de maíz (*zea mays* L.) según velocidad de siembra. FAV-UNCR. https://www.researchgate.net/profile/Edgar-Garetto/publication/335210417_Calidad_de_siembra_en_el_cultivo_de_maiz_zea_mays_L_segun_velocidad_de_siembra_y_organo_afirmador_de_semillas_Planting_quality_in_the_corn_crop_zea_mays_L_according_to_planting_speed_and_seed_affirmin/links/5d570732a6fdccb7dc426dfd/Calidad-de-siembra-en-el-cultivo-de-maiz-zea-mays-L-segun-velocidad-de-siembra-y-organo-afirmador-de-semillas-Planting-quality-in-the-corn-crop-zea-mays-L-according-to-planting-speed-and-seed-affirm.pdf.
- Doldán D, Ferrari F. 2017. Efecto de falta de uniformidad de siembra sobre el rendimiento de granos [Tesis de Pregrado]. Uruguay: Universidad de la República; [consultado el 15 de ago. de 2023]. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/29022/1/InvernizziNaviliatFrancoLeonardo.pdf>.
- FAOSTAT. 2018. Crop statistics - Cereals. Roma, Italia: FAO. <http://www.fao.org/faostat/es/>.
- Gargicevich A, Maroni J. 1997. La máquina sembradora y la densidad poblacional del maíz. [sin lugar]: [sin editorial]. Publicación MAIZ. https://www.researchgate.net/publication/360667222_Tecnologias_disponibles_para_incrementar_la_produccion_de_maiz_en_Peru.
- Gil E, editor. 1994. Maquinaria Agrícola: Consumo energético de la maquinaria. España: Escola Superior D'Agricultura de Barcelona; [consultado el 25 de ago. de 2023]. <https://www.redalyc.org/pdf/5862/586261425004.pdf>.
- Grienpetrog HW. 1998. Siembra de cereales. Oslo: EurAgEng (A-059).
- [INDAE] Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. 2005. Ahorro de combustible en el tractor agrícola. España: Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía; [consultado el 15 de ago. de 2023]. <https://www.idae.es/publicaciones/ahorro-de-combustible-en-el-tractor-agricola>.

- John Deere. 2012. SeedStar Quick Reference Guide. [sin lugar]: [sin editorial]. <https://www.deere.com/assets/pdfs/common/qrg/planting-seedstar-2-xp.pdf>.
- John Deere. 2014. Equipo de Siembra. [sin lugar]: [sin editorial]. <https://www.deere.com.mx/es/plantaci%C3%B3n-y-siembra/sembradoras-de-tiro/sembradora-de-tiro-1755/>.
- Lal R, Eckert DJ, Fausey NR, Edwards WM. 2004. Carbon emission from farm operations. SCIENCE DIRECT. 30:981–990. www.elsevier.com.
- Marín F, Campuzano F, Cañas H, Mula J. 2021. Modelo de dinámica de sistemas para la obtención de tiempos de flujo y tamaños de lote óptimos utilizando la estrategia Quick Response Manufacturing (QRM). [sin lugar]: [sin editorial]. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=00127361&an=147916958&h=nn9j0ivukatqzq8c9qk1iczcrradb0amyhe37zuempatpi3d1rewcktqaehohd275qra%2bbrquvome8fkynsp%2fw%3d%3d&crl=c>.
- Mayans P, Soca J, Lopez G, Romantchik E. 2008. Prueba de dosificación de la sembradora V-20 con semilla de maranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.). Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias; [consultado el 15 de ago. de 2023]. 18(2):16–21. <https://www.redalyc.org/pdf/932/93215937004.pdf>.
- Navas LM, González F, Gómez G, Ruiz G, Barreiro P, Andújar D, Diezma B, Báguena E, Garrido M. 2011. Ahorro y eficiencia energética en la agricultura de precisión. España: IDAE. 106 p. (Ahorro y eficiencia energética en la agricultura; vol. 16). ISBN: 978-84-96680-51-7.
- Nielsen RL. 1997. Stand establishment variability in corn. [sin lugar]: [sin editorial]. http://www.agry.purdue.edu/ext/AGRY-91-01_v5.pdf.
- Ortiz A, Ortiz Rodríguez AE. 2012. Fundamentación del conjunto tractor-aperos para la labor de surcado y su influencia en el consumo energético en cultivos de raíces y tubérculos [Tesis Doctoral]. España: Universidad Politécnica de Madrid; [consultado el 15 de ago. de 2023].
- Palomino M. 2016. Demanda de maquinaria agrícola en la preparación para alfalfa y maíz en secano, a partir de la candelarización de actividades agrícolas, Quinpara, Huanta, Ayacucho. [Tesis de maestría]. Perú: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga; [consultado el 15 de ago. de 2023]. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3172>.
- Ponce F. 2001. Curso Internacional de tracción animal. Colombia: [sin editorial]. <http://www.recta.org/pdf/Redesdetraccionanimal.pdf>.
- Ramírez E, Shkiliova L. 2019. Evaluación tecnológica-explotativa del conjunto transplantedora Checchi Magli Unitrium - tractor Deutz Fahr Agrofarm 420-T. Revista de las Agrociencias. <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/latecnica/article/download/1707/2327>.
- Reyna-Pompa E, Gaskins-Espinosa G, Quiroga-Mendoza N. 2018. Evaluación tecnológica explotativa del tractor New Holland TT 4030 en el cultivo de maíz. REDEL. Revista Granmense de Desarrollo Local. 2. <https://revistas.udg.co.cu/index.php/redel/article/download/135/199/>.
- Valle S. 2022. Robótica agrícola y equipos de automatizados para la producción agrícola sostenible. [sin lugar]: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; [consultado el 15 de ago. de 2023]. <https://www.fao.org/3/cb2186es/cb2186es.pdf>.
- Vásquez H. [actualizado 2013]. Estudio energético y de explotación de diferentes conjuntos de labranza para el cultivo del maíz (*Zea mays* L.). España: [sin editorial]; [consultado el 15 de ago. de

2023]. [https://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:TCZnbdNdT5EJ:scholar.google.com/+Estudio+energ%C3%A9tico+y+de+explotaci%C3%B3n+de+diferentes+conjuntos+de+labranza+para+el+cultivo+del+ma%C3%ADz+\(Zea+mays+L.\)&hl=en&as_sdt=0,5](https://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:TCZnbdNdT5EJ:scholar.google.com/+Estudio+energ%C3%A9tico+y+de+explotaci%C3%B3n+de+diferentes+conjuntos+de+labranza+para+el+cultivo+del+ma%C3%ADz+(Zea+mays+L.)&hl=en&as_sdt=0,5).