

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



Proyecto Especial de Graduación
Evaluación del sistema AMS AutoTrac™ John Deere® bajo dos niveles de
precisión

Estudiante

Yoharlin Ogando Payero

Asesores

José Adrián Ordoñez, Mtr.

Allan Martínez, Ing.

Alina Castillo, Ing.

Honduras, julio 2022

Autoridades

TANYA MÜLLER GARCÍA

Rectora

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.....	5
Índice de Figuras	6
Resumen	7
Abstract.....	8
Introducción.....	9
Materiales y Métodos	13
Ubicación	13
Generalidades del Clima	13
Terreno.....	14
Equipos y Materiales.....	14
Sistema de Autoguiado y Sistema Telemático	15
Medición de Tiempo y Delimitación de Unidades	15
Operación del Equipo.....	16
Estado General de Equipos y Revisión Diaria.....	16
Descripción de los Tratamientos.....	17
Convencional (T1)	17
Señal SF1 (T2).....	17
Señal SF2 (T3).....	17
Variables Evaluadas	18
Número Teórico de Pasadas (NTP)	18
Número Real de Pasadas (NRP)	18
Eficiencia de Pasadas (EP %)	18
Tiempo Neto	19
Tiempo Muerto	19

Capacidad Efectiva de Campo (CEC)	19
Capacidad Teórica de Campo (CTC)	19
Eficiencia de Trabajo (ET).....	20
Programación e Ingreso de Implementos en el Sistema AutoTrac™	20
Diseño Experimental	20
Análisis Estadístico	21
Resultados y Discusión.....	22
Sembradora.....	22
Número Real de Pasada (NRP) y Eficiencia de Pasada (EP %).....	22
Tiempo Neto (TN), Tiempo Muerto (TM), Capacidad Efectiva de Campo (CEC), Eficiencia de Trabajo (ET) y Consumo de Combustible	22
Asperjadora.....	24
Número Real de Pasada (NRP) y Eficiencia de Pasada (EP %).....	24
Tiempo Neto (TN), Tiempo Muerto (TM), Capacidad Efectiva de Campo (CEC), Eficiencia de Trabajo (ET) y Consumo de Combustible	25
Conclusiones	27
Recomendaciones.....	28
Referencias.....	29

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Comportamiento de las variables temperatura promedio, humedad relativa y precipitación durante el desarrollo del estudio.....	13
Cuadro 2 Efecto de los niveles de precisión en el Número Real de Pasada (NRP) y Eficiencia de Pasada (EP%), sembradora MaxEmerge Plus 1750.....	22
Cuadro 3 Efecto de los niveles de precisión en el Tiempo Neto (TN), Tiempo Muerto (TM), Capacidad Efectiva de Campo, Eficiencia de Trabajo (ET) y Consumo de Combustible, sembradora MaxEmerge Plus 1750.....	24
Cuadro 4 Efecto de los niveles de precisión en el Número Real de Pasada (NRP) y Eficiencia de Pasada (EP %), asperjadora Columbia Cross AM-14 Jacto.	25
Cuadro 5 Efecto de los niveles de precisión en el Tiempo Neto (TN), Tiempo Muerto (TM), Capacidad Efectiva de Campo, Eficiencia de Trabajo (ET) y Consumo de Combustible, asperjadora Columbia Cross AM-14 Jacto.	26

Índice de Figuras

Figura 1 Ubicación del estudio en lotes 2, 6 y 7 de Finca San Nicolás de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.....	13
Figura 2 Tractor John Deere 6125M utilizado en la investigación.....	14
Figura 3 Implementos utilizados en la investigación.....	15
Figura 4 Componentes básicos del sistema AutoTrac™ en el tractor John Deere 6125M e interfaz del software JDlink™ de John Deere.....	16
Figura 5 Distribución de tratamientos y unidades experimentales en bloques en la Finca San Nicolás, lotes 2, 6 y 7.....	17

Resumen

La agricultura de precisión es una estrategia de manejo agrícola que incluye tecnologías de la información y la comunicación, reconoce las variabilidades espaciales y temporales existentes en los campos, para facilitar la toma de decisiones. Los sistemas de autoguiado en la agricultura son herramientas que permiten alcanzar altos niveles de eficiencia en los equipos agrícolas. El objetivo de este estudio fue evaluar y comparar los parámetros de eficiencia de maquinaria agrícola tales como: número real de pasadas, eficiencia de pasadas, tiempo neto, tiempo muerto, capacidad efectiva de campo, eficiencia de trabajo y consumo de combustible en labores de mecanización, con la operación del tractor de manera convencional y con el uso del sistema AMS AutoTrac™ de John Deere® bajo las señales SF1 y SF2, con los implementos asperjadora y sembradora. El estudio fue establecido en un diseño de bloques completos al azar y los datos fueron analizados mediante el software estadístico InfoStat, con un análisis de varianza, una separación de medias por el método de Duncan y un nivel de significancia de 95%. La eficiencia de pasadas fue indiferente al nivel de precisión y método de conducción en labores de mecanización utilizando ambos implementos. La utilización del sistema AutoTrac™, independientemente de las señales SF1 y SF2, logró reducir el tiempo neto, tiempo muerto y el consumo de combustible, además logró aumentar la capacidad efectiva de trabajo, así como la eficiencia de trabajo en labores de mecanización con la sembradora, en comparación con la operación convencional. En asperjadora se logró los mejores resultados con el método de conducción convencional.

Palabras clave: Agricultura de precisión, autoguiado, eficiencia, SF1, SF2.

Abstract

Precision agriculture is an agricultural management strategy that includes information and communication technologies, recognizes the spatial and temporal variabilities existing in the fields, to facilitate decision-making. Auto guidance systems in agriculture are tools that allow for achieving high levels of efficiency in agricultural equipment. The objective of this study was to evaluate and compare the efficiency parameters of agricultural machinery such as the actual number of passes, pass efficiency, net time, dead time, effective field capacity, work efficiency, and fuel consumption in mechanization tasks with conventional tractor operation and with the use of the John Deere® AMS AutoTrac™ system under the SF1 and SF2 signals, in sprayer and planter. The study was set up in a randomized complete block design and the data were analyzed using InfoStat statistical software, with an analysis of variance, a separation of means by Duncan's method, and a significance level of 95%. Passing efficiency was indifferent to the level of precision and driving method in mechanization work using both implements. The use of the AutoTrac™ system, independently of the SF1 and SF2 signals, reduced net time, idle time, and fuel consumption, as well as increased the effective work capacity and work efficiency in mechanization tasks with the planter, compared to conventional operation. The best results were achieved in the sprayer with the conventional driving method.

Key words: Precision farming, auto guidance, efficiency, SF1, SF2.

Introducción

A medida que avanza el tiempo, la población humana se incrementa y este crecimiento supone una gran presión en los sistemas de producción agrícola debido a la creciente e ininterrumpida demanda de alimentos. A esto se suma el encarecimiento de los insumos agrícolas provocado de manera directa e indirectamente por las tensiones geopolíticas y geoeconómicas que se generan en un mundo interdependiente y que tienen repercusiones globales. Estas situaciones crean la necesidad de aumentar la producción por unidad de área para satisfacer la demanda de alimentos, desarrollar sistemas ambientalmente sostenibles y optimizar el uso de los recursos a través de la búsqueda de los más altos niveles de eficiencia en las operaciones agrícolas.

El principal desafío del sector agrícola es producir más alimentos para una población en crecimiento a partir de recursos finitos (Miralles 2013). Una herramienta para lograr este desafío es la implementación de agricultura de precisión, definida como una estrategia de manejo agrícola que incluye tecnologías de la información y la comunicación, se basa en la observación y medición, tomando en cuenta tanto las variabilidades espaciales como temporales existentes en los campos para facilitar la toma de decisiones (Zarco-Tejeda et al. 2014). A través de la incorporación de estas tecnologías en la agricultura, es posible aumentar los niveles de eficiencia de los equipos, la precisión de las labores y lograr una gestión agronómica más eficaz en los sistemas de producción agrícola (García y Flego 2008).

Existen diversas tecnologías asociadas a la agricultura de precisión como son los sistemas globales de navegación por satélites (GNSS) por sus siglas en inglés, sistemas de información geográfica (SIG), sensores remotos, monitores de rendimiento y maquinaria inteligente (Santillán y Rentería 2018). Dentro de las tecnologías de maquinaria inteligente se incluyen los sistemas de asistencia a la conducción y de autoguiado, los cuales permiten reducir los errores humanos durante la conducción de equipos agrícolas autopropulsados. Se han establecido diferentes niveles de automatización en el guiado de tractores y maquinaria agrícola en los que se destaca un nivel básico

integrado por un sistema GPS y una barra de luces LED que sirve de guía visual al operador a través de indicadores LED, estas luces se encienden en función del sentido en que el operador debe girar el volante para realizar la corrección de la dirección del tractor durante el avance. Un segundo nivel que es el autoguiado asistido por un Sistema Global de Navegación por Satélite, GNSS por sus siglas en inglés, en el que se controla automáticamente la dirección del tractor mediante un mecanismo electrohidráulico o mecánico y un tercer nivel en el que los equipos autopropulsados son completamente autónomos y cuentan con programas de inteligencia artificial (Araguz y Valero 2012).

En la actualidad es posible encontrar una amplia gama de propuestas de tecnologías de autoguiado para maquinaria agrícola entre las que se destacan las empresas Trimble®, Topcon Agriculture, Case International con su Sistema de Agricultura Avanzada, AFS por sus siglas en inglés, IntelliSteer de New Holland, Agco Corporation y otras (Payne 2005). Estas empresas brindan productos y servicios de tecnologías de autoguiado para sus equipos y para otras marcas de tractores. Por otro lado está John Deere®, quien ofrece un portafolio de soluciones a través de su programa AMS (Agricultural Management Solutions), una gama de productos integrados para maximizar el rendimiento de las máquinas agrícolas (Garrido 2016). Esta compañía ha desarrollado su propia tecnología de autoguiado asistido por GPS denominado AutoTrac™ (John Deere 2022). Este es un sistema de guiado que dirige el equipo automáticamente por el campo y está disponible fundamentalmente en dos formas o sistemas diferentes (Barreiro et al. 2007). El primero es un sistema de auto guiado universal o AutoTrac™ Universal compuesto, principalmente, por un receptor Starfire, un monitor GreenStar y un volante automático universal (ATU) asistido por un motor eléctrico que puede ser instalado en cualquier tractor independientemente de la marca. El segundo es un sistema de autoguiado integrado o AutoTrac™ Integrado presente en equipos más sofisticados de John Deere, por lo tanto, es una solución de guiado diseñada específicamente para equipos de esta marca (John Deere 2020). La diferencia es que en este último sistema no se utiliza el volante universal (ATU) debido

a que la corrección de la dirección es realizada mediante un mecanismo electrohidráulico integrado de serie en el equipo.

Esta tecnología está comprendida en el segundo nivel de automatización del guiado de tractores y maquinaria agrícola consistente en un autoguiado asistido por GPS. Cuenta con opciones de corrección de señal que brindan diferentes niveles de precisión en función del tipo de corrección utilizado. Adicionalmente, ofrece una variedad de posibilidades tecnológicas y funcionalidades que se adaptan a las necesidades de las operaciones agrícolas (John Deere 2018). El funcionamiento de estos sistemas de autoguiado es relativamente sencillo, en este interviene un sistema global de navegación por satélite (GNSS) que determina la posición del equipo, un sensor que determina la desviación de la ruta marcada y envía una señal a un controlador, este envía una señal de corrección a un actuador el cual modifica la dirección del equipo (Keicher y Seufert 2000).

Desde el año 2016 la Unidad de Maquinaria de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano dispone del sistema AMS AutoTrac™ de John Deere® compuesto por receptores StarFire™ 3000 con señales SF1 y SF2, monitores GreenStar™ 2630 y un volante o piloto automático “AutoTrac™ Universal” ATU 200. Mas adelante en 2017 fueron adquiridos dos tractores John Deere 6125M, categorizados como equipos más sofisticados, en los que se encuentra instalado de serie un sistema de dirección AutoTrac integrado.

En el año 2016 se realizó un proyecto de investigación en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano donde se implementó el uso del sistema AMS AutoTrac™ de John Deere® en el programa de Aprender Haciendo de la universidad, así como también en las operaciones de la unidad de Maquinaria Agrícola y se evaluó la eficiencia de trabajo con relación al tiempo y al número de pasadas en cuatro implementos agrícolas (Fernández 2016). En el año 2017 se realizó otro proyecto de investigación en esta misma universidad, donde se evaluó nuevamente la eficiencia con el uso del sistema AutoTrac™ en cuatro implementos agrícolas, esta vez se usó la rastra pesada, rastra liviana, sembradora y asperjadora (Flores y Ayala 2017). Otro estudio fue realizado en año 2021 donde se

realizó una evaluación comparativa entre las señales SF1 y SF2 respecto a la eficiencia de trabajo en campo en lotes de tamaño reducido (González 2021).

Con el propósito de generar información sobre el comportamiento de dos niveles de precisión de la tecnología AMS AutoTrac™ de John Deere®, el objetivo de este estudio fue evaluar y comparar los parámetros de eficiencia de maquinaria agrícola tales como: número real de pasadas, eficiencia de pasadas, tiempo neto, tiempo muerto, capacidad efectiva de campo, eficiencia de trabajo y consumo de combustible en labores de mecanización con el uso del sistema AMS AutoTrac™ de John Deere® bajo las señales SF1 y SF2 en los implementos asperjadora y sembradora, a su vez comparándolo con la operación convencional del tractor, sin el uso del sistema de autoguiado.

Materiales y Métodos

Ubicación

La investigación se llevó a cabo en la Finca San Nicolás (Figura 1), ubicada en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Valle del Yeguaré, a 30 km de Tegucigalpa, carretera a Danlí, Honduras en los meses de mayo a junio 2022.

Figura 1

Ubicación del estudio en lotes 2, 6 y 7 de Finca San Nicolás de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano



Nota. Captura tomada de Google Earth Web.

Generalidades del Clima

Los datos climáticos del periodo en el que se realizó la investigación, comprendido por los meses de mayo a junio 2022 se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1

Comportamiento de las variables temperatura promedio, humedad relativa y precipitación durante el desarrollo del estudio.

Mes	Temperatura promedio (°C)	HR%	Precipitación (mm)
Mayo	23.96	80.55	212.20
Junio	23.24	85.11	15.00

Nota. Generalidades del clima, HR%: Humedad relativa.

Terreno

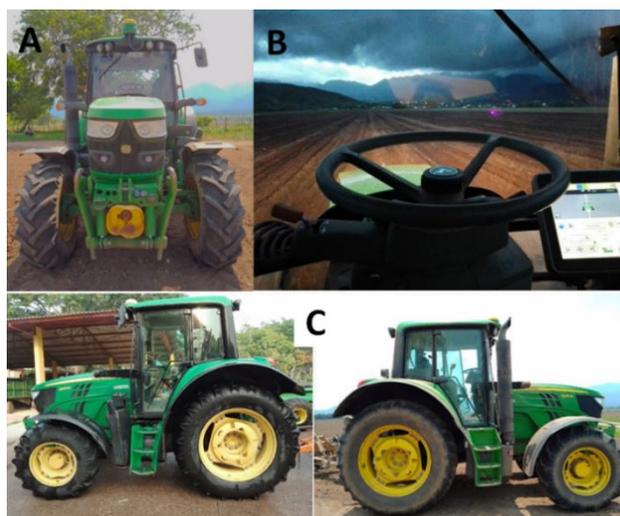
El estudio fue realizado en los lotes 2, 6 y 7 de la Finca San Nicolás (Figura 1). Las unidades experimentales, para la evaluación en sembradora, tuvieron un área de 2 ha, con dimensiones de 223.22 m de largo y 89.6 m de ancho. Para la asperjadora se utilizó un área de 1.33 ha por unidad experimental, con dimensiones de 158 m de largo y 84 m de ancho.

Equipos y Materiales

Se utilizó un tractor John Deere 6125M AutoTrac™ Integrado (Figura 2), con un motor PowerTech™ de 4 cilindros y cilindrada de 4.5 L, potencia nominal de 125 hp (103 hp TDF), transmisión POWRQUAD™ Plus 24F/24R con una palanca de cambio de grupos y cambio de marcha por botones. Una asperjadora Columbia Cross AM-14 Jacto (Figura 3), con una capacidad de 2,000 litros y un ancho de trabajo de 14 m, se trabajó a una velocidad promedio de 6.2 km/h. Una sembradora de tiro, neumática de precisión John Deere® MaxEmerge Plus 1750 (Figura 3) con un ancho de trabajo de 3.2 m y 4 hileras, con separación entre hilera de 80 cm, se trabajó a una velocidad promedio de 10 km/h.

Figura 2

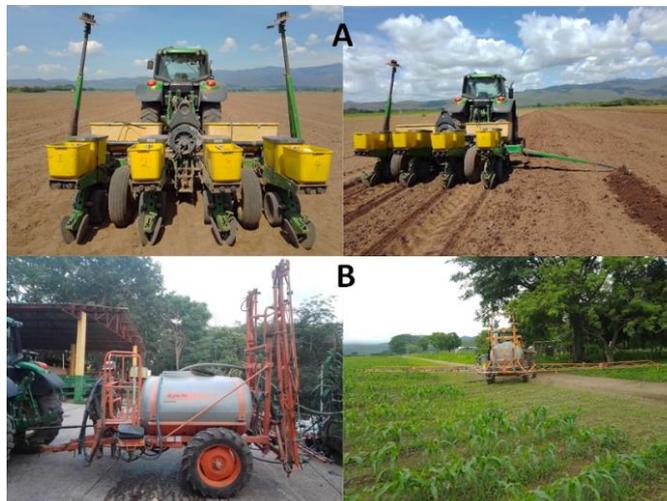
Tractor John Deere 6125M utilizado en la investigación.



Nota. Tractor John Deere 6125M, vista frontal (A), volante y columna de dirección inclinable (B), vistas laterales (C)

Figura 3

Implementos utilizados en la investigación.



Nota. Sembradora MaxEmerge Plus 1750 (A), Asperjadora Columbia Cross AM-14 Jacto (B).

Sistema de Autoguiado y Sistema Telemático

Sistema AMS AutoTrac™ John Deere (Monitor GreenStar 2630, Receptor Starfire 3000), es un sistema de autoguiado para vehículos agrícolas que cuenta con diferentes niveles de precisión; Señal SF1 con un nivel de precisión de +/- 23 cm, Señal SF2 que cuenta con un nivel de precisión de +/- 5 cm

(

Figura 4). Software JDlink™ de John Deere®, es un sistema telemático que permite gestionar el mantenimiento y rendimiento de los equipos (

Figura 4).

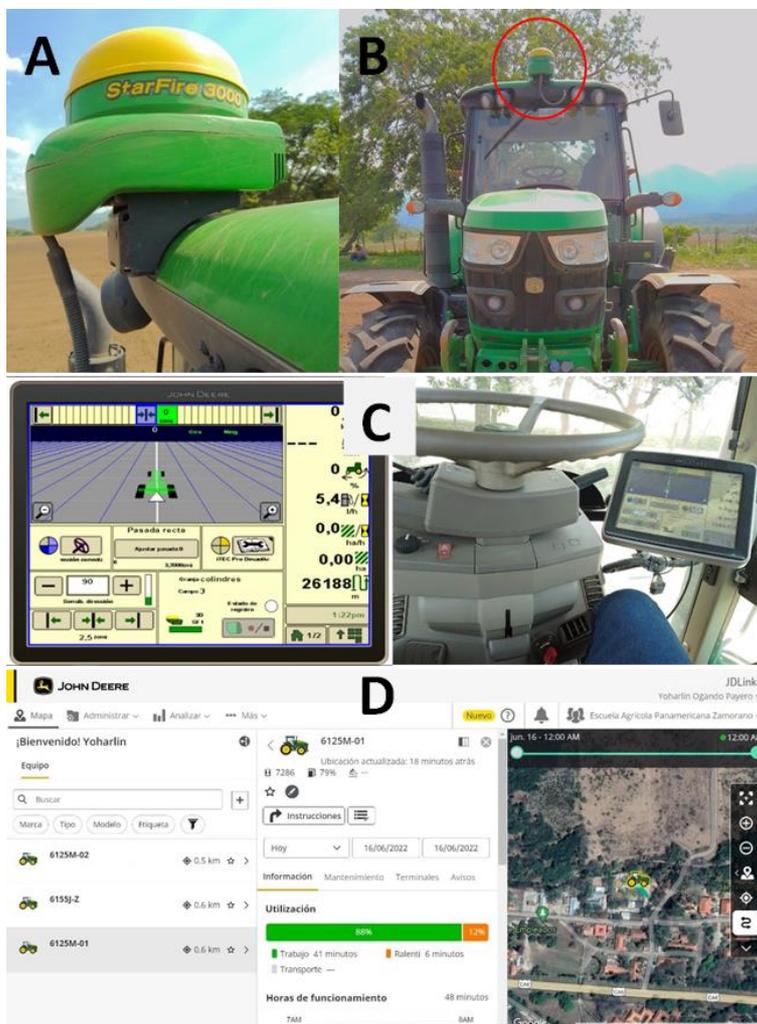
Medición de Tiempo y Delimitación de Unidades

Se utilizó un cronómetro para la medición del tiempo correspondiente a las trayectorias rectas del equipo, así como de las maniobras de giros en las cabeceras de las unidades experimentales, definidas en los parámetros de evaluación del estudio, adicionalmente, se empleó el uso de pequeños banderines los cuales permitieron realizar la delimitación de las unidades experimentales.

Figura 4

Componentes básicos del sistema AutoTrac™ en el tractor John Deere 6125M e interfaz del software

JDlink™ de John Deere.



Nota. Receptor Starfire 3000 (A), ubicación del receptor (B), Monitor GreenStar 2630 (C), Interfaz software JDlink™ (D).

Operación del Equipo

Durante el estudio, las labores de mecanización fueron realizadas por un operador capacitado de la unidad de Maquinaria Agrícola de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

Estado General de Equipos y Revisión Diaria

Los equipos utilizados en el estudio se encontraban en óptimas condiciones. Antes de cada operación se realizó la revisión rutinaria del estado general de los equipos. En el tractor: revisión de niveles de aceite del motor, nivel de refrigerante, nivel de combustible, estado de los filtros de aire,

presión de los neumáticos, se realizó el mantenimiento rutinario de los implementos como el engrasado de las partes engrasables, revisión y realización de mantenimientos correctivos pertinentes.

Descripción de los Tratamientos

Convencional (T1)

Corresponde a la operación manual del tractor sin la intervención de tecnología de guiado automático (Figura 5).

Señal SF1 (T2)

SF1 es una señal gratuita que cuenta con un nivel de precisión o margen de error de +/- 23 cm (Figura 5).

Señal SF2 (T3)

SF2 es una señal de suscripción pagada con un nivel de precisión o margen de error de +/- 5 cm (Figura 5).

Figura 5

Distribución de tratamientos y unidades experimentales en bloques en la Finca San Nicolás, lotes 2, 6 y 7.



Nota. Captura tomada de Google Earth Web.

Variables Evaluadas

Número Teórico de Pasadas (NTP)

Se denomina a la cantidad estimada de pasadas requeridas para mecanizar un área determinada. Es la relación entre el ancho del lote y el ancho del implemento. Fue utilizada para determinar la eficiencia de pasada (EP%).

Se determina mediante la ecuación:

$$NTP = \frac{Al}{Ai} [1]$$

Donde:

NTP= Número Teórico de Pasadas

Al= Ancho del lote (m)

Ai= Ancho del implemento (m)

Número Real de Pasadas (NRP)

Es la cantidad real de pasadas requeridas para mecanizar un área determinada. Se determina mediante la realización de un conteo manual del número de pasadas en campo.

Eficiencia de Pasadas (EP %)

Es la relación entre el Número Real de Pasadas (NRP) y el Número Teórico de Pasadas (NTP) expresado en porcentaje.

Se determina mediante la ecuación:

$$EP = \frac{NRP}{NTP} \times 100 [2]$$

Donde:

EP= Eficiencia de Pasadas expresado en %

NRP= Número Real de Pasadas

NTP= Número Teórico de Pasadas

Tiempo Neto

Es el tiempo requerido para realizar la labor de mecanización sin tomar en cuenta los tiempos muertos. Se determina mediante el uso del cronómetro.

Tiempo Muerto

Es el tiempo que se toma el operador o el equipo para realizar los giros de cabecera. Se determina mediante el uso del cronómetro.

Capacidad Efectiva de Campo (CEC)

Expresa el rendimiento en ha/h, determina el avance en la mecanización tomando en consideración el tiempo neto y el tiempo muerto por unidad de área (ha) en la operación. Para su determinación a partir del tamaño de las unidades experimentales, se tomó el área en hectáreas y se dividió entre la sumatoria del tiempo neto y tiempo muerto expresado en horas.

Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$CEC = \frac{A}{TN+TM} [3]$$

Donde:

CEC= Capacidad Efectiva de Campo expresado en ha/h

A= Área en ha

TN= Tiempo Neto expresado en h

TM= Tiempo muerto expresado en h

Capacidad Teórica de Campo (CTC)

Se define como la relación del producto del ancho de trabajo del implemento y la velocidad del trabajo entre un área determinada. Fue utilizada para determinar la eficiencia de trabajo.

Se determina mediante la ecuación:

$$CTC = \frac{Ai \times V}{(10,000m^2)} [4]$$

Donde:

CTC= Capacidad Teórica de Campo (ha/h)

Ai= Ancho de trabajo del implemento (m)

V= Velocidad de avance del tractor (m/h)

A= Área determinada (10,000 m²)

Eficiencia de Trabajo (ET)

Es la relación entre la Capacidad Efectiva de Campo (CEC) y la Capacidad Teórica de Campo expresado en porcentaje.

Se determina mediante la ecuación:

$$ET = \frac{CEC}{CTC} \times 100 [5]$$

Donde:

ET= Eficiencia de Trabajo expresado en porcentaje (%)

CEC= Capacidad Efectiva de Campo

CTC= Capacidad Teórica de Campo

Programación e Ingreso de Implementos en el Sistema AutoTrac™

El método de guiado seleccionado para la realización de las operaciones fue la pasada recta por el método A+B. La configuración del método de pasada e ingreso del ancho de trabajo de los implementos se realizó conforme a los pasos descritos en el Manual de operación Auto Trac AMS John Deere® (Fernández 2016).

Diseño Experimental

Se evaluaron tres tratamientos, convencional (T1), señal SF1 (T2) y señal SF2 (T3), con tres repeticiones en dos implementos, sembradora de tiro y asperjadora. Se estableció un diseño de bloques completos al azar (BCA). En el tratamiento sin Auto Trac el guiado y las labores fueron

realizadas de manera convencional por un operador y en los tratamientos con Auto Trac señales SF1 y SF2 el guiado y las labores fueron realizadas de manera automatizada.

Análisis Estadístico

Los datos fueron analizados mediante el software estadístico InfoStat, con un análisis de varianza, ANDEVA, una separación de medias por el método de Duncan y un nivel de significancia de 95%.

Resultados y Discusión

Sembradora

Número Real de Pasada (NRP) y Eficiencia de Pasada (EP %)

Los valores de a las variables evaluadas Número Real de Pasada (NRP) y Eficiencia de Pasada (EP %) fueron los mismos en todos los tratamientos (Cuadro 2). Esto se debe a las condiciones regulares del terreno que permitieron establecer pasadas exactas, una correcta calibración de los brazos marcadores y un excelente estado de ambas señales. Estos resultados concuerdan con el estudio realizado por Fernández (2016), quien determinó, utilizando una sembradora integral, que no existe diferencias significativas en cuanto a la eficiencia de pasada entre la conducción convencional y el guiado automático utilizando la señal SF1 en lotes de 0.25 ha. El efecto de los distintos márgenes de errores correspondientes a los tratamientos SF1 (T2) y SF2 (T3) no se reflejó en el Número Real de Pasadas (Cuadro 2), por lo tanto, el efecto de los dos niveles de precisión no fue notable. Esto concuerda con el estudio realizado por Valero et al. (2007), quienes obtuvieron una elevada precisión con errores inferiores al 3% independientemente de la señal de corrección SF1 o SF2.

Cuadro 2

Efecto de los niveles de precisión en el Número Real de Pasada (NRP) y Eficiencia de Pasada (EP%), sembradora MaxEmerge Plus 1750.

Tratamientos	NTP	NRP	EP (%)
Convencional (T1)	28	28	100
SF1 (T2)	28	28	100
SF2 (T3)	28	28	100

Nota. Número Teórico de Pasada (NTP), Número Real de Pasada (NRP), Eficiencia de Pasada (EP%), sin diferencias (sd).

Tiempo Neto (TN), Tiempo Muerto (TM), Capacidad Efectiva de Campo (CEC), Eficiencia de Trabajo (ET) y Consumo de Combustible

Se encontró diferencia significativa ($P \leq 0,05$) en las variables Tiempo Muerto (TM), Capacidad Efectiva de Campo (CEC), Eficiencia de Trabajo (ET) y Consumo de Combustible, siendo estas favorables para los dos tratamientos con tecnología AutoTrac, SF1 (T2) y SF2 (T3), entre los cuales

hubo diferencias significativas (Cuadro 3). En cuanto al tiempo neto (TN), solo se encontró diferencias ($p \leq 0.05$) entre el tratamiento convencional y la señal SF1, Esto se debe a que al tratarse de una actividad que requiere de mucha precisión, la tendencia en el tratamiento Convencional fue aumentar el tiempo en cada trayecto, generando pequeñas ondulaciones entre pasadas que, aunque no afectó el número de pasadas, con un efecto acumulativo aumentó el tiempo neto.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Flores y Ayala (2017), quienes determinaron que con el sistema AutoTrac™ se reduce el tiempo neto en comparación a la conducción convencional debido a la reducción de solapes y giros innecesarios a través del autoguiado. La similitud entre el tratamiento convencional y el tratamiento SF2 pudo deberse a la sensibilidad de esta última para hacer correcciones lo que pudo aumentar el tiempo en los trayectos largos, este comportamiento fue observado por Gonzáles (2021), quien destaca que la Señal SF2 necesita más tiempo para hacer las correcciones. En cuanto al tiempo muerto, debido a que con los dos tratamientos correspondientes a la tecnología AutoTrac se cuenta con un mapa digital de campo con líneas o trayectorias preestablecidas, se facilitó el ingreso a cada pasada con mucha precisión, no siendo así con el tratamiento de manejo convencional, donde se demanda de mucha destreza por parte del operador para ingresar al trayecto correspondiente y accionar la válvula de mando a distancia para descender el implemento y nuevamente para bajar el brazo marcador de la sembradora lo que aumenta el tiempo muerto en la cabecera del lote.

Estos resultados difieren a los obtenidos por Flores y Ayala (2017), quienes observaron que al operador le tomaba más tiempo activar el autoguiado en la entrada de la pasada y se le hacía más rápido el uso de brazos marcadores como guía visual de entrada. Esta diferencia puede deberse a la experiencia y destreza del operador, quién en los tiempos muertos correspondiente a los giros de cabecera juega un papel importante, por tanto, operadores con mayor destreza pueden ser más eficientes con la utilización de la tecnología AutoTrac™. Valero et al. (2007) destacan que la utilidad de la aplicación de estas nuevas tecnologías depende de la pericia del operador. Estas dos variables

anteriormente mencionadas, tiempo neto y tiempo muerto, guardan una relación de proporcionalidad inversa con las variables capacidad efectiva de campo (CEC) y eficiencia de trabajo (ET%) y de proporcionalidad directa con la variable Consumo de Combustible, lo que explica la menor eficiencia de trabajo (ET) y mayor Consumo de Combustible (Cuadro 3) obtenidos con el tratamiento Convencional, coincidiendo con una de las ventajas del AutoTrac anunciadas por el fabricante que es la reducción del consumo de combustible. En cuanto a la capacidad efectiva de campo (CEC) y eficiencia de trabajo (ET%) se encontró que el tratamiento convencional obtuvo los menores rendimientos.

Esto difiere a los resultados de Fernández (2016), quien obtuvo mejores resultados con el método de conducción convencional en unidades de 0.25 ha; sin embargo, Fernández señala que sus unidades experimentales fueron muy reducidas como para poder expresar el potencial del sistema AutoTrac™.

Cuadro 3

Efecto de los niveles de precisión en el Tiempo Neto (TN), Tiempo Muerto (TM), Capacidad Efectiva de Campo, Eficiencia de Trabajo (ET) y Consumo de Combustible, sembradora MaxEmerge Plus 1750

Tratamientos	CTC (ha/h)	TN (Min)	TM (Min)	CEC (ha/h)	ET (%)	Combustible (L)
Convencional (T1)	3.2	37.13	30.35 ^A	1.78 ^B	55.63 ^B	12.25 ^A
SF1 (T2)	3.2	35.3	20.34 ^B	2.16 ^A	67.63 ^A	9.93 ^B
SF2 (T3)	3.2	36.58	21.86 ^B	2.06 ^A	64.40 ^A	10.67 ^B
C.V.		2.43	13.8	6.55	6.55	6.21
p		0.1031	0.0213	0.0279	0.0279	0.0228
R ²		0.53	0.72	0.7	0.7	0.72

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). Capacidad Teórica de Campo (CTC), Tiempo Neto (TN), Tiempo Muerto (TM), Capacidad Efectiva de Campo (CEC), Eficiencia de Trabajo (ET%) y Consumo de Combustible.

Asperjadora

Número Real de Pasada (NRP) y Eficiencia de Pasada (EP %)

Los valores de Número Real de Pasada (NRP) y Eficiencia de Pasada (EP %) en la asperjadora Columbia Cross AM-14 Jacto fueron iguales en todos los tratamientos (Cuadro 4). Esto se debe las condiciones regulares del terreno y buen estado de la señal durante la operación. El amplio ancho de

trabajo de este implemento permitió recorrer las unidades con pocas pasadas y a medida que disminuye el número de pasadas es menos probable observar diferencias entre diferentes señales o niveles de precisión y por consiguiente en la eficiencia de esta. Estos resultados concuerdan a los obtenidos por Fernández (2016), quien señala que este implemento requiere de mayores anchos en los lotes para poder observar alguna diferencia significativa.

Cuadro 4

Efecto de los niveles de precisión en el Número Real de Pasada (NRP) y Eficiencia de Pasada (EP %), asperjadora Columbia Cross AM-14 Jacto.

Tratamientos	NTP	NRP	EP
Convencional (T1)	6	6	100
SF1 (T2)	6	6	100
SF2 (T3)	6	6	100

Nota. Número Teórico de Pasada (NTP), Número Real de Pasada (NRP), Eficiencia de Pasada (EP%), sin diferencias (sd).

Tiempo Neto (TN), Tiempo Muerto (TM), Capacidad Efectiva de Campo (CEC), Eficiencia de Trabajo (ET) y Consumo de Combustible.

No se encontró diferencia significativa ($p > 0.05$) entre los tratamientos para la variable Tiempo Neto (TN) (Cuadro 5). Esto se debe a que, bajo las condiciones ideales que presentó la superficie del suelo donde se realizó este estudio sumado a una baja y constante velocidad de avance (6.2km/h), no existió diferencias entre los tratamientos. Estos resultados difieren a los obtenidos por Flores y Ayala (2017), quien obtuvo diferencias significativas favorables para la conducción con tecnología de autoguiado. Esta diferencia pudo deberse al nivel de destreza de los operadores, quienes juegan un papel importante en la conducción convencional. En cuanto a la variable Tiempo Muerto (TM), se encontró diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre el tratamiento convencional y los dos tratamientos con tecnología AutoTrac SF1 y SF2, sin que se presentara diferencia entre estos dos últimos (Cuadro 5). Esto se debe a que al tratarse de un implemento con un amplio ancho de trabajo al operador le tomaba más tiempo realizar los giros de cabecera, en los que tenía que voltear a ver en la pantalla la línea que le indica la entrada al siguiente trayecto o pasada, no siendo así en el tratamiento

convencional, donde el operador de manera visual determina el punto de entrada. En función de la destreza del operador, pueden existir errores al ubicarse, por lo que sería recomendable incluir medidas de traslape. Esto concuerda con lo estudiado por Flores y Ayala (2017), quienes señalan un incremento en un 33% en el tiempo requerido para realizar los giros de cabecera utilizando tecnología de autoguiado con la asperjadora y difiere a los resultados observados por Fernández (2016), quien señala que los giros de cabecera, con el método convencional de conducción, tuvieron una mayor demanda de tiempo. Esta diferencia se debe a que en su estudio el operador era asistido por una persona o banderillero quien debía desplazarse hacia el punto de entrada del equipo generando un mayor uso de tiempo a diferencia de este estudio donde el operador de manera visual determinaba el punto de entrada a la siguiente pasada o trayectoria. Estas dos variables anteriormente mencionadas guardan una relación de proporcionalidad inversa con la variable capacidad efectiva de campo (CEC) y de proporcionalidad directa con la variable Consumo de Combustible, por lo que la menor eficiencia de trabajo (ET) y mayor Consumo de Combustible fueron obtenidos ambos tratamientos correspondientes a la tecnología de autoguiado, Señal SF1 y Señal SF2 (Cuadro 5). Si bien es cierto los resultados fueron desfavorables para los tratamientos Señal SF1 y Señal SF2, sería conveniente realizar una evaluación de la calidad de las labores.

Cuadro 5

Efecto de los niveles de precisión en el Tiempo Neto (TN), Tiempo Muerto (TM), Capacidad Efectiva de Campo, Eficiencia de Trabajo (ET) y Consumo de Combustible, asperjadora Columbia Cross AM-14 Jacto.

Tratamientos	CTC (ha/h)	TN (Min)	TM (Min)	CEC (ha/h)	ET (%)	Combustible (L)
Convencional (T1)	8.68	9.16	1.90 ^B	7.20 ^A	82.90 ^A	1.45 ^B
SF1 (T2)	8.68	9.21	2.36 ^A	6.89 ^B	79.36 ^B	1.51 ^A
SF2 (T3)	8.68	9.18	2.33 ^A	6.91 ^B	79.66 ^B	1.50 ^A
C.V.		0.31	1.82	0.53	0.53	0.53
p		0.1898	<0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
R ²		0.43	0.98	0.96	0.96	0.95

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). Capacidad Teórica de Campo (CTC), Tiempo Neto (TN),

Tiempo Muerto (TM), Capacidad Efectiva de Campo (CEC), Eficiencia de Trabajo (ET%) y Consumo de Combustible.

Conclusiones

La eficiencia de pasadas fue indiferente al nivel de precisión y método de conducción en labores de mecanización utilizando los implementos sembradora y asperjadora.

El tiempo neto, tiempo muerto, capacidad efectiva de trabajo, eficiencia de trabajo y consumo de combustible es indiferente a los niveles de precisión SF1 y SF2 en sembradora y asperjadora.

La utilización del sistema AutoTrac™, independientemente de las señales SF1 y SF2, logró reducir el tiempo neto, tiempo muerto y el consumo de combustible, además logró aumentar la capacidad efectiva de trabajo, así como la eficiencia de trabajo en labores de mecanización con la sembradora, en comparación con la operación convencional. En asperjadora se logró los mejores resultados con el método de conducción convencional.

Recomendaciones

Repetir la investigación utilizando los otros métodos de pasadas que se encuentran en las opciones de método de guiado, como son: pasada curva, pasada en círculo y pasada en contorno.

Realizar una investigación considerando la calidad de las labores, como distancia entre hileras de siembra, traslape entre pasadas y un análisis de costos en función de las señales SF1 y SF2.

Realizar una evaluación del sistema AMS AutoTrac™ de John Deere® mediante el procedimiento estandarizado para evaluación de sistemas de posicionamiento y guiado en agricultura, contemplado en la norma ISO 12188-2.

Referencias

- Araguz D, Valero C. 2012. Sistemas de asistencia a la conducción y de autoguiado. España: Universidad Politécnica de Madrid; [consultado el 11 de jun. de 2022]. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_Vrural/Vrural_2012_351_68_71.pdf.
- Barreiro P, Diezma B, Ruiz L, Valero C. 2007. Prueba en campo con el sistema de guiado integrado AutoTrac de John Deere. *Vida Rural*; [consultado el 14 de jun. de 2022]. (257):8–15. https://www.researchgate.net/publication/50230663_Prueba_en_campo_con_el_sistema_de_guiado_integrado_AutoTrac_de_John_Deere.
- Fernández O. 2016. Evaluación e implementación del sistema AMS Auto Trac John Deere® [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano; [consultado el 11 de jun. de 2022]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/2bba6003-fa59-4379-8b66-d7fb9c91865a/content>.
- Flores J, Ayala D. 2017. Evaluación de la eficiencia del sistema AMS-AutoTrac de John Deere® [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano; [consultado el 11 de jun. de 2022]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/3a3c642f-22e8-49d0-bf43-aa0009580431/content>.
- García E, Flego F. 2008. Agricultura de Precisión. Argentina: Universidad de Palermo; [consultado el 11 de jun. de 2022]. 18 p. <https://www.maquinac.com/wp-content/uploads/2015/07/Agricultura-de-Precision-Universidad-de-Palermo.pdf>.
- Garrido M. 2016. Novedades de John Deere en recolección y empacado de heno y forraje. *Vida Rural*; [consultado el 11 de jun. de 2022]. 241:2–4. https://oa.upm.es/44966/1/INVE_MEM_2016_244036.pdf.
- González M. 2021. Evaluación comparativa de las señales SF1 y SF2 del sistema AutoTrac™ de John Deere® en lotes de tamaño reducido [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano; [consultado el 11 de jun. de 2022]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/ffae155e-bd41-4d50-83b8-1d031347e189/content>.
- John Deere. 2018. Agricultura de precisión. Argentina: [sin editorial]; [consultado el 11 de jun. de 2022]. <https://www.deere.com/latin-america/es/agricultura-de-precisi%C3%B3n/>.
- John Deere. 2020. Piloto Automático - AutoTrac Integrado. [sin lugar]: John Deere; [consultado el 13 de jun. de 2022]. <https://www.deere.com/latin-america/es/agricultura-de-precisi%C3%B3n/control-y-guiado-de-la-maquinaria/piloto-automatico-autotracs-integrado/>.
- John Deere. 2022. Control y Guiado de la Maquinaria. México: [sin editorial]; [consultado el 21 de jun. de 2022]. <https://www.deere.com.mx/es/agricultura-de-precisi%C3%B3n/sistemas-de-guiado/>.
- Keicher R, Seufert H. 2000. Automatic guidance for agricultural vehicles in Europe. *Computers and Electronics in Agriculture*. 25(1-2):169–194. doi:10.1016/S0168-1699(99)00062-9.
- Miralles DJ. 2013. Estrategias para aumentar la producción de alimentos. *Ciencia Hoy*; [consultado el 11 de jun. de 2022]. 23(134):29–33. spa. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/4164>.
- Payne C. 2005. Technologies for efficient farming. En: *Technologies for efficient farming. Proceedings: Electrical Insulation and Electrical Manufacturing Conference; 22/10/2005 - 25/10/2005; Indianapolis, IN. United State: IEEE.* p. 435–441.

- Santillán O, Rentería M. 2018. Agricultura de Precisión. México: Oficina de Información Científica y Tecnológica para el Congreso de la Unión; [consultado el 11 de jun. de 2022]. Foro Consultivo Científico y Tecnológico. https://foroconsultivo.org.mx/INCyTU/documentos/Completa/INCYTU_18-015.pdf.
- Valero C, Barreiro P, Diezma B, Ruiz L. 2007. Prueba en campo con el sistema de guiado integrado AutoTrac de John Deere. *Vida Rural*; [consultado el 22 de jun. de 2022]. (257 Ex):8–15. spa. <https://oa.upm.es/id/eprint/6240>.
- Zarco-Tejeda P, Hubbard N, Loudjani P. 2014. Precision agriculture: an opportunity for EU farmers: potential support with the CAP 2014-2020. Brussels: Joint Research Centre; [consultado el 22 de jun. de 2022]. 56 p. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/note/join/2014/529049/IPOL-AGRI_NT\(2014\)529049_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/note/join/2014/529049/IPOL-AGRI_NT(2014)529049_EN.pdf).