

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



Proyecto Especial de Graduación
**Evaluación comparativa de las señales SF1 y SF2 del
sistema AutoTrac™ de John Deere® en lotes de tamaño reducido**

Estudiante

Mervin Nicolás González Reyes

Asesores

José Adrián Ordoñez, Mtr.

Allan Martínez, Ing. Agr.

Alina Castillo, Ing.Agr.

Honduras, agosto 2021

Autoridades

TANYA MÜLLER GARCÍA

Rectora

ANA MARGARITA MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

ROGEL CASTILLO

Director Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros.....	5
Índice de Figuras	6
Resumen	7
Abstract.....	8
Introducción.....	9
Materiales y Métodos	13
Descripción del Estudio.....	13
Terreno.....	13
Operarios	14
Equipo utilizado	14
Programación del sistema.....	15
Descripción de los tratamientos	16
Diseño experimental y análisis estadístico	16
Variables evaluadas	17
Tiempo total.....	17
Área total	18
Capacidad teórica de campo.....	18
Capacidad efectiva de campo	19
Eficiencia de trabajo.....	19
Resultados y Discusión.....	20

Eficiencia de trabajo.....	20
Rastra pesada y rastra liviana	20
Sembradora.....	23
Conclusiones	25
Recomendaciones.....	26
Referencias.....	27

Índice de Cuadros

Cuadro 1 <i>Descripción de implementos utilizados para el estudio de evaluación de la eficiencia de las señales SF1 y SF2 del sistema AutoTrac™</i>	15
Cuadro 2 <i>Precisión y requerimientos de señales de los sistemas AMS AutoTrac™</i>	16
Cuadro 3 <i>Evaluación de capacidad teórica de campo, capacidad efectiva de campo y eficiencia de trabajo de los tres tratamientos con rastra pesada para el estudio de evaluación de la eficiencia de las señales SF1 y SF2 del sistema AutoTrac™</i>	20
Cuadro 4 <i>Evaluación de capacidad teórica de campo, capacidad efectiva de campo y eficiencia de trabajo de los tres tratamientos con rastra liviana para el estudio de evaluación de la eficiencia de las señales SF1 y SF2 del sistema AutoTrac™</i>	21
Cuadro 5 <i>Evaluación de capacidad teórica de campo, capacidad efectiva de campo y eficiencia de trabajo de los tres tratamientos con sembradora para el estudio de evaluación de la eficiencia de las señales SF1 y SF2 del sistema AutoTrac™</i>	23

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Ubicación de unidades experimentales en finca El Espinal para la evaluación de eficiencia de trabajo de las señales SF1 y SF2 del sistema AutoTrac™</i>	13
Figura 2 <i>Tractor y elementos del sistema de precisión AMS AutoTrac™</i>	14
Figura 3 <i>Implementos utilizados para el estudio de evaluación de la eficiencia de las señales SF1 y SF2 del sistema AutoTrac™</i>	15
Figura 4 <i>Distribución de los tratamientos en las unidades experimentales en finca El Espinal para la evaluación de eficiencia de trabajo de las señales SF1 y SF2 del sistema AutoTrac™</i>	17

Resumen

Las empresas que fabrican maquinaria agrícola están desarrollando sistemas tecnológicos con base en la agricultura de precisión, buscando mejorar la eficiencia de trabajo y el rendimiento en la producción agrícola. El objetivo de este estudio fue realizar una evaluación comparativa en eficiencia de trabajo, utilizando dos señales satelitales SF1 y SF2 de los sistemas AutoTrac™ de John Deere®, a su vez comparadas con un testigo. Para la evaluación se utilizaron tres implementos agrícolas diferentes: rastra pesada, rastra liviana y sembradora. Se realizó un diseño experimental de bloques completamente al azar, se procesaron los datos con un análisis de varianza y el método de separación medias de Duncan ($P < 0.05$). Se realizaron labores usando los tres implementos y se tomó el tiempo que demoró cada tratamiento al realizar las labores en cada unidad experimental. De igual forma, a partir del ancho y velocidad de trabajo se determinó el tiempo teórico, para luego calcular eficiencia de trabajo. En los trabajos con rastras se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en todos los tratamientos, siendo el testigo el que logró mayor eficiencia, seguido de la señal SF1 y finalmente SF2. Para el trabajo con la sembradora se encontró diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en los tres tratamientos, siendo la señal SF1 con la mejor eficiencia, seguida por SF2. La utilización de los sistemas AMS AutoTrac™ en rastra pesada y rastra liviana fue menos eficiente que el testigo y la señal SF1 fue más eficiente que la señal SF2 en los tres implementos.

Palabras clave: Agricultura de precisión, autoguiado, eficiencia de trabajo, maquinaria agrícola, señal satelital.

Abstract

Companies that manufacture agricultural machinery are developing technological systems based on precision agriculture, seeking to improve work efficiency and yield during agricultural crop production. The objective of this study was to perform a comparative evaluation of work efficiency, using two of the three satellite signals SF1 and SF2 of the John Deere® AutoTrac™ systems, and comparing them with a control. Three different agricultural implements were used for the evaluation: heavy harrow, light harrow and seed drill. A completely randomized block experimental design was used, and the data were processed with an analysis of variance and Duncan's mean separation method ($P < 0.05$). Tillage was carried out using the three implements and the time taken by each treatment to perform the tillage in each experimental unit. Similarly, from the width and speed of work, the theoretical time was determined in order to calculate work efficiency. Significant differences ($P \leq 0.05$) were found in the work with harrows in all treatments, being the control the one that achieved the highest efficiency, followed by the signal SF1 and finally SF2. For the work with the seed drill, significant differences ($P \leq 0.05$) were found in the three treatments, with the SF1 signal having the best efficiency, followed by SF2, and finally the control obtaining the lowest efficiency. It was concluded that the use of the AMS AutoTrac™ systems in heavy harrow and light harrow was less efficient than the control and that the SF1 signal treatment was more efficient than the SF2 signal treatment in the three implements.

Keywords: Agricultural machinery, auto guidance, work efficiency, precision agriculture, satellite signal.

Introducción

El mundo cuenta con un gran avance tecnológico en todas las áreas que satisfacen nuestras necesidades y la agricultura no se queda atrás. La tecnología ha proporcionado progresos en los diferentes equipos agrícolas, que van desde un tractor que puede conducirse de manera automática, hasta sembradoras cada vez más eficientes en cuanto a la colocación de las diferentes semillas, así como en los cálculos de cantidad de semillas utilizadas en una hectárea. La eficacia de dichos sistemas se ve evidenciada por la reducción de los costos del combustible, reducción de los volúmenes de fertilizante, semilla y productos fitosanitarios, aumento de la productividad y la rentabilidad (García y Flego 2008).

Hoy en día, las empresas y personas que diseñan y/o crean las diferentes máquinas utilizadas en la agricultura, tienen como enfoque la agricultura de precisión. Un enfoque de la agricultura de precisión es la implementación de sistemas de auto guiado de maquinaria, los cuales pueden tener diferentes niveles de precisión, en función de señales entregadas a sistemas de posicionamiento global (GPS) conectados con la maquinaria de forma integral. La empresa John Deere® ha sido una pionera en este tipo de sistemas (hoy en día la mayoría de las empresas de maquinaria ya cuentan con esta tecnología), contando con diferentes tipos de precisión con diferentes señales bajo su sistema de precisión Agricultural Management Solutions (AMS). El sistema de auto guiado AutoTrac™ de John Deere® es un sistema de corrección que permite a una variada gama de tractores, poder realizar trabajos de campo de forma automatizada, con una mayor precisión en la realización de tareas de campo, al igual que en la optimización de recursos como combustible o llantas, las cuales se aprovechan por más horas de trabajo. Estas tecnologías permiten el incremento en la productividad de labores en campos agrícolas (John Deere 2021). Se puede lograr un sistema de mecanización sostenible que garantice la productividad de las unidades de producción agrícola, con la implementación de sistemas que no solo proporcionan mayor precisión al realizar una labor con

maquinaria agrícola, si no, también un aumento en la eficiencia y rendimiento de trabajo (Nacci et al. 2002).

Los sistemas de corrección permiten trabajar con una gran gama de implementos entre los cuales pueden mencionarse como ejemplos arados, rastras, sembradoras, asperjadoras, segadoras, surcadores y acamadores. Con este sistema, se logran realizar trabajos más precisos, permitiendo realizarlos en menor tiempo con menos fatiga de los operadores y resultados de calidad (John Deere 2015). Para poder utilizar estos sistemas debemos tener una serie de instrumentos en el tractor, en los que se incluye el receptor de señal, monitor y piloto automático universal. Estos permitirán que la maquinaria reciba la señal de GPS, recolecte los datos de campo y se programen las actividades que realizara el tractor.

Para el caso específico de John Deere® le ha asignado un nombre a este sistema, generalmente se le conoce como Agricultural Management Solutions (AMS), este sistema cuenta con varias señales de nombre StarFire (SF), las cuales cuentan con diferentes niveles de precisión y de acuerdo al tipo de receptor de señal satelital las cuales se encargan de mejorar el rendimiento en labores de campo: señal SF1 garantiza una precisión en la desviación de la trayectoria +/- 23 cm con receptor SF 3000, señal SF1 con receptor SF 6000 que garantiza una desviación en trayectoria de +/- 15 cm, la señal SF2 con receptor SF 3000 garantiza una precisión en la desviación de la trayectoria de +/- 5 cm, la señal SF3 con receptor SF 6000 garantiza una precisión en la desviación de la trayectoria de +/- 3 cm y la señal RTK (Real Time Kinematic) garantiza una precisión de +/- 2.5 cm para ambas generaciones de receptores SF 3000 y SF 6000,, siendo esta la más precisa de las tres, teniendo una mejor corrección en campo durante cada pasada (Konoshin et al. 2018). Estas señales permiten reducir el número de pasadas durante una labor en un terreno, así como disminuir el tiempo a realizar las diferentes labores en campo con distintos implementos. Con esto se logra reducir la compactación del suelo y se disminuye el desgaste de la maquinaria, así como evitar el agotamiento del operador (John Deere 2021). El sistema AutoTrac™ también permite al operador poner más atención a posibles

peligros en el terreno, así como monitorear el trabajo que está realizando y el nivel de los insumos en implementos como sembradoras o asperjadoras (John Deere 2019).

En el sistema AMS AutoTrac™, el monitor es un componente muy importante, en el caso de John Deere® a este generalmente se le conoce como GreenStar. Es el que permite observar los datos recolectados y programar las tareas que ejecutará el tractor en campo. Estos monitores están diseñados para un fácil uso y se pueden encontrar pantallas táctiles o con botones dependiendo de los gustos del cliente. Desde este monitor, el operador podrá crear rutas que el tractor tendrá como predeterminadas y cada vez que se necesite realizar esa operación podrá ejecutarse sin tener que programarla otra vez, ya que una vez realizada las tareas este aparato guardará datos. Estos datos se utilizarán en las futuras labores durante el ciclo productivo de los cultivos, ya sea la ubicación de los surcos, la semilla utilizada y la fecha de aplicación de fertilizante al cultivo (John Deere 2017).

Para el caso del receptor de señal, generalmente se le conoce como StarFire, este componente recibe la información de posicionamiento geográfico. Una vez recibida la información se podrá trazar las rutas que el tractor cubrirá de manera automática gracias a la precisión de este receptor, el cual puede funcionar con varios tipos de señales para recolección de datos e implementación del sistema (John Deere 2015).

El encargado de realizar las correcciones en campo es el piloto automático denominado AutoTrac™, este al conectarse con los demás instrumentos que componen los sistemas AMS AutoTrac™, recolecta la señal que envía el monitor, activándose y realizando el trabajo de recorrer los campos y corregir desviaciones, en las rutas que ya fueron trazadas por los demás instrumentos del sistema. Una de sus ventajas más importantes es que es posible adaptarse a una gran gama de máquinas John Deere® que van desde tractores y pulverizadores, hasta cosechadoras (John Deere 2020). Los sistemas de corrección como lo es AMS AutoTrac™, pueden ser utilizados en muchos modos de trayectoria, siendo los más comunes el modo de trayectoria recta que es el más utilizado y el método de trayectoria curva que es el menos utilizado, el cual permite trabajar en terrenos donde

la línea de siembra de un cultivo se realiza de forma curva permitiendo realizando distintas labores de esta manera (Valero 2004).

El objetivo de este estudio fue evaluar la eficiencia de trabajo en tres implementos distintos de las señales SF1 y SF2 del receptor SF3000 de los sistemas AMS AutoTrac™ y sin tecnología AMS AutoTrac™ comparando ambas señales entre sí y estas a su vez con un testigo.

Materiales y Métodos

Descripción del Estudio

El estudio se realizó en la finca El Espinal, ubicada en la Universidad Zamorano, en el Valle de Yegüare, municipio de San Antonio de Oriente, departamento de Francisco Morazán, a 30 km de Tegucigalpa, Honduras. La recolección de datos se realizó entre abril y mayo de 2021.

Terreno

Para el propósito de la evaluación de este estudio se utilizaron nueve unidades experimentales, ubicadas en tres lotes que se encontraban en la finca El Espinal (Figura 1), cada unidad experimental tenía dimensiones de 150 m de longitud por 30 m de ancho, se distribuyeron tres unidades experimentales para cada tratamiento, utilizándose como repeticiones en cada uno de los lotes antes mencionados, pasando cada uno de los implementos (rastra pesada, rastra liviana y sembradora) por cada unidad experimental con su respectivo tratamiento. El suelo en estos lotes tenía textura arcillosa, estructura prismática, una alta pedregosidad y en su mayoría era de topografía plana.

Figura 1

Ubicación de unidades experimentales en finca El Espinal para la evaluación de eficiencia de trabajo de las señales SF1 y SF2 del sistema AutoTrac™.



Nota. Tomado de Google Earth Pro

Operarios

Los equipos fueron operados por un empleado de la sección de Maquinaria Agrícola de la universidad. Se asignó al mismo operador para la realización de todos los experimentos con los tres tratamientos, quien al momento del estudio contaba con una experiencia aproximada de tres años en operación de maquinaria agrícola con sistema de auto guiado de John Deere®.

Equipo utilizado

Se utilizó un tractor agrícola John Deere® 6125M con potencia de motor de 125 HP (Figura 2), el sistema de precisión Agricultural Management Solution (AMS) AutoTrac™ marca John Deere®, receptor de señal StarFire 3000, monitor GreeStar3 2630, piloto automático AutoTrac™ (Figura 2), tres Implementos agrícolas (Cuadro 1), dos destinados a la preparación de suelos: rastra tipo pesada y rastra tipo liviana, así como una sembradora de precisión (Figura 3).

Figura 2

Tractor y elementos del sistema de precisión AMS AutoTrac™.



Nota. Tractor John Deere® 6125M (A), receptor de señal StarFire 3000 (B), monitor GreeStar 2630 (C), piloto automático AutoTrac™ (D).

Figura 3

Implementos utilizados para el estudio de evaluación de la eficiencia de las señales SF1 y SF2 del sistema AutoTrac™.



Nota. Rastra pesada Baldan® CRSG L2 (A), rastra liviana Baldan® NVA P4(B), Sembradora John Deere® MaxEmerge Plus(C).

Cuadro 1

Descripción de implementos utilizados para el estudio de evaluación de la eficiencia de las señales SF1 y SF2 del sistema AutoTrac™.

Implemento	Marca	Modelo	Ancho de Trabajo (m)	Velocidad promedio (km/h)
Rastra pesada	Baldan®	CRSG L2	2.6	7.5
Rastra liviana	Baldan®	NVA P4	4.2	9
Sembradora	John Deere®	MaxEmerge Plus	3.2	9.8

Programación del sistema

Para la programación del sistema AMS AutoTrac™ al momento de realizar los experimentos, se siguieron los pasos descritos en “Manual de operación Auto Trac AMS John Deere®” desarrollado en el estudio de Fernández Montero (2016). Cuando se debían de realizar los cambios de señal SF1 a SF2 o viceversa, se siguieron los pasos descritos en “Manual del operador StarFire 3000” y “Manual del operador GreenStar GS3 2630” de John Deere (2013).

Descripción de los tratamientos

Para cada implemento (rastra pesada, rastra liviana y sembradora) se evaluaron tres tratamientos, en los que se incluyeron dos con tecnología AMS AutoTrac™ y uno sin uso de la tecnología. Los tratamientos con tecnología AMS AutoTrac™ utilizados fueron las señales SF1 y SF2 (Cuadro 2), estas señales se diferencian entre sí por su precisión en campo, estas se encargaron de definir las líneas de pasada del tractor por las unidades experimentales, así como corregir desviaciones del tractor durante cada pasada. Para el tratamiento sin los sistemas de corrección, se realizaron labores convencionales realizadas por el operador de forma manual.

Cuadro 2

Precisión y requerimientos de señales de los sistemas AMS AutoTrac™.

Señal	Precisión	Requerimientos
SF1	+/- 23 cm	Receptor de señal, monitor, piloto automático
SF2	+/- 5 cm	Receptor de señal, monitor, piloto automático, suscripción

Diseño experimental y análisis estadístico

Cada implemento con sus tratamientos (SF1, SF2 y testigo) se evaluó por separado. Se usó un diseño experimental de bloques completamente al azar para la distribución de los tratamientos en las unidades experimentales (Figura 4). Los datos fueron procesados mediante un análisis de varianza (ANDEVA), en el software estadístico InfoStat® versión 2020e y separación de medias usando el método de Duncan con una probabilidad <0.05.

Figura 4

Distribución de los tratamientos en las unidades experimentales en finca El Espinal para la evaluación de eficiencia de trabajo de las señales SF1 y SF2 del sistema AutoTrac™.



VARIABLES EVALUADAS

Tiempo total

Es el tiempo total obtenido para llevar a cabo la labor. Se realizó la toma de tiempo total utilizando un cronómetro, iniciando la toma del tiempo al comienzo de la actividad, deteniendo el tiempo al finalizarla.

Área total

Es el área total por unidad experimental, donde se realizó el trabajo que se evaluó con el implemento seleccionado. Se realizó el cálculo utilizando la ecuación 1.

$$At = \frac{L \times An}{10,000} \quad (1)$$

Donde:

At = Área total del terreno (ha)

L = Longitud del terreno (m)

An = Ancho del terreno (m)

A = área (m²)

Capacidad teórica de campo

Es el rendimiento, en hectáreas por hora (ha/h) al cual se debería de avanzar sin tomar en cuenta factores de inactividad por pérdida de tiempo. Se realizó el cálculo utilizando la ecuación 2.

$$CTC = \frac{Ai \times V}{10,000} \quad (2)$$

Donde:

CTC = Capacidad teórica de campo (ha/h)

Ai = Ancho de trabajo del implemento (m)

V = Velocidad promedio de trabajo (m/h)

Capacidad efectiva de campo

Es el rendimiento en hectáreas por hora (ha/h) al cual realmente se avanzó, tomando en cuenta factores de inactividad por pérdida de tiempo. Se realizó el cálculo utilizando la ecuación 3.

$$CEC = \frac{At}{Tt} \quad (3)$$

Donde:

CEC = Capacidad efectiva de campo (ha/h)

At = Área total del terreno (ha)

Tt = Tiempo total de la labor (h)

Eficiencia de trabajo

Es el resultado porcentual, de la ecuación resultante de tiempo teórico para la realización de la labor y el tiempo real requerido para llevar a cabo la labor. Se utilizó como variables capacidad teórica de campo (CTC) y capacidad efectiva de campo (CEC), para obtener como resultado la eficiencia de trabajo (Et). Se realizó el cálculo utilizando la ecuación 4.

$$Et = \frac{CEC}{CTC} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

Et = Eficiencia de trabajo (%)

CEC = Capacidad Efectiva de Campo (Ha/h)

CTC = Capacidad Teórica de Campo (Ha/h)

Resultados y Discusión

Eficiencia de trabajo

Se encontró diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en los tres tratamientos en las labores realizadas con rastra pesada, rastra liviana y sembradora (Cuadros 3, 4 y 5).

Rastra pesada y rastra liviana

Durante la implementación de los tres tratamientos, en la preparación del suelo con rastra pesada y rastra liviana, se determinó que el tratamiento testigo fue el más eficiente, seguido por la señal SF1 y por último la señal SF2, siendo este el tratamiento menos eficiente (Cuadro 3 y 4).

Cuadro 3

Evaluación de capacidad teórica de campo, capacidad efectiva de campo y eficiencia de trabajo de los tres tratamientos con rastra pesada para el estudio de evaluación de la eficiencia de las señales SF1 y SF2 del sistema AutoTrac™.

Tratamientos	Rastra pesada		
	CTC (Ha/h)	CEC (Ha/h)	Et (%)
SF1	1.95	1.64	84.17 ^b
SF2	1.95	1.53	78.95 ^c
Testigo	1.95	1.69	86.88 ^a
EE ±			0.53
Valor de P			0.0011
CV (%)			1.1

Nota. Medias con una letra distinta son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$), CTC: Capacidad teórica de campo (Ha/h), CEC: Capacidad efectiva de campo (Ha/h), Et: Eficiencia de trabajo (%), EE ±: Error estándar, CV: Coeficiente de Variación.

Cuadro 4

Evaluación de capacidad teórica de campo, capacidad efectiva de campo y eficiencia de trabajo de los tres tratamientos con rastra liviana para el estudio de evaluación de la eficiencia de las señales SF1 y SF2 del sistema AutoTrac™.

Tratamientos	Rastra liviana		
	CTC (Ha/h)	CEC (Ha/h)	Et (%)
SF1	3.78	3.06	81.09 ^b
SF2	3.78	2.89	76.59 ^c
Testigo	3.78	3.22	85.19 ^a
EE ±			0.76
Valor de P			0.0034
CV (%)			1.62

Nota. Medias con una letra distinta son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$), CTC: Capacidad teórica de campo (Ha/h), CEC: Capacidad efectiva de campo (Ha/h), Et: Eficiencia de trabajo (%), EE ±: Error estándar, CV: Coeficiente de Variación.

Estos resultados se atribuyen a que, al utilizar las señales, el tractor sufría desviaciones por factores como: piedras grandes y pequeñas, irregularidades en el terreno y la zanja dejada por los discos del implemento en la pasada anterior, esto provocaba que las llantas frontales encargadas de la dirección del tractor se desviarán provocando zigzag. Al tener que corregir esa desviación realineándose fue aumentando el tiempo por pasada, esto se puede atribuir a que normalmente los operadores no utilizan estos sistemas en labores con rastras ya que la precisión demandada no es tan exigente, en comparación a implementos como, por ejemplo: sembradora, surcador, acamador, asperjadora; esto fue mencionado por Martínez (2021).

El método de aradura de cabeceras desde los surcos posteriores utilizado para la labor disminuyó la eficiencia de la señal, aumentando el tiempo en cada giro. Esto se observó principalmente en los giros finales donde se recorría mayor distancia entre la pasada ya realizada y la pasada a realizar, ya que con sistemas AMS AutoTrac™ el operador debía salir a la cabecera de giro, disminuir la velocidad para alinear lo mejor posible y desviando la vista para activar el piloto automático en el panel de control para iniciar la siguiente pasada. Esto provocó un aumento en el

tiempo muerto, en comparación al testigo que tenía mayor control al girar y alinearse sin disminuir la velocidad, esto es confirmado por Martínez (2021) y Fernández (2016). Esto podría cambiar al trabajar en terrenos de mayor extensión, comparados al tamaño de la unidad experimental. Es muy probable que el tamaño de las unidades experimentales también haya afectado la eficiencia del auto guiado, ya que como lo menciona Martínez (2021), generalmente el uso de estos sistemas se recomienda que sea en terrenos de grandes extensiones, ya que su eficiencia aumenta en áreas donde el tiempo entre giro es mayor, reduciendo las desviaciones (Huyghebaert et al. 2013).

Debido a que previo al experimento se determinó el trabajar a las mismas velocidades entre tratamientos por cada uno de los implementos, hubo un factor que no fue aprovechado en los sistemas con auto guiado y esto es que al utilizar el auto guiado, permite que la operación de la maquina sea a una mayor velocidad (cuando se trabaja con arados y rastras principalmente). Esto en comparación a no utilizar el auto guiado, donde el operador generalmente al ir observando repetidamente hacia atrás para observar la calidad del trabajo y asegurar la misma, la velocidad puede ser variable tendiendo a disminuir cuando voltea (es un factor que puede ser variable dependiendo de la experiencia del operador). Esta fluctuación en la velocidad no ocurre en el auto guiado, ya que puede ir observando sin necesidad de disminuir velocidad cuando observa, por lo cual este factor podría mejorar la eficiencia de estos sistemas con estos implementos, esto se confirma en el estudio realizado por Farooque et al. (2021), quienes mencionan que se realizaban labores a mayor velocidad usando AutoTrac™, ya que estos sistemas permiten realizar las labores a mayor velocidad debido a que el operador no necesita observar la trayectoria que lleva el tractor ni tener que tocar el volante y tiene más libertad de monitorear el implemento. Esto también lo afirma Ogura (2017), donde menciona, que en las labores sin sistemas AMS AutoTrac™, el operador debe observar hacia donde dirige el tractor y ver si el implemento no presenta algún problema durante se realiza cada pasada.

Considerando esto, se podría entender que el uso de estas señales o del mismo AutoTrac™ no sea muy recomendado en labores de preparación del suelo, donde se requiere de una mayor

intervención del operador del tractor, aunque se sabe que la eficiencia de estos sistemas aumenta conforme aumenta la superficie de terreno en que se esté trabajando (Huyghebaert et al.2013). Para esto también se deberá de considerar la experiencia del operador, por lo cual, todo eso deberá ser parte del análisis al momento de decidir usar o no este sistema en estas labores.

Sembradora

En las pruebas que se realizaron en sembradora, el testigo (operador) fue quien obtuvo una menor eficiencia (Cuadro 5).

Cuadro 5

Evaluación de capacidad teórica de campo, capacidad efectiva de campo y eficiencia de trabajo de los tres tratamientos con sembradora para el estudio de evaluación de la eficiencia de las señales SF1 y SF2 del sistema AutoTrac™.

Tratamientos	Rastra pesada		
	CTC	CEC	Et
SF1	1.95	1.64	84.17 ^b
SF2	1.95	1.53	78.95 ^c
Testigo	1.95	1.69	86.88 ^a
EE ±			0.53
Valor de P			0.0011
CV (%)			1.1

Nota. Medias con una letra distinta son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$), CTC: Capacidad teórica de campo (Ha/h), CEC: Capacidad efectiva de campo (Ha/h), Et: Eficiencia de trabajo (%), EE ±: Error estándar, CV: Coeficiente de Variación.

Esto se debe principalmente a que al no tener una referencia visible del área ya trabajada y del último surco sembrado, se debían utilizar los brazos marcadores de la sembradora para tener una línea clara por donde pasar, además en los giros al final de la unidad experimental debía subir los brazos marcadores y bajarlos antes de iniciar la nueva línea, lo que añadía mayor tiempo muerto cada vez que bajaba y subía los brazos. Villareal et al. (2015) y Flores de la Riva et al. (2017), afirman que al operador le toma más tiempo preparar y alinear la sembradora antes de entrar a la siguiente línea,

en cambio los sistemas de corrección tenían la información del área ya trabajada y por medio de las señales recibidas por los GPS, tomaban la línea siguiente a ser trabajada con mayor precisión y sin necesidad de tener una marca clara en el terreno, reduciendo el tiempo muerto durante cada vuelta.

La señal SF1 fue la que lideró la eficiencia en el uso de este implemento, esto probablemente se debió a que la señal SF2 presentó constantes problemas con la realineación debido al mayor tiempo que le tomaba alinearse después de cada giro, probablemente por la mayor precisión que esta presenta. Considerando esta situación, podría ser que la eficiencia de la señal SF2 pueda ser mejor en mayores extensiones de terreno, considerando que necesita una mayor cantidad de tiempo para poder realizar las correcciones y alinearse después de cada giro, comparado con la señal SF1 (Huyghebaert et al. 2013).

Los giros en las labores con sembradora afectaban más a los tratamientos con señal SF2 y testigo ya que esta demandaba que el operador se ubicara con mayor precisión al iniciar la línea de pasada siguiente debido a su precisión de +/- 5 cm de la señal SF2 y la marca dejada por la sembradora con tratamiento testigo para mejorar la calidad del trabajo. (Huyghebaert et al. 2013), mencionan que se tiene que retroceder mayores distancias para alinear el tractor y el implemento, en comparación al tratamiento con señal SF1, el cual teniendo una precisión de +/- 23 cm, permitía realizar los giros sin necesidad de retroceder para acercarse más al surco anterior.

Los espacios reducidos en la cabecera de giro también afectaron los tiempos muertos para cada tratamiento, principalmente a la señal SF2 y el testigo ya que estos al ser reducidos dificultaban más la alineación del tractor Andrango y Álvarez (2012) mencionan que las cabeceras de giro deben tener como mínimo un espacio de 10 m para permitir el movimiento del tractor y el implemento

Conclusiones

En las labores realizadas con rastra pesada, rastra liviana y sembradora la señal SF1 entregó mejores resultados en comparación a la señal SF2.

La utilización de los sistemas AMS AutoTrac™ en rastra pesada y rastra liviana fue menos eficiente que el testigo (operador) realizando las labores de forma manual.

Para la labor realizada con sembradora, los sistemas AMS AutoTrac™ obtuvieron mejores eficiencias que el testigo.

Recomendaciones

Realizar una evaluación comparativa entre piloto automático y pilotaje manual en mecanización agrícola, en terreno de 1 ha y 2 ha y comparar también la eficiencia de ambas extensiones.

Realizar un estudio comparativo de ambas señales teniendo en cuenta consumo de combustible, calidad de trabajo y determinar los costos diferenciales de la utilización de los sistemas en distintas labores con diferentes implementos.

Crear programas de capacitaciones para hacer uso de todas las funciones que brindan los sistemas AMS AutoTrac™ en las labores de campo, por ejemplo: mapeo de terrenos, mapeo de rendimiento, dosificación variable y corrección en trayectoria curva.

Utilizar nuevos métodos de trabajo en campo (método de aradura) que optimicen las labores de campo y mejoren la eficiencia de trabajo especialmente en los sistemas AMS AutoTrac™ y con implementos de mecanización del suelo.

Realizar un estudio similar, pero comparando otros implementos con requerimientos de mayor precisión en campo como por ejemplo surcador, acamador y asperjadora.

Evaluar eficiencia de AutoTrac™ con sembradora utilizando un método de siembra en melgas y no el continuo que se utiliza actualmente, en función del ancho de los terrenos que no disminuya la eficiencia por recorrido de trayectorias muy extensas.

Referencias

- Andrango R, Álvarez F. 2012. Manual de preparación de suelos con tracción motriz: Módulo 2. Honduras: Zamorano. ISBN: 1-885995-74-1. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/4190>.
- Farooque AA, Esau TJ, MacEachern CB, Zaman QU. 2021. Evaluation of Autosteer in Rough Terrain at Low Ground Speed for Commercial Wild Blueberry Harvesting. *Agronomy*; [consultado el 3 de jun. de 2021]. 11(2):384. doi:10.3390/agronomy11020384.
- Fernández Montero O. nov. 2016. Evaluación e implementación del sistema AMS Auto Trac John Deere® [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 43 p; [consultado el 20 de may. de 2021]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5920/1/CPA-2016-T044.pdf>.
- Flores de la Riva, Jose Fernando, Ayala Erazo DA. nov. 2017. Evaluación del sistema AMS-Autotracc de John Deere® [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 27 p; [consultado el 20 de may. de 2021]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6079/3/CPA-2017-016.pdf>.
- García E, Flego F. 2008. Agricultura de precisión. *Ciencia y Tecnología*. 8. <https://www.maquinac.com/wp-content/uploads/2015/07/agricultura-de-precision-universidad-de-palermo.pdf>.
- Huyghebaert B, Dubois G, Defays G. 2013. Estudio de la precisión del sistema de orientación autotracc de John Deere. Lublin, Polonia: Centre wallon de Recherches agronomiques; [consultado el 26 de jun. de 2021]. 10 p. VI Simposio Científico Internacional.
- John Deere. 2013. Manual del operador StarFire 3000. 13ª ed. Estados Unidos de Norte America: [sin editorial]. https://stellarsupport.deere.com/site_media/pdf/es/manuals/sf3000/ompdf13902_i3_63_25sep13_88dcy.pdf.
- John Deere. 2015. AMS AutoTrac. [sin lugar]: [sin editorial]; [consultado el 27 de may. de 2021]. es. <https://www.deere.es/es/index.html>.
- John Deere. 2017. GreenStar™ 2630 | Monitor | Ag de precisión | John Deere LA. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado el 13 de jun. de 2021; consultado el 13 de jun. de 2021]. es. <https://www.deere.com/latin-america/es/agricultura-de-precisi%C3%B3n/receptores-y-monitores/monitor-gs2-greestar-2630/>.
- John Deere. 2019. Guidance AutoTrac. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado el 4 de jun. de 2021; consultado el 4 de jun. de 2021]. en;en. <https://www.deere.com/en/technology-products/precision-ag-technology/guidance/auto-trac/>.
- John Deere. 2020. AutoTrac Integrado | Piloto Automático | John Deere LA. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado el 13 de jun. de 2021; consultado el 13 de jun. de 2021]. es. <https://www.deere.com/latin-america/es/agricultura-de-precisi%C3%B3n/control-y-guiado-de-la-maquinaria/piloto-automatico-autotracc-integrado/>.
- John Deere. 2021. AMS Soluciones integrales en agricultura de precisión. [sin lugar]: [sin editorial]; [consultado el 22 de may. de 2021]. 12 p. http://www.deere.com.mx/common/docs/products/equipment/agricultural_management_solutions/r3/jd_folleto_ams.pdf.
- Konoshin I, Bulavintsev R, Kuznetsovyuriy A, Kravchenko I. 2018. Uso del equipo de navegación GreenStar en tratamiento de suelo. *Newspaper*. (5):31–34.
- Martínez A. 2021. Labranza con sistemas AMS AutoTrac John Deere [Reunión virtual]. Honduras: [sin editorial]. 4 de jun. de 2021; [actualizado el 4 de jun. de 2021].

- Nacci S, Ramos C, Pla I. 2002. Dynamics of the soil physical properties in vineyards highly mechanized of the Anoia-Alt Penedés Region (Catalunya, Spain). En: Rubio JL, Morgan RPC, Asins S, Andreu V, editores. *Man and soil at the Third Millennium. Proceedings International Congress of the European Society for Soil Conservation*. Valencia, Spain: GEOFORMA Edicions, S.L. p. 1615–1624.
- Ogura Y. 2017. John Deere Dispositivo de dirección automática para tractores. *Revista de Ingeniería Agrícola y Alimentaria*; [consultado 20/6)2021]. 79(6):457–462.
- Valero C. 2004. Los distintos sistemas de guiado y su aplicación. *Vida Rural*; [consultado el 4 de jun. de 2021]. (188):68–70. <http://oa.upm.es/6307/>.
- Villareal D, Scaramuzza F, Mendez A, Vélez J. 2015. El piloto automatico en la agricultura. Argentina: INTA EEA; [consultado el 3 de jun. de 2021]. <https://www.maquinac.com/wp-content/uploads/2015/10/El-Piloto-Autom--tico-en-la-Agricultura.pdf>.