



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA**



Evaluación de Eficiencia del Piloto Automático en Siembra de Precisión

POR:

ESLI MAURICIO VAZQUEZ ROBLERO

TESIS

Presentada Como Requisito Parcial Para
Obtener el Título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Noviembre, 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA

Evaluación de Eficiencia del Piloto Automático en Siembra de Precisión

POR:

ESLI MAURICIO VAZQUEZ ROBLERO

TESIS

Que Somete a Consideración del H. Jurado Examinador Como Requisito Parcial para
Obtener el Título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Aprobado por el comité de tesis

Asesor Principal

Ing. Rosendo González Garza

Sinodal

Dr. Santos Gabriel Campos Magaña

Sinodal

MC. Gilbert Fresh López López

Coordinador de la División de Ingeniería

Dr. Luís Samaniego Moreno



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, noviembre 2018

AGRADECIMIENTOS

A mi **Dios** por darme la vida, cuidarme y guiarme siempre, por permitir llegar a esta etapa de mi carrera profesional por siempre darme fuerzas y nunca abandonarme en los momentos difíciles, por esto y mucho más, gracias Dios mío.

A mi Familia, mi papá **Difilio Vázquez Gómez** y mi mamá **Bertha V. Roblero Pérez**, por su amor, sus consejos, su apoyo, su comprensión, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mis hermanos **Gerardo, Nicolasa, Felipa, Mercedes, Cristina, Argelia, Liliana y Jaime**, por sus palabras de aliento, por confiar en mí, su apoyo brindado, su motivación, inspiración y felicidad.

A mi **Alma Mater**, la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de formarme profesionalmente y permitirme cumplir una meta más en mi vida.

Al **Dr. Santos Gabriel Campos Magaña** por darme la oportunidad de participar en su proyecto como tesista, con una excelente dirección y asesoría técnica. Por su apoyo, confianza y conocimiento brindado, además de su tiempo en este trabajo de tesis.

Al **Ing. Rosendo González Garza**, por su asesoramiento, compartir conocimientos y tiempo en este trabajo de tesis así como

A M.C. Héctor Uriel Serna Fernández por sus críticas constructivas su gran apoyo brindado y por compartir sus conocimientos en el transcurso de mi formación académica.

A M.C. Adriana Lucia Patricia Dorantes González por su amistad, confianza y apoyo brindado. Por ser parte de esta formación académica.

A M.C. Gilbert Fresh López López e Ing. Edgar O. Padrón Cisneros, por acompañarme y ser parte de esta Evaluación.

A mis Maestros: M.C. Juan Antonio Guerrero Hernández, Dr. Martin Cadena Zapata, M.C. Blanca E. de la Peña Casas, Ing. Héctor E. González Ramírez, al M.C. Genaro Demuner Molina. Por ser muy buenos maestros, buenos amigos por transmitir sus conocimientos además de brindarme su amistad.

A mi novia por su apoyo, sus palabras de aliento, motivación e impulsarme a ser cada día mejor.

A todos mis compañeros de generación, Ingeniero Mecánico Agrícola, generación CXXIII gracias por su amistad y su apoyo en el transcurso de la carrera.

DEDICATORIA

Este trabajo de tesis se la dedico a mis Padres el Sr. **Difilio Vazquez** “seguimos avanzando” y la Sra. **Bertha Roblero** “humilde pero especial”, por ellos soy quien soy. A quienes la ilusión de su vida ha sido convertirme en una persona de provecho. Porque sólo la superación de mis ideales me han permitido comprender cada día más la difícil posición de ser madre y padre. Mis conceptos, mis valores morales y mi superación se la debo a ustedes. Quiero que sientan que el objetivo logrado también es de ustedes, gracias eternamente por darme la herencia más valiosa que pudiera recibir ruto del inmenso apoyo y confianza que en mí se depositó para que los esfuerzos y sacrificios hechos por mí no fueran en vano.

Proverbios 6:20 guarda, hijo mío, el mandamiento de tu padre, y no dejes la enseñanza de tu madre.

Queridos Papá y Mamá: Ustedes siempre han estado allí y me han ayudado en todo momento de mi vida, en lo bueno, lo malo y lo feo. Sería interminable escribir cuán agradecido estoy por ser su hijo. Sé que no soy perfecto, que no siempre hago lo que se supone, cuando se supone, y no tengo el mejor tono. Les agradezco por amarme aún en los momentos difíciles. Aunque no lo demuestre mucho ustedes significan mucho para mí, espero que algún día se sientan orgullosos de mí, porque eso sería lo máximo. Aun cuando me encuentre en otro lugar sé perfectamente que me querrán igual. Gracias por impulsarme y hacer de mí lo que soy. Los amo demasiado

CONTENIDO

INDICE DE FIGURAS	II
ÍNDICE DE CUADROS	IV
RESUMEN	V
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. General	3
2.2. Específicos.....	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
3.1. Antecedentes	4
3.2. Agricultura de Precisión (AP)	5
3.3. Agricultura de precisión a nivel mundial y nacional.....	10
3.4. Definición de sistemas inteligentes	10
3.5. Siembra de precisión	13
IV. MATERIALES, EQUIPOS Y MÉTODOS	15
4.1. Evaluación en laboratorio.....	15
4.1.1. Metodología en laboratorio	16
4.2. Evaluación de campo con el piloto automático	17
4.2.1. Metodología en campo	22
4.2.2. Eficiencia del piloto automático	29
V. RESULTADOS	30
5.1. Resultados en laboratorio	30
5.2. Evaluación del sistema de piloto automático en campo.....	33
5.2.1. Eficiencia del piloto automático comparado con el sistema tradicional ..	35
5.2.2. Curvas de consumo de combustible.....	36
5.3. Problemas observados en el transcurso de la siembra:.....	38
VI. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES	40
VII. REFERENCIAS.....	41
VIII. ANEXOS	44
8.1. Anexo A. Pasos para llevar a cabo las pruebas del consumo de combustible. 44	
8.2. Anexo B. Instalación y conexión del piloto automático.....	51

INDICE DE FIGURAS

Figura 4. 1 Taller de máquinas y herramientas	15
Figura 4. 2 Prototipo de evaluación.....	16
Figura 4. 3 Ubicación rancho Guadalupe, Huachichil	17
Figura 4. 4 Relleno de fertilizante.....	18
Figura 4. 5 Tractor John Deere 6403	18
Figura 4.6 Pantalla John Deere 2630.....	19
Figura 4. 7 Ventana GS3.	20
Figura 4. 8 Antena receptora GPS.....	20
Figura 4.10. a) Kit Universal Auto Trac, b) Arneses de conexión.....	21
Figura 4. 11 Sembradora Neumática 1030.	22
Figura 4. 12 Vacuómetro.....	22
Figura 4.13 Ajuste de discos abre surcos y prueba con sembradora.....	23
Figura 4. 14 Ventana de calibración del TCM	24
Figura 4.15 "A" StarFire 6000	24
Figura 4. 16 Abrir configuración	25
Figura 4. 17 Posición del tractor.....	25
Figura 4. 18 Invertir vehículo.....	26
Figura 4. 19 Oprimir "aceptar"	26
Figura 4. 20 Concluir calibración.....	26
Figura 4. 21 Posición del tractor.....	27
Figura 4.22 Secuencia del mapeo localizado.....	27
Figura 4. 23 Marcar límites.....	28
Figura 4.24 Polígono generado.....	28
Figura 5. 1 Gráfica de línea ajustada del porcentaje de llenado de celdas.	32
Figura 5. 2 Secciones trabajadas en la parcela 1	33
Figura 5. 3 Secciones trabajadas en la parcela 2	34

Figura 5. 4 Dimensiones de la parcela 3.....	36
Figura 5. 5 Ejemplo de gráfica de consumo de combustible para una superficie de 0.1148 hectáreas	37
Figura 5. 6 gráfica de consumo de combustible 2 para una superficie de 0.0958 hectáreas.	37

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 5. 1 Pruebas de rendimiento del dosificador	31
Cuadro 5. 3 Análisis de varianza.....	31
Cuadro 5.4 Contraste de medias	32
Cuadro 5. 5 Resultados de evaluación de piloto automático	34
Cuadro 5. 6 Comparación de la parcela testigo vs parcela de evaluación.....	35
Cuadro 5. 8 Pruebas del consumo de combustible.....	38

RESUMEN

Se realizó una evaluación del rendimiento con el piloto automático, a éste paquete que lo integro el Auto Trac Universal (ATU) John Deere, GPS Starfire 6000 en conjunto con una sembradora neumática para labranza de conservación de cuatro surcos, modelo 1030. La evaluación se llevó a cabo en condiciones de laboratorio en el departamento de Maquinaria Agrícola de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) y en condiciones de campo con un productor del rancho Guadalupe, en la comunidad el Huachichil, Municipio de Arteaga, Coahuila. Se observó que en la evaluación del dosificador de vacío existe un por ciento de llenado de celdas mayor al 100% en el rango de velocidades de 250-1000 semillas por minuto, requiriéndose un ajuste en los niveles de vacío diferentes a los señalados en el manual del operador. Durante la siembra se detectó que la sembradora requiere ajustes en su diseño para evitar el taponamiento frecuente de la salida tanto de fertilizante como de semilla. En lo referente a la evaluación del piloto automático se detectó que se requiere de una buena preparación y nivelación de terreno así como agregarle peso en el eje frontal del tractor 6403 con cableado para sistema de piloto automático para mantener un buen control automático de la dirección por el piloto automático, logrando con esto velocidades de siembra de hasta de $8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ y capacidad de hasta $0.82 \text{ h} \cdot \text{ha}^{-1}$. En entrevistas con los operadores comentaron que su operación es amigable una vez realizada correctamente las calibraciones correspondientes y recomendaron su uso.

Palabras claves: Labranza, consumo de combustible, sembradora de conservación. calibraciones.

I. INTRODUCCIÓN

La creciente necesidad de producir alimentos de calidad de una manera sostenible y respetuosa con el entorno pone al sector agroalimentario en el punto de mira de la sociedad. Hasta hoy aun se ha escuchado la opinión de las personas agricultores, productores y operadores donde dicen que la agricultura debe seguir desarrollándose de manera tradicional, sin pensar en las consecuencias que les trae aplicarlas, mientras que el resto de actividades experimenta una continua evolución.

La aplicación de la Agricultura de Precisión (AP) se trata de una actividad cíclica de retroalimentación, en donde la información acumulada en años precedentes acerca de la variabilidad del medio (rendimiento de los cultivos, contenido de nutrientes en el suelo, disponibilidades de agua o topografía) sirve de base para el establecimiento de modelos de actuación diferencial en la parcela, ligados básicamente con la aplicación de insumos (fertilizantes, semillas y fitosanitarios). Esta aplicación modular genera a su vez nuevos resultados que pasan a incrementar el volumen de información disponible. La AP es un conjunto mucho más amplio de técnicas, sistemas y soluciones que, para generalizarse, tiene que comprender en la mentalidad de los agricultores y que acabarán motivándose, lentamente, claro, cuando lo haga así mismo el sentido empresarial en la explotación agropecuaria, la necesidad de la reducción de costos y un mayor sentido de la responsabilidad y respeto medioambiental (Valero, *et al.*, 2010).

Las características del suelo y del cultivo varían en el espacio (distancia y profundidad) y en el tiempo. La AP es un conjunto de técnicas orientado a optimizar el uso de los insumos agrícolas (semillas, agroquímicos y correctivos) en función de la cuantificación de la variabilidad espacial y temporal de la producción agrícola. Esta optimización se logra con la distribución de la cantidad correcta de esos insumos, dependiendo del potencial y de la necesidad de cada punto de las áreas de manejo. La AP no consiste solamente en medir la variabilidad existente en el área, sino también en la adopción de prácticas administrativas que se realizan en función de esa variabilidad. Es una optimización del uso de los insumos porque deposita en el suelo la cantidad de semilla que cada punto soporta, la cantidad de nutrientes requerida, y

además el control de malezas, plagas y enfermedades se hace solamente en los puntos que demanden tal control. (Bongiovanni *et al.*, 2006).

La oferta de maquinaria agrícola ha adaptado sus modelos a los nuevos requerimientos productivos presentando máquinas que han incorporado tecnología de última generación, tales como: las sembradoras para siembra directa con sistema de dosificación neumática y calidad de equipamiento para asegurar mayor precisión en la entrega de semilla y fertilizante; las cosechadoras con mayor capacidad trabajo, eficiencia de cosecha y tamaño vinculadas al aumento de escala de las explotaciones agrícolas y cosechas de mayor volumen; a las que se suman los tractores, como parte imprescindible de la siembra y la cosecha, cuyos nuevos modelos han incorporado el sistema hidráulico y la doble tracción con neumáticos de grandes dimensiones, debido a las condiciones de la siembra directa y al control sobre la compactación del suelo. En algunos casos, el tractor puede tener piloto automático. En el mercado existe, además, equipamiento de alta complejidad como: monitores de siembra, de rendimiento, banderilleros satelitales o GPS. La mayor inversión registrada, por otro lado, en equipos de riego, como el de pivote central, se debe al alto costo de la tierra en relación a este equipamiento, por lo que se otorga preferencia al incremento de la productividad por unidad de superficie que al crecimiento por ampliación de la superficie. (INTA, 2004).

Cuando el agricultor debe hacer frente a un sector competitivo, con demandas cada vez más exigentes, precios cada vez más ajustados y exigencia de alimentos de mayor calidad, la aplicación de nuevas tecnologías como el piloto automático, es una obligación y no una necesidad. Esta tecnología es muy utilizada en la siembra ya que, el beneficio que otorga es claro y se contabiliza con facilidad.

El trabajo que a continuación se muestra se llevó a cabo en el Rancho Guadalupe, ubicado en Huachichil, Arteaga, Coahuila y forma parte del proyecto de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) junto con la John Deere. Que tiene como objetivo analizar desde el punto de vista práctico la eficiencia de un piloto automático en la AP tomando en cuenta la siembra de maíz con una sembradora neumática, con la finalidad de intervenir en el complejo proceso de adaptar los últimos avances tecnológicos a la agricultura de nuestras condiciones.

II. OBJETIVOS

2.1. General

- Determinar la eficiencia del Piloto Automático en la labor de siembra

2.2. Específicos

- Determinar la eficiencia del Piloto Automático en términos de superficie y tiempo de labor por hectárea.
- Analizar la dosificación de precisión bajo condiciones de laboratorio.
- Conocer la calidad de siembra de una sembradora de precisión bajo condiciones de campo.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Antecedentes

El uso del piloto automático en estos últimos años evolucionó en función del crecimiento tecnológico de la maquinaria, sus diferentes componentes, en las dimensiones de los mismos, en la electrónica, como así también en la precisión de la señal satelital. El crecimiento ha sido exponencial, hasta el año 1996 se utilizaban los marcadores en la siembra, desde el año 1997 se incorporó al banderillero satelital como guía, principalmente en pulverización. A partir del año 2000 la incorporación de pilotos automáticos a diferentes implementos comenzó a demostrar el potencial de esta tecnología. En esta línea, desde el año 2003 fue evolucionando la precisión tanto en la guía del tractor como la del implemento al mismo tiempo. Debido a estos avances, actualmente se han incorporado otras tecnologías que hacen más eficientes algunos procesos como por ejemplo el corte de la siembra cuerpo a cuerpo, la guía del implemento en la misma línea del piloto automático del tractor, el control automático del tractor y la tolva por parte del operario en la cosechadora, etc. (Villarroel, *et. al.*, 2014).

Aquí podemos destacar que la evolución experimentada por los distintos sistemas de guías en la AP, ha sido es y será muy importante, en ella podemos recalcar que una de las tecnologías que está haciendo posible dicha evolución de manera considerable es la señal satelital. Lograr hoy en día una precisión milimétrica hace que se puedan realizar muchas labores en el campo que antes no se podían ni siquiera imaginar, un ejemplo de esto puede ser el corte surco a surco para la sembradora, lo que permite que esta tecnología funcione de forma correcta. Además de los componentes de corte en cada una de las bajadas de siembra, se necesita una gran precisión de la señal para disminuir el error en el corrimiento y saber la posición exacta de la sembradora en el lote.

3.2. Agricultura de Precisión (AP)

La AP es un sistema empleado para analizar y controlar la variación espacio-temporal del terreno y el cultivo. La variación espacial comprende las diferencias en fertilidad de distintas secciones del terreno y las que se dan en el crecimiento de las plantas cultivadas. La variación temporal engloba las diferencias observadas en la producción de un mismo terreno entre una temporada y otra. La AP maneja las variables y administra eficientemente los insumos (por ejemplo agua o fertilizantes). Logra una mayor sostenibilidad al minimizar tanto los recursos invertidos, como el impacto ambiental y los riesgos agroalimentarios, y al mismo tiempo maximiza la producción. Además, permite reducir hasta 90% el uso de insumos agrícolas que son liberados al medio ambiente (como los pesticidas). Su uso depende de las tecnologías de la información, en donde la comunicación entre dispositivos es una de las herramientas más importantes. (Ocampo, 2018)

Diferencias entre la agricultura de precisión y la convencional

La agricultura convencional considera que un terreno es homogéneo y aplica los insumos con base en valores promedio a toda la superficie de siembra; esto incrementa los costos de inversión y el impacto ambiental (como la contaminación del subsuelo). En contraste, en la AP se aplican distintas cantidades de insumos y se valoran las necesidades particulares de cada sección del cultivo y su respuesta en tiempo real.

Etapas de la agricultura de precisión

Se requieren tres etapas: 1. La recolección de datos. Se lleva a cabo con equipos especializados como satélites o sensores remotos. 2. El análisis de los datos. Un experto analiza los datos y emite sugerencias para manejar adecuadamente la variación espacio-temporal detectada. 3. La implementación. El productor cultiva el terreno según las recomendaciones.

Impacto económico de la agricultura de precisión

Toda inversión económica tiene riesgos de incertidumbre e irreversibilidad. En la agricultura, la incertidumbre puede emanar de los riesgos de producción, por ejemplo heladas, plagas, o la devaluación del producto (por fluctuaciones de los precios en el mercado); mientras que la irreversibilidad se refiere a los gastos irre recuperables como la aplicación de fertilizante. De acuerdo con modelos teóricos, la inversión en AP produce mayores ganancias comparada con la agricultura convencional al reducir los gastos asociados a la irrigación, control de plagas y fertilización. La rentabilidad de éste sistema agrícola depende principalmente de los grados de variación del suelo y la producción. (Ocampo, 2018).

Según Reynolds (2014), la creciente caída de la rentabilidad de la producción de granos básicos es una característica que describe los sistemas productivos de nuestro país, donde la preparación de los suelos destaca como la actividad que consume más energía o combustible y por lo tanto, la que representa los mayores costos. El uso excesivo de la maquinaria agrícola es un indicador de la ausencia de tecnología y conocimiento, representada por la poca información en el establecimiento de los sitios, y por tanto, erróneas decisiones en su manejo.

La AP en el reconocimiento de la variabilidad espacial y temporal del clima, los suelos y los cultivos, y consecuentemente, de la importancia de proporcionar un manejo agronómico específico que tenga en cuenta esas diferencias. La agricultura de precisión, conocida también como agricultura específica por sitio, usa tecnologías de información espacial, tales como los sistemas de posicionamiento global (GPS) y sistemas de información geográfica (SIG), para mejorar las decisiones agronómicas de diferentes cultivos. La AP integra diversas tecnologías para optimizar la productividad de un cultivo, al mismo tiempo que minimiza su impacto ambiental. Esta disciplina reconoce la variabilidad espacial inherente que está asociada a cada plantación o lote destinado a la producción agrícola. Una vez que se reconoce, localiza, cuantifica y registra la variabilidad espacial y temporal de cada unidad agrícola, es posible proporcionar un manejo agronómico diferenciado en cada sitio específico (Lisarazo, *et al.*, 2011).

De acuerdo con Medina, *et al.* (2010), la agricultura de precisión es el término utilizado para describir la meta del aumento de la eficiencia en la administración de la agricultura. Pero no es simplemente la habilidad de aplicar distintos tratamientos a escala local, sino que se deben de tener en consideración los conocimientos suficientes para entender todos los procesos relacionados, de modo que puedan interpretar los resultados obtenidos para lograr una meta determinada.

La (AP) es un concepto agronómico de gestión de parcelas agrícolas, basado en la existencia de variabilidad en campo. Requiere el uso de las tecnologías de Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), sensores, satélites e imágenes aéreas junto con Sistemas de Información Geográfica (SIG) para estimar, evaluar y entender dichas variaciones. La información recolectada puede ser usada para evaluar con mayor precisión la densidad óptima de siembra, estimar fertilizantes y otras entradas necesarias, y predecir con más exactitud la producción de los cultivos, (Gil, 2010).

Esta filosofía propone atender en forma diferenciada los factores de producción de acuerdo a las características específicas de cada sitio, con el fin de maximizar la eficiencia en el uso de los recursos, y minimizar los efectos de contaminación, usando como unidad de manejo el área más pequeña para la cual se cuenta con información de respaldo. Metodológicamente implica la incorporación de las herramientas tecnológicas disponibles en la actualidad, especialmente aquellas que contemplan la referenciación geográfica de sitios vía satélite, unidos a bases de datos de información de esos sitios concretos, como sustento sobre la cual se apoyan las decisiones para el manejo. El proceso necesita la recolección de información en cada sitio, su ordenamiento y análisis y, finalmente, la diagramación de las estrategias para atender las limitantes a nivel de sitio (Lago, *et al.*, 2011).

El concepto sobre el que se basa la AP es aplicar la cantidad correcta de insumos, en el momento adecuado y en el lugar exacto. Las tecnologías de AP permiten satisfacer una de las exigencias de la agricultura moderna: el manejo óptimo de grandes extensiones. ¿Qué le puede brindar esta tecnología al productor? a) reducción de costos, b) mayores rendimientos con el mismo nivel de insumos y c) mayor calidad en las cosechas debido a una mejor combinación de los requerimientos y de los insumos aplicados. Además de lo anterior García y Flego (2008) hacen

referencia a las barreras y beneficios que se presentan en la AP, que a continuación se describen:

Barreras de la AP

- La AP no está disponible para todos los agricultores, es más probable que se limite a los que tengan una escala grande de producción.
- El costo de los equipos es percibido por los agricultores como alto, sin que analicen sus ventajas.
- Problemas de compatibilidad con la maquinaria existente.
- Se requieren ciertas habilidades informáticas para la implantación de los sistemas.
- Poca cultura de innovación en el sector.
- Solo un 30% de los agricultores tiene ordenador.
- Resistencia en el sector a pagar por formación.

Beneficios de la AP

- Gestión optimizada de las explotaciones.
- Reducción de la aplicación de pesticidas y fertilizantes.
- Menor impacto medioambiental.
- Productos con mayor valor nutritivo.
- Obtención de información más precisa y de trazabilidad, muy importante en las zonas con carencias de nitrógeno.
- Reducción de combustible en los tractores.

Existen numerosas prácticas de manejo considerado por parte de la AP, en sus diferentes etapas de aplicación. Estas prácticas son realizadas a través de diferentes tecnologías e incluyen tanto actividades de campo como de oficina. A continuación se presentan las principales etapas o pasos para la aplicación de AP. Las tecnologías involucradas y las actividades realizadas (Ortega y Flores, 2000).

Etapa	Tecnología involucrada	Actividades
Recolección de datos	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sistemas de posicionamiento global (GPS). ➤ Sistema de información geográfica (SIG). ➤ Instrumento topográficos. ➤ Sensores remotos. ➤ Sensores directos 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Medición de la topografía del suelo. ➤ Muestreo de suelo en grilla. ➤ Recorrido de los cultivos para la detección de plagas y enfermedades. ➤ Monitoreo de rendimientos. ➤ Medición directa de propiedades del suelo y cultivo. ➤ Sensores remotos de suelos y cultivos. ➤ Digitalización de mapas.
Análisis de procesamiento e interpretación de la información	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Programas de SIG. ➤ Sistemas expertos. ➤ Programas estadísticos. ➤ Experiencia del operador 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Análisis de dependencia espacial. ➤ Confección de mapas de evaluación. ➤ Confección de mapas de prescripción.
Aplicación diferencial de insumos	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tecnología de dosis variable. ➤ Pulverización asistida por GPS. ➤ Programas computacionales. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aplicación variable de nutrientes. ➤ Aplicación variable plaguicidas. ➤ Siembra diferencial de variedades y aplicación variable de semillas.

3.3. Agricultura de precisión a nivel mundial y nacional

Dentro de las estimaciones Argentina es uno de los países más tecnificado del mundo en el sector agrícola, precedido solo por Estados Unidos, señaló Andrés Méndez, tiene siete millones de hectáreas sembradas con (AP), de sus 33 millones de hectáreas sembradas, cuenta con 21.6% de esa superficie equipada con herramientas de (AP), según un cálculo realizado por el INTA (2014) a partir de información relevada por la cámara Argentina de fabricantes de Maquinaria Agrícola.

Según Borghi (2014). La innovación de los productos Argentinos, en lo que respecta a las herramientas de agricultura de precisión aplicadas a las máquinas agrícolas, han logrado un alto nivel tecnológico. En los últimos años, el crecimiento de estas herramientas fue exponencial y también se vio reflejado en las exportaciones, especialmente en los países donde se encuentran máquinas sembradoras y pulverizadoras, tales como Sudáfrica, Australia y Ucrania.

Al mismo tiempo otros países tecnificados como Alemania, Japón y Bélgica, entre otros, tienen el 100% de uso de las herramientas pero la cantidad de hectáreas es muy inferior a la de Argentina. (Méndez, 2012).

3.4. Definición de sistemas inteligentes

Según Reynolds (2014), un sistema inteligente es un medio capaz de almacenar situaciones para lograr un objetivo, con la capacidad de controlar si la última acción realizada fue favorable o no, es decir cuando un sistema se sale de los parámetros previamente definidos, logra identificarlo y se pueden preestablecer o corregir en ese momento se dice que es un sistema inteligente.

De acuerdo con Huang *et al* (2010) los sistemas inteligentes son una integración de las estructuras biológicas con las técnicas de computación. Estos sistemas son utilizados para alcanzar manejabilidad, robustez, y soluciones de bajos costos con cierto grado de tolerancia e imprecisión, incertidumbre y aproximaciones. Éstas características hacen que los sistemas inteligentes sean capaces de resolver problemas que las herramientas convencionales no resolverían de una manera eficiente.

Utilidad del piloto automático en las principales actividades agrícolas

La utilización del piloto automático en estos últimos años evolucionó en función del crecimiento tecnológico de la maquinaria. En la labor de siembra, la utilización de pilotos automáticos aumenta directamente la eficiencia del trabajo y le permite extender jornadas laborales hasta altas horas de la noche. Con este uso, la tecnología solo lograría el confort del operario, pero se vería afectada principalmente la eficiencia de la siembra. Para un piloto automático que se utiliza en la siembra de maíz, por ejemplo, es recomendable la señal de corrección RTX Center Point, 6403 con cableado para sistema de piloto automático (Auto Trac) Plantium RT2 y SF3, ya que poseen alta precisión y repetitividad durante toda la campaña. Estas correcciones, como la de RTK, son necesarias cuando se trabaja en tareas que requieren alta precisión como en los cortes por sección en sembradoras. (INTA, 2017).

Principales ventajas del uso del piloto automático en la agricultura según Villarroel, *et al.*, (2014) son:

- Mantener la eficiencia.
- Mantener la productividad.
- Mantener la seguridad.

Algo que hay que mencionar es que la gran ventaja del piloto automático se traduce en los beneficios plasmados anteriormente que se mantienen al mismo nivel a lo largo de toda la jornada laboral, lo cual si se tratara de hacer sin esta tecnología sería muy difícil. Al momento de adquirir un piloto automático hay que tener en cuenta todos estos aspectos y a su vez también hay que hacer mucho hincapié en que la reducción de la fatiga del operario es muy considerable lo cual genera un gran beneficio, ya que permite que focalice su atención en otros puntos importantes de la labor que esté realizando.

GPS (Global Positioning System)

Según Melchiori (*et al.*, 2013), la adopción de herramientas como GPS, monitor de rendimiento, monitor de siembra y banderillero satelital es mayor al 70% y similar entre grupos con diferentes años de uso de AP. Este resultado podría deberse a que

estas tecnologías no requieren más que la instalación y calibración del equipo para su utilización. Otro grupo de técnicas que requieren un mayor procesamiento de los datos e información como la fertilización y siembra variable y el uso de mapas de suelos detallados, son más utilizadas por adoptantes tempranos. La principal motivación para la adopción de AP ha sido aumentar el beneficio económico (75%). En menor proporción la disminución de los costos, el aumento del rendimiento y la calidad de la producción y la mejora del conocimiento del sistema productivo (>50%). Para los adoptantes tempranos (>10 años) usar las últimas tecnologías disponibles en el mercado fue una motivación importante. En cambio los adoptantes tardíos buscaban en mayor medida aumentar el rendimiento. El uso de las nuevas tecnologías fue una motivación más importante para los usuarios relacionados a explotaciones grandes.

El (GPS) es un sistema de posicionamiento que permite calcular las coordenadas de cualquier punto de la superficie terrestre a partir de la recepción de señales emitidas desde una constelación de satélites en órbita, esta constelación está compuesta por 24 satélites en órbitas alrededor de la tierra, para poder así localizar mediante unas coordenadas únicas cualquier equipo radio receptor terrestre sin importar su posición en cualquier parte del planeta e incluso fuera de ella, (Ortiz, 2007).

Las aplicaciones de los sistemas de posicionamiento global y de navegación en la agricultura pueden ser muy diversas. No obstante, las más comunes que se pueden citar son las siguientes: determinación de los límites de la finca, guiado automático de maquinaria agrícola, asignar las coordenadas a las muestras tomadas con objeto de elaborar los mapas de producción u otra característica y determinar la actuación en cada punto, (López, 2011).

Uno de los métodos más conocidos, y utilizados, para estimar, evaluar y entender las variaciones existentes en los cultivos es la agricultura de precisión. Este método se beneficia de numerosas tecnologías, entre las que se pueden citar los sistemas de posición global, las comunicaciones inalámbricas y los sistemas de instrumentación. Estas tecnologías permiten realizar tareas de monitorización de los cultivos almacenando los datos adquiridos, junto con las coordenadas geográficas del punto en el que se realizó la medida, (López, 2012).

Las coordenadas geográficas se pueden definir de la siguiente manera:

- a) Longitud: es el ángulo que se forma, en el centro de la tierra, entre el plano del meridiano de Greenwich y el plano del punto a ubicar. Para la longitud se toma como cero el meridiano de Greenwich, y va hasta $+180^{\circ}$ hacia el Este y -180° hacia el Oeste. Estos se denominan meridianos.
- b) Latitud: es el ángulo entre el plano del Ecuador y el plano formado por el punto a ubicar y el centro de la tierra. Va de 0 a 90° , siendo 0 el Ecuador, y $+90^{\circ}$ el polo Norte y -90° el polo Sur. Estos se denominan paralelos.
- c) Altura: para simplificar el concepto de la altura se puede definir como la distancia en metros desde una línea de prolongación de la altura media del mar, y el punto a ubicar. Resumiendo, es la altura sobre el nivel del mar.

3.5. Siembra de precisión

En esta labor, la utilización de pilotos automáticos aumenta directamente la eficiencia del trabajo, le brinda al operario la posibilidad de tener mayor control en otros aspectos puntuales, como la observación en pantalla del correcto funcionamiento de la sembradora y el tractor. Le permite extender jornadas laborales hasta altas horas de la noche, donde la observación de la línea que deja el marcador sería imposible o también en situaciones donde la cobertura del cultivo hace imposible divisar la línea del entresurco. Villarroel *et al.* (2014), además de definir la sembradora de precisión mencionan los tipos y características de otras, como se describe:

Tipos de sembradoras

Las máquinas sembradoras tienen como misión colocar en el terreno, bien sobre toda la superficie o bien en línea equidistantes, las más diversas clases de semillas, sin dañarlas y a una profundidad uniforme.

Las sembradoras se pueden clasificar según el sistema de siembra requerido:

- Al voleo: distribución al azar de las semillas sobre toda la superficie del terreno.

- En línea o a chorrillo: colocación aleatoria de las semillas en un surco, cubriéndolas, para dar líneas definitivas.
- A golpes: colocación de grupos de semillas a distancias definidas, en líneas.
- Mono-grado (de precisión): colocación precisa de semillas individuales a distancia definida, en línea.

Una sembradora de precisión es aquella que deposita a profundidad uniforme y a distancia iguales el grano, consiguiendo además un paralelismo entre líneas. También puede ser clasificada según su sistema de dosificador.

Beneficios de la siembra de precisión

- Ahorro de semillas a aplicar.
- Exactitud en la superficie unitaria de las plantas para una productividad óptima.
- Mayor facilidad para realizar labores de cultivo mecanizadas.
- Disminución de las faenas de escarda y aclareo.
- Siembra a distancia definida.
- Óptimas condiciones para la recolección.

Componentes de la sembradora de precisión

Las partes de una sembradora de precisión se componen por:

- Bastidor.
- Disco cortador de residuo.
- Abridor de surco.
- Dosificador de semilla
- Dosificador de fertilizante.
- Tapadores de surco.
- Transmisión.
- Sensores de dosificación
- Turbina.

IV. MATERIALES, EQUIPOS Y MÉTODOS

Este trabajo se dividió en dos partes, una en laboratorio y bajo condiciones de campo. La fase de laboratorio fue con la finalidad de evaluar el rendimiento del dosificador en términos del porcentaje de llenado de celdas por efecto de la velocidad de siembra. Y la de campo fue evaluar el rendimiento del piloto automático en términos de capacidad de siembra y calidad de funcionamiento.

4.1. Evaluación en laboratorio

Se llevó a cabo en el departamento de Maquinaria Agrícola de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), empleando un banco de pruebas para sembradoras neumáticas.

Para el acondicionamiento de la sembradora neumática, además del banco de pruebas de dosificadores de semillas se utilizó el taller de máquinas y herramientas, la cual consta de herramientas necesarias para el trabajo como se observa en la figura (4.1)



Figura 4. 1 Taller de máquinas y herramientas

Banco de pruebas

El prototipo utilizado en la evaluación se encuentra ensamblado a un chasis, un sistema de dosificación de semillas en tiempo real y un motor reductor, el dosificador neumático Max Emerge 7200, contiene los siguientes ensambles: un disco que simula el plato dosificador con respecto a semillas ideales, un sensor opto electrónico, sensor de semillas y velocidad, además de un variador de frecuencias.



Figura 4. 2 Prototipo de evaluación

4.1.1. Metodología en laboratorio

La metodología para determinar la *eficiencia* de dosificación de semillas bajo condiciones de laboratorio se describe a continuación:

El desarrollo de la prueba se llevó a cabo en el laboratorio de AP y evaluación de prototipos del departamento de Maquinaria Agrícola. Se empleó el banco de pruebas de dosificadores de semillas. Para esto se realizó los ajustes necesarios en el dosificador verificando las conexiones de las mangueras de flujo de semilla y la de vacío.

Para estas pruebas bajo condiciones de laboratorio se empleó el software de instrumentos virtuales LabView V8.9 para el registro de datos, en cantidad de semillas reales vs semillas ideales, así como el tiempo de caída entre cada evento. Una vez

hecho los ajustes anteriores, se calibra los voltajes deseados para las pruebas con el software, registrando el número de semillas reales y semillas ideales contadas durante las pruebas. En cada prueba se consideró 1000 semillas reales. Para cada voltaje de prueba (2, 3, 4, 4.5, 5 y 5.5 V en corriente directa) se realizaron tres réplicas tomando el registro de los datos en el programa de LabView V8.9 desarrollado por Torres (2014), como son: tiempo (minutos), semillas reales y semillas ideales.

Para el cálculo de la eficiencia del dosificador se hizo uso de los datos del módulo dosificador donde las $semillas \cdot minuto^{-1}$ es el total de semillas ideales sobre el tiempo, en este caso el tiempo está dado en minutos. El porcentaje de llenado de celdas es el cociente de semillas reales sobre el total de semillas ideales multiplicado por 100. La ecuación (4.1) fue empleada para calcular la eficiencia del dosificador.

$$\text{Semillas} \cdot \text{minuto} = \frac{\text{Semillas ideales} \cdot 2}{\text{tiempo}} \quad (1)$$

$$\% \text{ de llenado} = \left(\frac{\text{Semillas reales}}{\text{Semillas ideales} \cdot 2} \right) \cdot 10 \quad (2)$$

4.2. Evaluación de campo con el piloto automático

El trabajo de campo se llevó a cabo en el rancho Guadalupe, cerca de la localidad el Huachichil, figura (4.3), que está situado en el Municipio de Arteaga, Coahuila de Zaragoza, México. Ubicado a 2096 msnm, con las coordenadas $N25^{\circ} 14' 13.2252'' W100^{\circ} 48' 10.1088''$, y desarrollado por la (UAAAN).



Figura 4. 3 Ubicación rancho Guadalupe, Huachichil

Los datos de las variables recolectadas para la evaluación de la sembradora y el piloto automático a tomar para la evaluación fueron:

- Eficiencia del piloto automático comparado con el sistema tradicional en términos de uso de superficie, en porcentaje.
- Eficiencia del sistema en número de surcos esperados por hectárea versus número de surcos reales, de 0.82 m entre hileras.

Los materiales que se utilizaron en campo para llevar a cabo el desarrollo de la evaluación fueron los siguientes:

- Semillas de maíz *Pioneer* calibrando a una densidad de siembra de 95,000 semillas*hectárea⁻¹ a una distancia entre surcos de 0.82 m
- Fertilizante calibrado a 420 kilogramos*hectárea⁻¹



Figura 4. 4 Relleno de fertilizante

Se utilizaron los siguientes equipos:

Tractor John Deere 6403 con cableado para sistema de piloto automático (Auto Trac)



Figura 4. 5 Tractor John Deere 6403

GreenStar 2630 (pantalla) del *sistema piloto automático* John Deere 2630. El cual es un monitor que presenta una pantalla táctil la cual permite controlar una variedad de aplicaciones, máquinas e implementos de precisión. Tiene como características:

- Control de máquina e implemento
- Modo de espera
- Compatible con USB
- Capacidad de video

Se utiliza fundamentalmente como interface del operador para aplicaciones de guiado y documentación. Tiene un monitor de rendimiento integral que puede servir para registrar datos de superficie y otros datos basados en el ancho del apero y la velocidad de avance del mismo. La *GreenStar 2630* también se puede instalar en conjunto con otra pantalla *GreenStar original* que sirve para una mejor siembra, aplicación de agroquímicos y monitoreo del rendimiento.



Figura 4.6 Pantalla John Deere 2630

La pantalla, figura (4.6), cuenta con un conjunto de funciones de software básico estándar: a) guiado manual, b) documentación (campo y cosecha), c) trazado de mapas en pantalla d) prescripciones. Cuando está conectado a un receptor GPS, el sistema permite al operador conducir el vehículo con la ayuda de un GPS. Cuando se combina con una activación de Auto Trac opcional y un conjunto de dirección de vehículo, el sistema puede guiar la máquina automáticamente en el campo.

La función de monitor GreenStar original se puede usar para accionar aperos John Deere seleccionados del modo en que se los usaría normalmente con la pantalla GreenStar original.

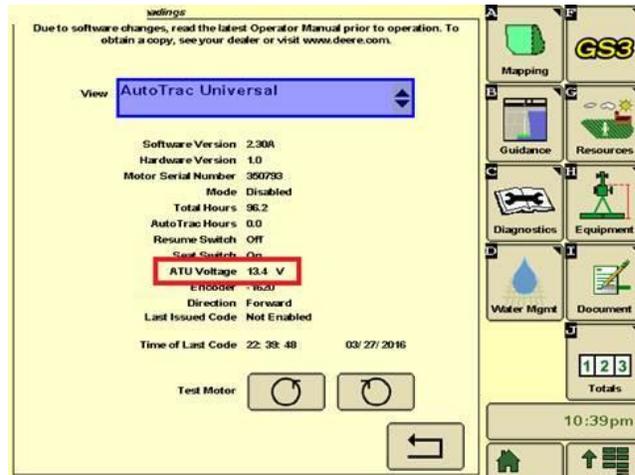


Figura 4. 7 Ventana GS3.

Receptor StarFire™ 6000 (marca John Deere) incorpora una antena mejorada. Está equipado con doble procesador, apto para señales GPS y GLONASS. Muestra la orientación de la máquina. Proporciona tres niveles distintos de precisión: SF1, SF3, RTK. Mayor velocidad de carga y función de recuperación rápida de señal. Compensación del terreno en los 3 ejes.

Toda esta nueva tecnología mejora el rendimiento y el tiempo de actividad y reduce el costo de operación al combinarse con sistemas de agricultura de precisión, tales como el sistema de guiado Auto Trac™, corte por secciones y sistemas de aplicación variable de John Deere.



Figura 4. 8 Antena receptora GPS

La “*Triple Precision StarFire*”, la nueva señal de corrección SF3 disponible con el nuevo receptor StarFire 6000, que poseen alta precisión con “Repetitividad en campaña” y un tiempo de captación de señal hasta cuatro veces más rápido, esta precisión de señal tiene un error máximo de 3 centímetros con una repetitividad de 9 meses así como soluciones RTK mejoradas, como los 14-días de “RTK Extend”, el receptor StarFire 6000 está totalmente preparado para el futuro.

Este equipo se puede usar en diferentes tractores, tiene buena recepción de señal y buena precisión. Sus características:

- Reduce la fatiga del operador
- Solución para flota mixta de máquinas
- Reduce la compactación del suelo
- Compensación e irregularidades del terreno

Los *arneses*, figura (4.9 b) son las conexiones que van a la pantalla y al receptor, que en este caso ya están integradas al tractor que utilizamos para la investigación y figura (4.9 a) el Kit Universal Auto Trac que va integrado al tractor



Figura 4.9. a) Kit Universal Auto Trac, b) Arnese de conexión

La *sembradora neumática* de la marca comercial John Deere 1030, cuenta con 2 contenedores para fertilizante granular, 4 para semilla y 4 para pesticida granular. Con esta sembradora se tiene labranza reducida, adaptándose a las condiciones de terreno en sus diferentes texturas de siembra con vacío. El mando para el sistema de vacío se genera con una bomba hidráulica conectada a la toma de fuerza, con esto se obtiene una mayor productividad en campo.



Figura 4. 10 Sembradora Neumática 1030.

La sembradora cuenta con una unidad de medición de presión diferencial, para aire y gases no combustibles de 30 pulgadas de agua de vacío.



Figura 4. 11 Vacuómetro.

4.2.1. Metodología en campo

Para alcanzar los objetivos planteados primeramente se llevaron a cabo los ajustes a la sembradora como se indican para evaluación de uniformidad de siembra.

- En el proceso del ajuste de la sembradora se movieron los recipientes a una distancia de 0.82 m entre hileras.
- Se ajustó los trenes de la sembradora quedando colineal a las ruedas motrices del tractor.
- Ajustar los discos abre surcos con un desfase de 5 cm, de la caída de semilla con respecto a los del fertilizante, respectivamente.
- Se rectificaron componentes de los contenedores de fertilizante y semilla (cepillos mangueras, platos dosificadores).

- Se conectó la bomba hidráulica en la toma de fuerza del tractor para el mando de vacío con el que trabaja la sembradora.
- Para la densidad de siembra requerida se ajustaron los engranes de acuerdo a las especificaciones del manual, en el apartado de siembra de maíz y rectificando con la práctica llevada a campo, quedando el motriz en el engrane de 20 dientes y con 18 el conducido, para una densidad de siembra de 7.78 semillas por metro.
- Se ajustó el vacío en el vacuómetro de acuerdo a la velocidad y a las revoluciones con las que se tuvo que hacer la evaluación. Para este caso el vacío fue de 9.5 pulgadas de agua hecho en función del manual del operador de la sembradora. La velocidad de siembra fue de A3 (3.1 km*h⁻¹) a C1 (8.6 km*h⁻¹) con 1200-1300 rpm del motor del tractor.
- Para rectificar el funcionamiento de la sembradora se hizo una prueba durante el ajuste dando 10 vueltas a la rueda motriz de 2.28 m, que acciona a los contenedores de la sembradora, proporcionando 178 semillas en una distancia de 22.8 m. Lo cual se ajusta a 780 semillas por cada 100 m equivalentes a una distancia entre semillas de 0.128 m.



Figura 4.12 Ajuste de discos abre surcos y prueba con sembradora.

Para la evaluación del *piloto automático* es necesario la calibración del TCM (Terrain Compensation Module) y para esto se requiere lo siguiente:

- Mantener el tractor en un terreno plano, alejar tractor de líneas de alta tensión y que el techo esté libre

- Al encender el sistema calibrar el TCM que es la georreferencia del sistema con los satélites, esta se guarda solo 24 horas. De no ser así se tendrá que repetir esta calibración.

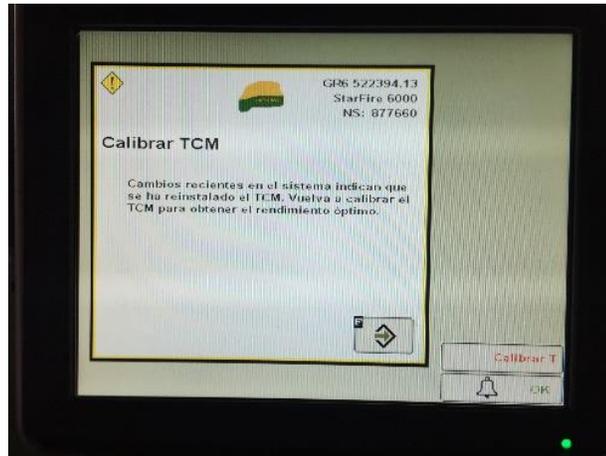


Figura 4. 13 Ventana de calibración del TCM

- Para empezar la calibración en el menú-Home, seleccionar el ícono "A" StarFire 6000 como se aprecia en la figura (4.15). Direccional al apartado de la antena receptora donde se monitorea en tiempo real su estado, teniendo una pestaña para su calibración. Por consiguiente checar si están conectados a los satélites.



Figura 4.14 "A" StarFire 6000

- Dentro del ícono StarFire, figura (4.16). Seleccionar la pestaña "configuración" o directamente en calibración como se ilustra y empezar, para calibrar.

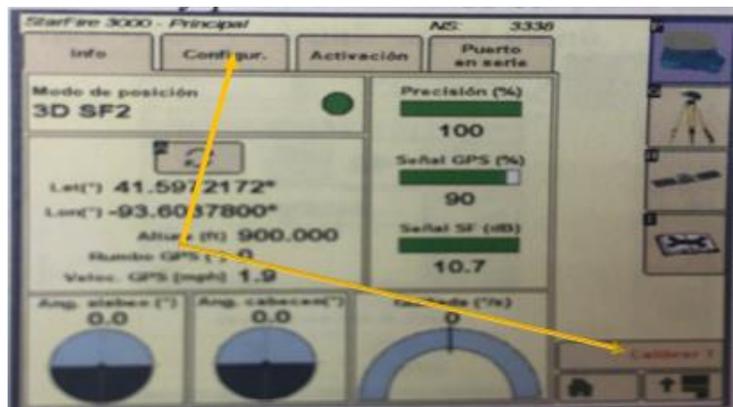


Figura 4. 15 Abrir configuración

➤ Al aceptar calibrar debemos cubrir 5 pasos que son:

Paso 1. Como se aprecia en la figura (4.17). Estacionar el vehículo en una superficie plana marcando una referencia en el eje fijo.



Figura 4. 16 Posición del tractor

En este paso figura (4.17) se puede escoger algún punto fijo como el eje trasero, eje delantero, eje de impulsión, en tractores con orugas o el centro de vehículo que sirva como eje fijo de referencia, en este caso utilizamos el eje trasero.

Una vez posicionado y marcado la referencia a tomar oprimir *Acepta*.

Paso 2. Invertir la posición de vehículo y posicionarlo en la misma referencia marcada



Figura 4. 17 Invertir vehículo

Paso 3. Al estar alineado el punto fijo en la misma línea de referencia pulsar *aceptar*, figura (4.19).



Figura 4. 18 Oprimir "aceptar"

Paso 4. El sistema da el informe si la calibración fue exitosa o hubo algún inconveniente en la misma.



Figura 4. 19 Concluir calibración

Paso 5. Cualquiera que sea el resultado aceptar, de ser erróneo como se ve en la imagen de la izquierda, figura (4.20), repetir procedimiento y si fue exitoso en el caso de la derecha concluir su calibración, en este caso fue exitoso.

Una vez ya calibrado el sistema del piloto automático, se puede hacer el levantamiento de nuestras parcelas a trabajar, es decir definir el perímetro de estas para que el sistema lo procese y guarde en la memoria.

Para realizar el levantamiento del perímetro se debe de seguir la siguiente secuencia:

- Al llegar al terreno a trabajar se observa en la pantalla la posición en el mapa solo representado con un círculo verde dentro del mismo.



Figura 4. 20 Posición del tractor

Esto es visible dentro del mapeo localizado, en la siguiente secuencia se trabajó como se ilustra en la figura (4.22).



Figura 4.21 Secuencia del mapeo localizado

A continuación se describen los pasos al realizar el polígono de trabajo. Dentro de mapeo-límites:

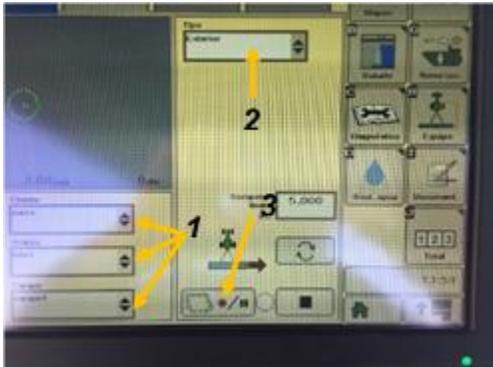


Figura 4. 22 Marcar límites

- Introducir información: *Cliente, granja y campo*, en el punto 1, figura (4.23). Una vez completos los 3 pasos anteriores, seguir con punto 2 selección de límite, *Interior o exterior*. Seleccionar “exterior” ya que lo que se busca es delimitar perímetro de laboreo.
- Para el punto 3 como se observa en la figura (4.22), se posiciona el tractor en una esquina del terreno y oprimiendo el botón *grabar*, desplazarse por toda la periferia a trabajar hasta llegar al mismo punto de partida, al llegar oprimir *stop*, a lo cual pregunta si se acepta el término de levantamiento oprimiendo aceptar. Y se registrará en la pantalla el polígono que se generó.



Figura 4.23 Polígono generado

- Marcar puntos A y B (ver anexo B)

- Para ser activado el piloto automático se debe de rellenar los cuatro cuadrantes del círculo indicador de estatus del sistema (ver anexo B).

Instrucciones para comenzar la siembra

- Para comenzar a trabajar se engancha la sembradora al tractor y conecta la bomba hidráulica.
- Ajustar los estabilizadores a modo que éste quede a la misma distancia por ambos lados y fijo, midiéndose desde los centros, así como también el tercer punto, de forma que la sembradora quede a una altura considerable.
- Llenar los botes de fertilizante y semillas
- Posicionar el tractor en la línea 0 (línea generada cuando se hace la calibración del piloto automático) a una distancia de al menos 3 m del límite de la parcela, para que la antena detecte bien la señal y no haya desfasamientos, por consiguiente activar en el volante el piloto automático. Teniendo la sembradora en el lugar indicado bajarla y comenzar a trabajar con las especificaciones descritas anteriormente.
- Para ésta evaluación se tomó tiempo por pasadas y consumo de combustible en doce pasadas

4.2.2 Eficiencia del piloto automático

Para obtener la eficiencia de aprovechamiento del terreno, se aplicó la ecuación (3).

$$\left[\frac{(\text{Número de surcos esperados} - \text{número de surcos reales})}{\text{Número de surcos esperados}} \right] * 100 \quad 3)$$

V. RESULTADOS

El trabajo fue realizado en dos partes: la primera bajo condición de laboratorio y segunda bajo condiciones de campo. El trabajo en laboratorio se verificó el comportamiento del dosificador neumático de la sembradora John Deere modelo 1030, en términos de la eficiencia de llenado de celdas, afectada por la velocidad de dosificación de semilla ($\text{semilla} \cdot \text{minuto}^{-1}$). La segunda parte fue evaluar el rendimiento del piloto automático en tres parcelas comerciales una de riego y dos de temporal, se consideró para esto la velocidad de siembra ($\text{kilómetros} \cdot \text{hora}^{-1}$), la capacidad de siembra en ($\text{horas} \cdot \text{hectárea}^{-1}$), el consumo de combustible en ($\text{litros} \cdot \text{hectárea}^{-1}$), así como la eficiencia de utilización superficie ($\text{surcos teóricos} - \text{surcos reales} \cdot \text{surcos teóricos}^{-1}$).

5.1. Resultados en laboratorio

Se estimó el comportamiento del dosificador neumático para una sembradora-fertilizadora de 4 surcos.

Evaluación del performance del dosificador neumático en laboratorio

En el cuadro (5.1) se muestran las tres pruebas, donde por cada una se obtienen las semillas reales e ideales con un tiempo de evaluación. La identificación con el sensor de las celdas ideales obtenidas se multiplicó por dos para hacerlo equivalente al número de celdas al plato dosificador (30 celdas por plato). El porcentaje de llenado de celdas fluctúa desde 113 hasta 101, para velocidades del plato dosificador desde 258 hasta 1046.9 celdas por minuto.

Cuadro 5. 1 Pruebas de rendimiento del dosificador

Volts	Celdas/minutos	Tiempo (Prom.)	Semillas		% de llenado
			Reales	Ideales	
2	258.28	3.87	1144.67	998.67	113.49
3	492.48	2.04	1127.67	1004.67	112.24
4	727.05	1.38	1073.67	1003.33	107.01
4.5	833.33	1.2	1060	1000	106
5	947.00	1.06	1029	1000.67	102.83
5.5	1046.85	0.95333	1012.66667	998	101.4696

Por lo anterior se realizó un análisis de varianza (cuadro 5.3), el cual indica que hay una diferencia significativa entre las velocidades de dosificación afectando el porcentaje de llenado de celdas, misma que se verá reflejado en densidad de siembra así como en la uniformidad de dosificación, número de semillas dobles y espacios vacíos.

Cuadro 5. 2 Análisis de varianza

Análisis de varianza					
Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	1	341.938	341.938	174.71	0*
Error	16	31.315	1.957		
Total	17	373.252			

*: altamente significativo

Mediante el Software Univesidad de Nuevo León, se obtuvo un contraste de medias con el método DMS al 95%, el cual indica que los tratamientos se agrupan estadísticamente de la siguiente manera: el tratamiento 1 (2 Volts) es igual al tratamiento 2 (3 Volts), los tratamientos 3 y 4 (4 y 4.5 Volts) son iguales y los tratamientos 5 (5 Volts) y 6 (5.5 Volts) son iguales en términos de porcentaje de llenado de celdas. Como vemos en el cuadro (5.4). lo cual indica que el rendimiento del dosificador se ve afectado por la velocidad de dosificación de semillas (semillas*min

1). El análisis indica que las velocidades óptimas son 5 y 5.5 Volts, debido a que se acerca al 100% de llenado.

Cuadro 5.3 Contraste de medias

Tratamiento	Media	0.05
1	113.4	a
2	112.2	a
3	107.0	b
4	106.0	b
5	102.8	c
6	101.4	c

En la figura (5.1) se muestra la gráfica del comportamiento del porcentaje de llenado respecto a la velocidad de siembra en semillas por minuto. Se aprecia claramente que a bajas velocidades de dosificación que son de 200 a 400 semillas por minuto existe un porcentaje de llenado de celdas superior al 100% lo cual indica que va a ver en campo semillas dobles a bajas velocidades y que entre velocidades de 700 a 1000 semillas*min⁻¹, el porcentaje decrece sin embargo todavía está por encima del 100% de llenado de celdas. El 100% se alcanza con velocidades superiores a las 1000 semillas por minuto.

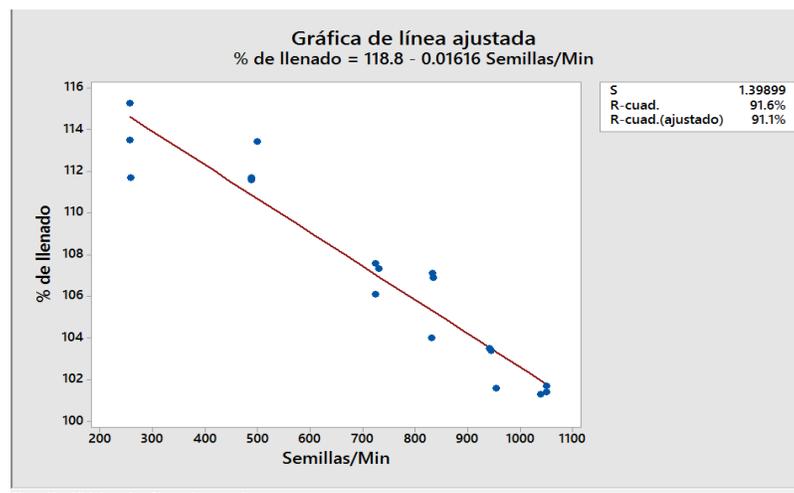


Figura 5. 1 Gráfica de línea ajustada del porcentaje de llenado de celdas.

5.2. Evaluación del sistema de piloto automático en campo

Para la evaluación del sistema del piloto automático se trabajó en 3 parcelas diferentes ubicadas en rancho Guadalupe, cerca de la localidad el Huachichil (El Huache) que está situado en el Municipio de Arteaga (estado de Coahuila de Zaragoza). Está a 2096 msnm, con las coordenadas ***N25° 14' 13.2252" w100° 48' 10.1088"***.

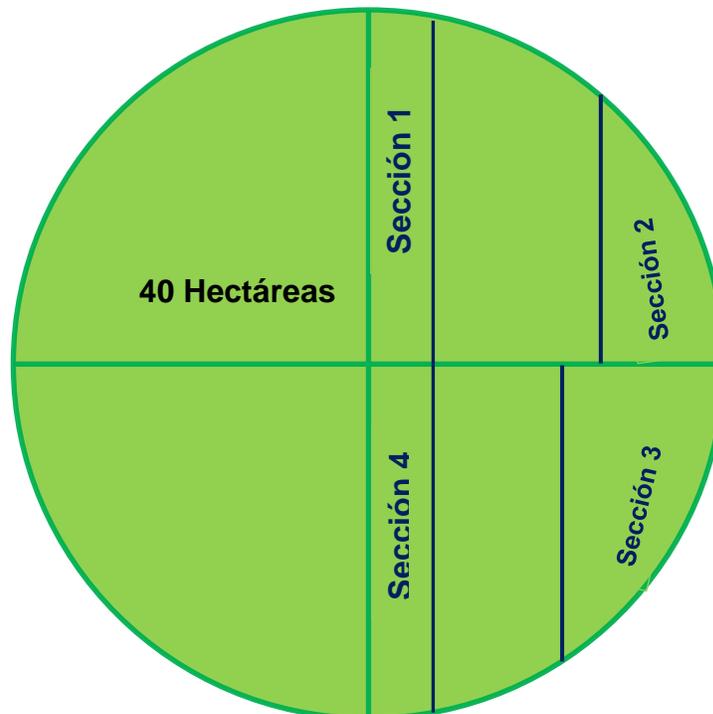


Figura 5. 2 Secciones trabajadas en la parcela 1

La primera parcela fue de 11.058 hectáreas, la segunda de 9.87 y la tercera de 1.85 hectáreas. La primera parcela se sembró exclusivamente con el piloto automático y sembradora neumática John Deere modelo 1030, en la segunda parcela se sembró 4.87 hectáreas con sembradora mecánica y sin piloto automático, el resto de la superficie de la segunda parcela se sembró con sembradora neumática John Deere y con piloto automático y la tercera parcela se sembró con piloto automático y con sembradora neumática misma que el de la primera parcela.

La evaluación de la sembradora John Deere 1030 y la evaluación del piloto automático se hicieron simultáneamente. En el Cuadro (5.5) se muestran los resultados de evaluación del piloto automático empleando sembradora John Deere

1030, que se llevó a cabo en la parcela 1, en términos de la superficie trabajada, número de surcos, velocidad de trabajo y tiempo total. El rango de velocidades en las que se trabajó la primera parcela fue de 2B a 1C con 1200 a 1300 rpm en el motor.

Cuadro 5. 4 Resultados de evaluación de piloto automático

Secciones	Velocidad del tractor	Superficie (ha)	Líneas de 4 surcos	Surcos	Tiempo (hr. ha ⁻¹)	Tiempo total (hr)	Velocidad (km.hr ⁻¹)
1	3-B	5.63	50	200	1.08	6.10	4.49
2	2-B	1.08	20	80	1.43	1.37	4.70
3	2-B	1.46	25	100	1.48	2.16	4.05
4	1-C	2.89	25	100	0.9	2.61	5.76
Totales		11.06	120	480	1.22	12.24	4.75

En la figura (5.3) se muestra la superficie comercial, de 9.87 has, que integra la parcela 2. Se dividió en 4 secciones, la P1 lo sembró el productor con su sistema tradicional con una sembradora de dosificación mecánica. Las otras tres parcelas (P2, P3 y P4) fueron sembradas empleando el equipo de piloto automático de John Deere, así como la sembradora de vacío John Deere modelo 1030

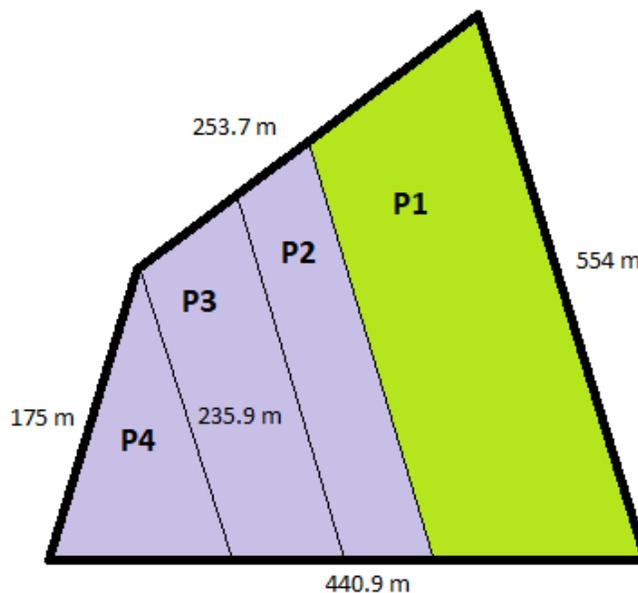


Figura 5. 3 Secciones trabajadas en la parcela 2

En el cuadro (5.6) se muestra total de superficie en la parcela 2, así como la zona sembrada por cada sub-parcela (P1, P2, P3 y P4). Del total 4.95 fueron sembradas con piloto automático y sembradora John Deere 1030 y 4.92 hectáreas fueron sembradas con el sistema tradicional, sembradora de dosificación y marcador mecánico. El tiempo total empleado para la siembra de las 4.95 hectáreas (parcela P2, P3 y P4) fue de 4.18 horas, con un total de surcos de 272 a un espaciamiento de 0.82 m con una capacidad de siembra de 0.84 hr.ha⁻¹ a una velocidad de siembra de 8.6 km.hr⁻¹ (C1).

Cuadro 5. 5 Comparación de la parcela testigo vs parcela de evaluación

Sub-parcelas	Parcela testigo			Parcela evaluación			
	Superficie (has)	Surcos		Superficie (has)	Número de surcos	Tiempo total (horas)	Capacidad (hr.ha-1)
		Reales	Ideales				
P1	4.92	128	136				
P2				1.51	48		
P3				2.12	88		
P4				1.32	136		
Total				4.95	272		
Tiempo						4.18	0.84

5.2.1. Eficiencia del piloto automático comparado con el sistema tradicional

La parcela testigo (P1) fue de 4.92 hectáreas con un total de surcos reales de 128 a un espaciamiento entre surcos de 30 pulgadas (0.76 m). El número de surcos esperados en la parcela testigo de acuerdo a sus dimensiones fueron de 136, lo que reduce la eficiencia de uso de la superficie en un 6 % por encima del error de uso del piloto automático, este porcentaje se obtuvo aplicando la ecuación (1) donde:

$$\text{Ancho teórico de la parcela testigo} = 128 \text{ surcos} * \left(\frac{0.76\text{m}}{\text{surco}} \right) = 97.28 \text{ m}$$

El ancho real medido en campo fue de 103.76 m.

$$\text{Surcos esperados} \frac{103.76}{0.76} = 136.52 \text{ surcos}$$

$$\left\{ \frac{[(\text{surcos esperados} * 136) - (\text{surcos reales} * 128)]}{(\text{surcos esperados} * 136)} \right\} * 100 = 6\% \text{ de pérdida de eficiencia}$$

La tercera parcela sembrada fue en una superficie de 1.85 hectáreas, figura (5.4), se obtuvieron 63 pasadas con un total de 252 surcos, como se muestra en el cuadro (5.7). La siembra se realizó a una distancia de 0.82 m, con equipo de precisión y con una sembradora-fertilizadora John Deere 1030 de 4 surcos.

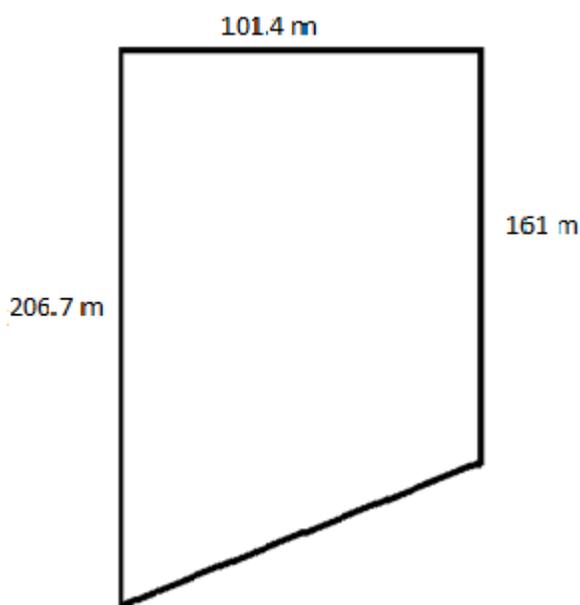


Figura 5. 4 Dimensiones de la parcela 3

Datos de la parcela (3)

Se obtuvieron 63 pasadas con un total 252 surcos y una superficie de 1.85 hectáreas

5.2.2. Curvas de consumo de combustible

En la figura (5.5) se muestra ejemplos del consumo de combustible para parcelas promedio de 0.10 hectáreas empleando medidores de consumo de combustibles S-004 BAICO, tanto en el suministro de combustible en la bomba cebadora como en el retorno al tanque. La constatación de calibración empleada fue la

obtenida por Linares (2016), fue de 3.0976 pulsos*ml⁻¹. El promedio de consumo de combustible trabajando en séptima velocidad (C1) a 1300 rpm del motor fue de 14 litros*ha⁻¹, como se muestra en el cuadro (5.8). Considerando una capacidad estimada de 0.84 horas por hectárea cuadro (5.6) a la velocidad de C1 fue de 8.6 km.hr⁻¹

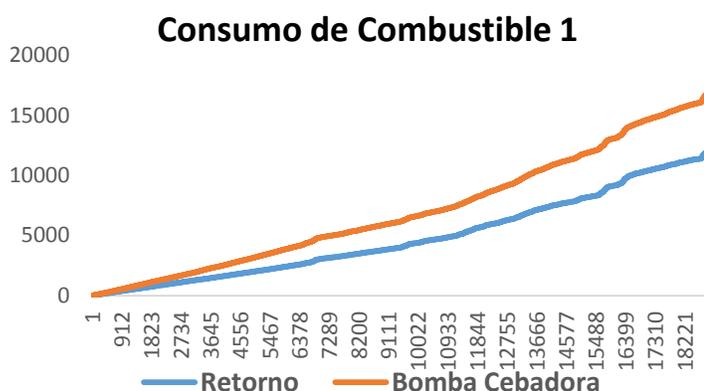


Figura 5. 5 Ejemplo de gráfica de consumo de combustible para una superficie de 0.1148 hectáreas

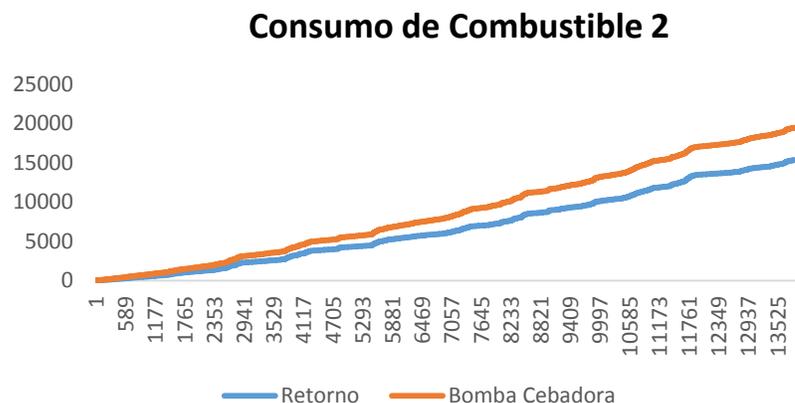


Figura 5. 6 gráfica de consumo de combustible 2 para una superficie de 0.0958 hectáreas.

En el cuadro (5.8) se realizaron pruebas de combustible donde se tomaron en cuenta los pulsos del retorno y la bomba cebadora, obteniendo así un promedio de 13.83 y 14.01 litros por hectárea en una superficie de 0.114 y 0.096 hectáreas respectivamente.

Cuadro 5. 6 Pruebas del consumo de combustible

Num. de prueba	Retorno (pulsos)	Bomba cebadora (pulsos)	Pulsos (In-Out)	Superficie (has)	Constante Pulsos ml ⁻¹	Litros consumidos	Litros por Ha
1	12595	17514	4919	0.114	3.0976	1.58	13.83
2	15683	19841	4158	0.096	3.0976	1.34	14.01

5.3. Problemas observados en el transcurso de la siembra:

Observaciones del piloto automático

- Falta de contrapesos en el tractor evita el contacto adecuado de las ruedas delanteras con el suelo, lo que genera desfases en el equipo. Se agregaron bultos de arena con un peso aproximado de 150 kg
- El uso de dos equipos de piloto automático en un mismo campo, donde se ha tomado el límite y se ha comenzado a trabajar con un equipo (Trimble o John Deere) provoca error de traslapes en el surco de cierre.

Observaciones de la sembradora

- Taponamiento de tubos conductores de fertilizante a causa de la humedad del suelo.
- El tubo de plástico donde cae la semilla del bote 4 se levantó causando así una irregularidad en la caída de semillas.
- El abre surcos de la fertilizadora tenía mucho movimiento vertical y eso causó que la manguera se doblara y se tapara muy seguido. Esto en virtud de la dificultad de poder darle el ajuste para evitar el desequilibrio con el movimiento excesivo de acuerdo a la resistencia de laboreo del suelo.

Observación por parte de los operadores

- El piloto automático permite trabajar con mayor rapidez el proceso a desempeñar en campo. Dando seguridad al operador en referencia de hacer correctamente el laboreo, confiando en la georreferencia del equipo.

- El piloto automático tiene fallas mínimas, una vez calibrado es muy fácil su operación, donde se encontraron detalles fue en la calibración del software, sobre todo en los desfasamientos. Por lo anterior las calibraciones hay que hacerlas en campo, porque es allí donde surgen detalles.
- Es más recomendable trabajar con piloto, porque aunque presenta desfasamiento de unos centímetros se vuelve a colocar, que a ojo de chicharo con el tradicional.
- El equipo es muy amigable una vez que esta calibrado, y la sembradora está centrada.
- Es muy notorio la falta de peso en el eje frontal del tractor para que el equipo no pierda la señal de guía.

VI. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Se observó que al nivel del vacío recomendado por el manual existe un porcentaje de llenado de celdas mayor al 100% en el rango de velocidades de 250-1000 semillas por minuto, se requiere reajustar el nivel de vacío para evitarlo.

Se requiere de una buena preparación y nivelación de terreno así como agregarle peso en el eje frontal del tractor para mantener un buen control de la dirección por el piloto automático. Su operación es amigable una vez realizada las calibraciones correspondientes.

La sembradora requiere ajustes en su diseño para evitar el taponamiento frecuente de la salida tanto de fertilizante como de semilla.

Antes de comenzar la operación, checar que la sembradora esté centrada, y los estabilizadores estén fijos a una medida exacta.

Esperar unos 10 a 15 minutos a que capte mejor la señal el sistema de piloto automático.

Hacer la calibración del TCM, en un lugar fijo y que este plano.

Es recomendable que después de mover la antena virtual (en Software) para algún desfaseamiento, o para cualquier configuración del sistema, considerar un lapso de 15 a 20 min, para que el sistema haga su completa corrección y pueda trabajarse con él.

VII. REFERENCIAS

- Mantovani, E., Carvalho-Pinto, A., Marcal de Queiroz D. 2006.** ¿Qué es agricultura de precisión? pp. 15-17. In: Bongiovanni, R., E. Mantovani, S., Best, & A., Roel. Agricultura de precisión: integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable. PROCISUR/IICA.
- Borghi, M. 2014.** Tecnología de precisión: un crecimiento sin techo. INTA. pp. 1-2. Buenos Aires, Argentina.
- Méndez A. 2012.** Argentina se ubica entre los países con mayor agricultura de precisión. América Economía, Agronoticias América Latina y el Caribe, (CAFMA). pp. 1-2. Argentina.
- García, E., & F. Flego. 2008.** Agricultura de precisión. Revista ciencia y tecnología. Recuperado de http://www.Palermo.edu/ingenieria/ciencia_y_tecnología/ciencia_y_tecno_8.html. C&T Universidad de Palermo. pp. 99-104.
- Gil, E. 2010.** Situación actual y posibilidades de la agricultura de precisión. Escuela superior de agricultura de Barcelona, Universidad Politécnica de Catalunya, pp. 59: 1-12. España.
- Huang Y., Y. Lan, S. Thompson, A. Fang, W. Hoffmann & R. Lacey. 2010.** Development of soft computing and applications in agricultural and biological engineering. Computers and Electronics in Agriculture. 71: 107-127.
- INTA EEA Manfredi. 2017.** Guía satelital en siembra de precisión: que señal conviene usar en función de la labor que se realiza. pp. 1-3. In: Scaramuzza F.,D. Villarroel, J.P. Vélez. Red agricultura de precisión. Pcia de Córdoba.
- INTA Manfredi. 2004.** Balance sobre el mercado de la maquinaria agrícola. pp. 6-7. In: Diaz-Rönnner P. La incorporación de nuevas tecnologías y algunos de sus componentes problemáticos en el modelo agrícola argentino del siglo XXI. Theomai, Buenos Aires.

- Lago-González, C., J. C. Sepúlveda-Peña, R. Barroso-Abreu, F. O. Fernández-Peña, F. Maciá Pérez, & J. Lorenzo. 2011.** Sistema para la generación automática de mapas de rendimiento. Aplicación en la agricultura de precisión. Idesia (Arica). 29 (1): 59-69. Chile.
- Lizarazo-Salcedo, I. A., A. Carvajal, & O. Alberto. 2011.** Precision agriculture applications in the cultivation of *Elaeis Guineensis* and Hybrid O x G Oil Palms. Revista de Ingeniería, pp. 124-130.
- López Riquelme, J. A. 2011.** Contribución a las redes de sensores inalámbricas. Estudio e implementación de soluciones hardware para agricultura de precisión. Universidad Politécnica de Cartagena, Colombia, pp. 310(1-40).
- López-Riquelme, J. A. 2012.** Contribución a las redes de sensores inalámbricas: estudio e implementación de soluciones hardware para agricultura de precisión (Doctoral dissertation, Universidad Politécnica de Cartagena), Colombia. pp. 17-20.
- Medina-Vásquez, J., A. Aguilera-Alvear, L. M. Landinez. 2010.** Ejercicio EAD-agricultura de precisión. Universidad del Valle, pp. 8-10 Santiago de Cali.
- Melchiori, R. J. M., S. M. Albarenque, & A. C. Kemerer. 2013.** Publicar 07. Uso, adopción y limitaciones de la agricultura de precisión en Argentina. Curso intensivo agricultura de precisión, pp. 07. Argentina.
- Ocampo M. 2018.** Agricultura de precisión. Oficina de Información Científica y Tecnológica para el congreso de la Union (INCYTU). pp. 15: 1-6. México.
- Ortega, R., L. Flores. 2000.** Agricultura de precisión: Introducción al manejo sitio-específico. Ministerio de agricultura, instituto de investigaciones agropecuarias. CRI Quilamapu, (Chile), pp 13-46.
- Ortíz, M. 2007.** Detección y rastreo de dispositivo de inspeccion y matenimeiento (DIM) por medio del sistema de posicionamiento global (GPS) para la red de ductos de PEMEX. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México, pp. 1-172.

Reynolds-Chávez, M. A. 2014. Uso de labranza vertical y agricultura de precisión para optimización de energía en la labranza primaria del suelo. Tesis doctoral. Ingeniería en sistemas de producción. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Mexico.

Valero-Ubierna, C., L. M. Navas Gracia, F. González Herrero, J. Gómez Gil, G. Ruiz Ruiz, P. Barreiro Elorza, & M. Garrido Izard. 2010. Ahorro y eficiencia energética en la agricultura de precisión. Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), equipo de las Universidades de Valladolid y Politécnica, Madrid.

Villarroel, D., F., Scaramuzza, A., Méndez, & J., Vélez. 2014. El piloto automático en la agricultura. INTA EEA Manfredi. Argentina

VIII. ANEXOS

8.1. Anexo A. Pasos para llevar a cabo las pruebas del consumo de combustible.

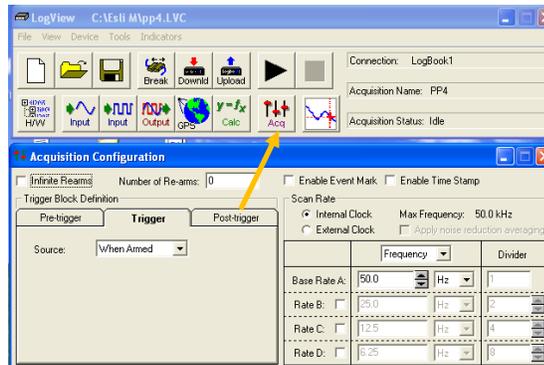
➤ Abrir el software (LogView)



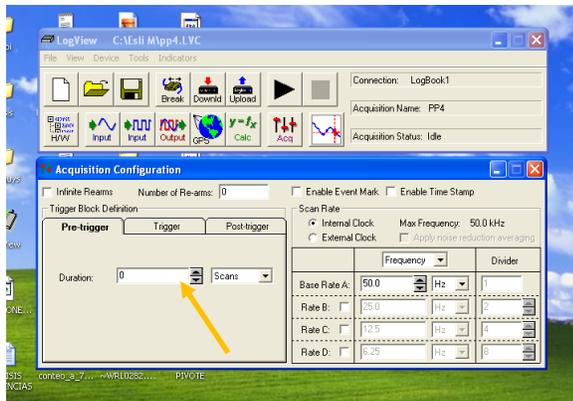
➤ Aparecerá la ventana siguiente.



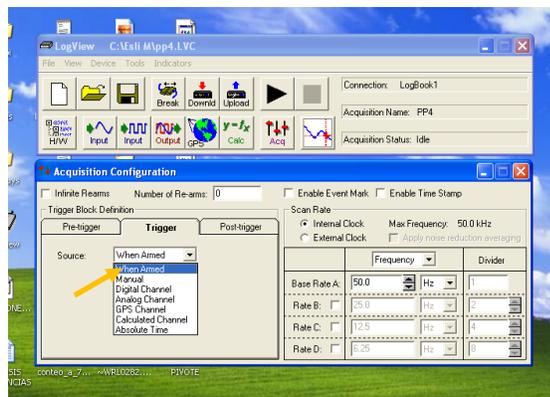
➤ Abrir el ícono Acquisition Configuration



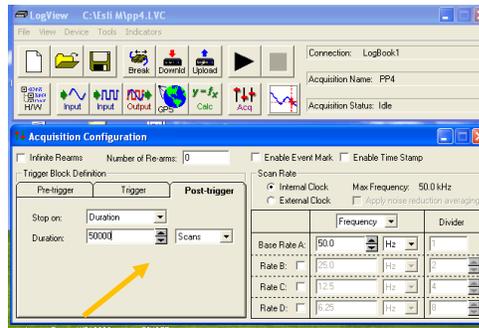
- Dentro de la configuración en Pre-trigger darle un valor de 0, para comenzar a contar desde ahí



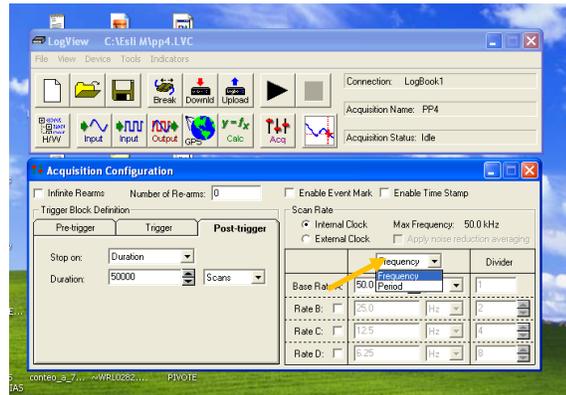
- Pulsar Trigger y seleccionar lo que se muestra en la figura.



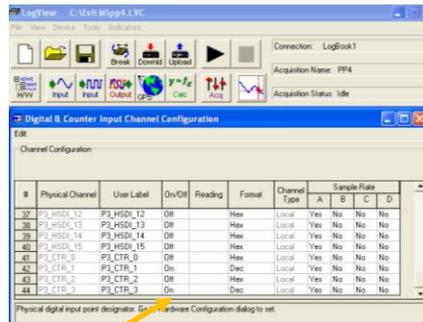
- En Post-trigger darle un valor de 50,000 datos, para que pueda contar lo suficiente, y si el conteo llega antes, interrumpir y darle aceptar.



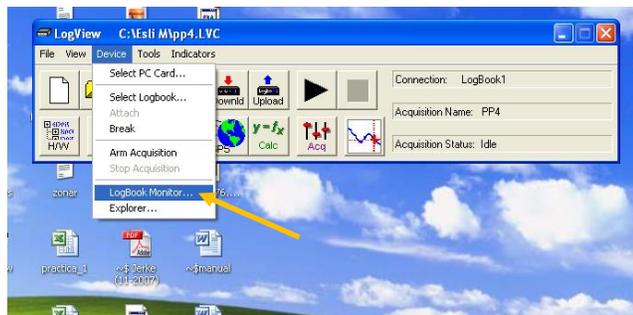
- Seleccionar *Frequency* y darle un valor de 50 Hz



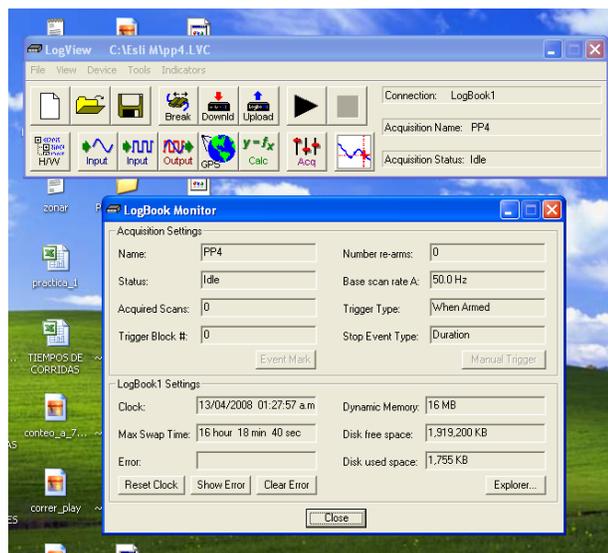
- Una vez teniendo la configuración, prender ON (con doble clic) y seleccionar "Decimal" para estos datos.



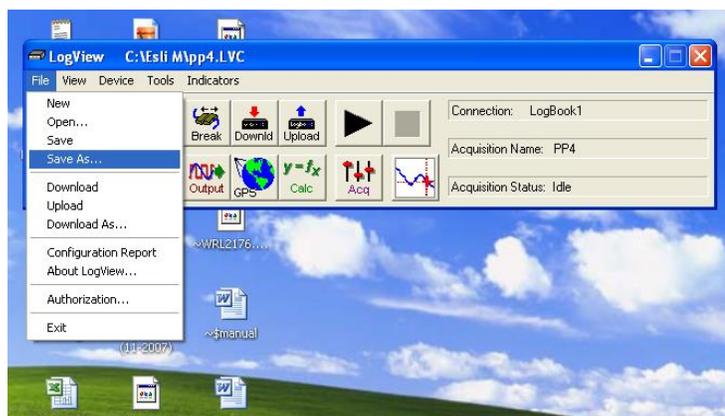
- En el ícono *Device* Seleccionar *LogBook Monitor* para que se pueda seguir el número de pulsos arrojados como se muestra en la siguiente figura.



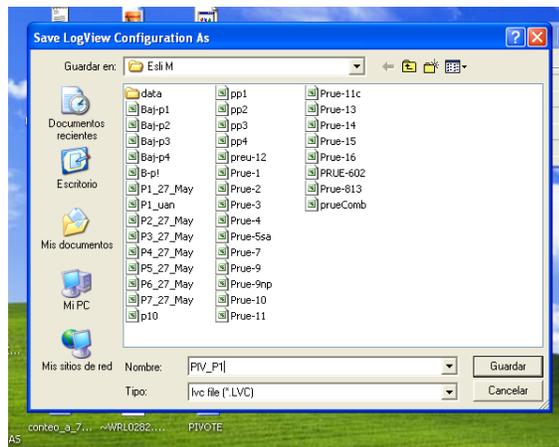
- LogBook Monitor



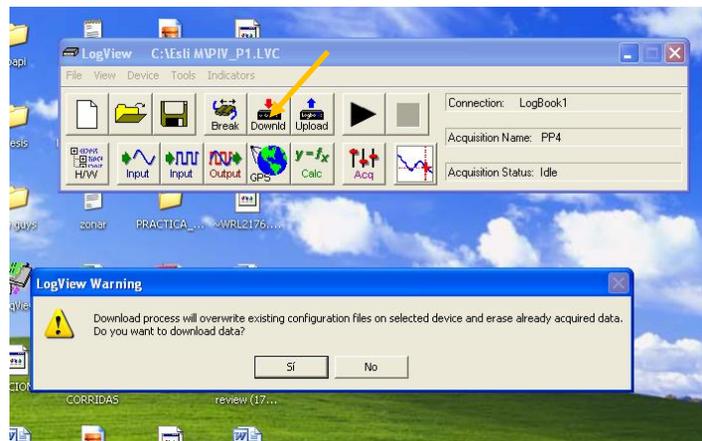
- Crear una carpeta en el equipo (C)
- Ir a *File* y después a *guardar como*



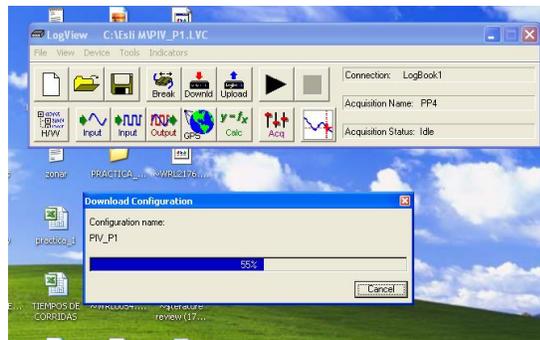
- Dentro de la carpeta creada-nombrar el archivo y guardar



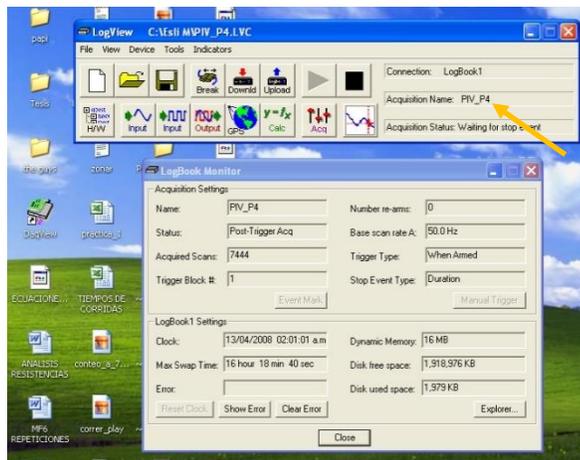
- Descargar el archivo y darle si.



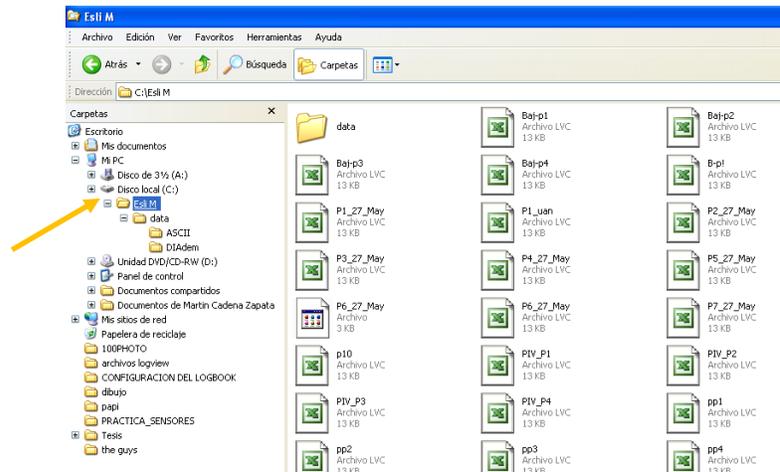
- Esperar a que descargue.



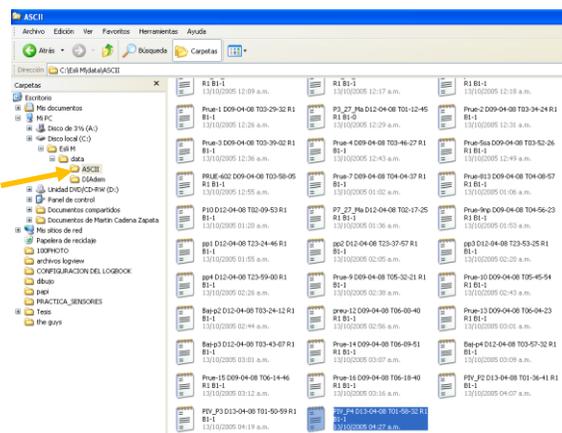
- Verificar que haya cambiado el nombre



- Abrir disco local C y buscar la carpeta creada.



- Abrir carpeta Data-ASCII-DIAdem y abrir el archivo creado.



- Arroja los datos para poder graficar

Time	ms	P3_CTR_1	P3_CTR_3
0	0	0	0
+000:00:00	20	0	1
+000:00:00	40	1	1
+000:00:00	60	1	2
+000:00:00	80	2	2
+000:00:00	100	2	5
+000:00:00	120	2	5
+000:00:00	140	3	6
+000:00:00	160	3	6
+000:00:00	180	4	6
+000:00:00	200	4	7
+000:00:00	220	4	7
+000:00:00	240	5	8
+000:00:00	260	5	8
+000:00:00	280	6	9
+000:00:00	300	6	9
+000:00:00	320	6	10
+000:00:00	340	7	10
+000:00:00	360	7	10
+000:00:00	380	8	11
+000:00:00	400	8	12
+000:00:00	420	8	14
+000:00:00	440	9	14
+000:00:00	460	9	15
+000:00:00	480	10	15
+000:00:00	500	10	15
+000:00:00	520	11	16
+000:00:00	540	11	16
+000:00:00	560	11	16

- Abrir el asistente para *graficar*-tipos estándar-línea-seleccionar el primer cuadro y –finalizar.

Asistente para gráficos - paso 1 de 4: tipo de gráfico

Tipos estándar Tipos personalizados

Tipo de gráfico:

- Columnas
- Barras
- Lineas**
- Circular
- XY (Dispersión)
- Áreas
- Anillos
- Radial
- Superficie
- Burbujas

Subtipo de gráfico:

Línea. Presenta tendencias a lo largo del tiempo o entre categorías.

Presionar para ver muestra

Cancelar < Atrás Siguiente > **Finalizar**

8.2. Anexo B. Instalación y conexión del piloto automático

Colocación de antena receptora de GPS StarFire 6000 en el toldo de tractor como se indica.



Identificación de área de montaje de antena.

Posicionar antena en su base, para posteriormente bajarla y asegurarse que clipée, para su correcto aseguramiento.



Conectar arnés de antena con el cableado del sistema del tractor.



Colocación de pantalla John Deree GS3 2630 en su base, ubicada en el tractor.

1. La pantalla cuenta con dos tornillos, para su colocación. Como se aprecia en la imagen.

2. Sobreponer la pantalla en la base, haciéndola coincidir con los orificios y ajustar los tornillos



3. Quedando de este modo, cuidando cualquier alteración que pueda presentarse. Ubicar la terminal hembra en la pantalla donde va el arnés de alimentación y datos proveniente del módulo de control del piloto automático.

4. Ubicar en el tractor el arnés macho con referencia PF80793 que va conectado en la pantalla.



5. Quedando de este modo ya colocado en la pantalla, checando su correcto ensamble entre ambas terminales.

Puesta en marcha del sistema piloto automático.

1. Se ubica el switch (encendido y apagado) del sistema piloto automático, el cual se encuentra al lado derecho del encendido del tractor.



2. Poner el switch en posición ON, bajando el interruptor de palanca, siendo el punto medio su posición OFF.

3. Una vez puesto el interruptor en ON, se energizara la Pantalla, desplegando la siguiente imagen de inicio de sistema.



Antes de cualquier operación.

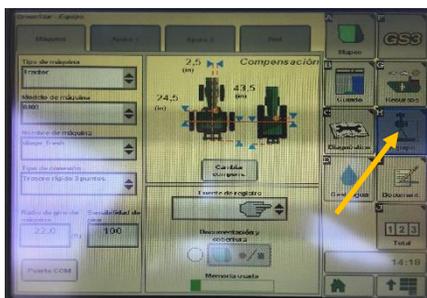
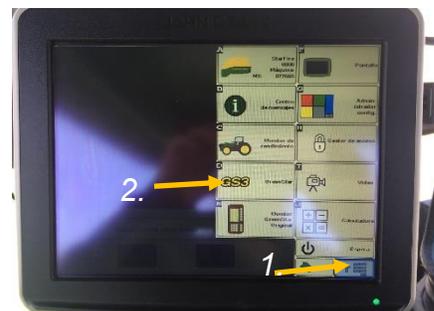
Antes de poner en operación el sistema, hay que tener en cuenta las dimensiones del propio tractor y el implemento a usar ya que estas serán ingresadas en la pantalla para que el sistema calcule la eficiencia de la superficie a cubrir en su operación. En una mala relación de medición de estos puntos derivara en un deficiente e impreciso sistema de guiado automático.

Parámetros a considerar para un rendimiento óptimo del sistema:

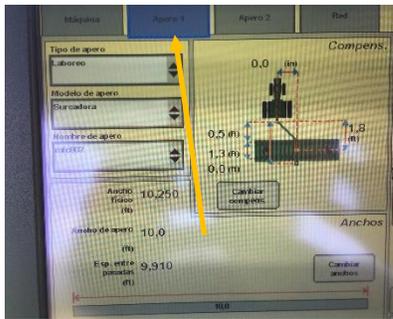


Colocación de la antena GPS en el punto medio de referencia a tomar nuestro punto cero del tractor y del implemento a utilizar. Si existe ligera variación, esta se podrá corregir mediante software. En el mismo sistema.

Presionar (1) el icono coloreado en azul ya que este muestra la función activa, al presionarlo se desplegara la pantalla principal del sistema como se observa en la figura.



Al presionar “D” se desplegara el menú. Seleccionar el icono “H” Equipo, donde se podrán configurar las pestañas de Maquina, Apero 1, Apero 2 y Red. En el apartado de Maquina ingresar las medidas que pida el sistema.



En menú “H”, seleccionar la pestaña “Apero 1”, el cual se configurara con las medidas del implemento a usar. El sistema trae para configurar 2 implementos apero 1 y apero 2

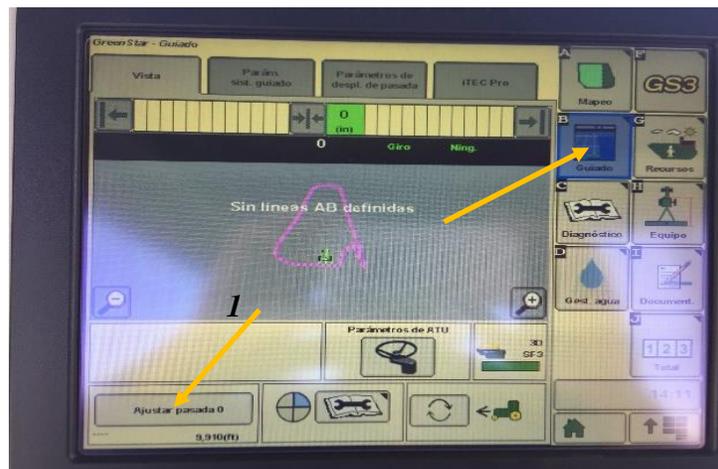
Una vez teniendo los parámetros anteriores, ya se podrá empezar a gestionar el uso del sistema de piloto automático siguiendo los pasos más adelante descritos para su activación.

Checar calibración del sistema y levantamiento del perímetro a trabajar en metodología

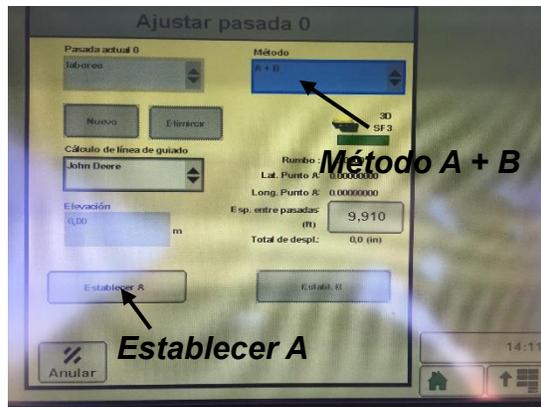
Definición de dirección de trabajo. Puntos A+B

Hace referencia a la dirección del surcado que queremos trabajar dentro del polígono, es decir, direccionar el desplazamiento a reconocer por el sistema automático, que puede ser paralelo a nuestra dirección actual o perpendicular.

Oprimir 1 después el icono “B” guiado, el cual nos despliega la imagen mostrada, como siguiente paso Seleccionar *ajuste de pasadas* (1), que hace referencia al direccionamiento que se dará.

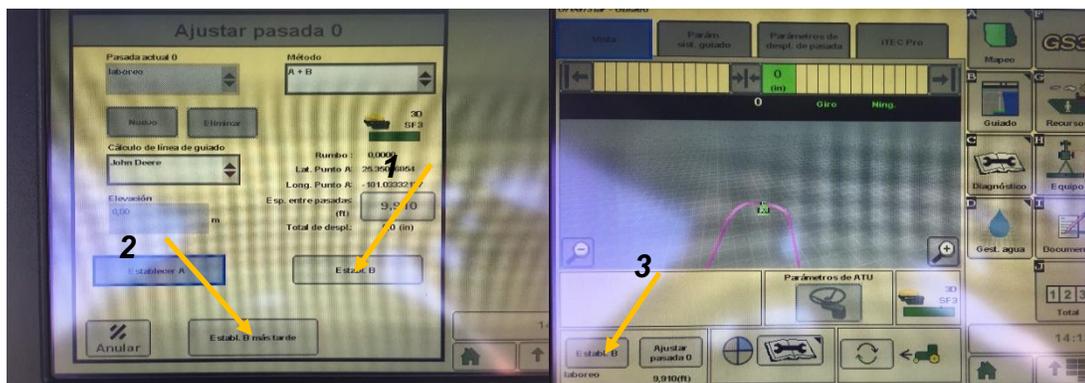


Seleccionar la referencia de método “A + B”, primero decretaremos el punto A en nuestra posición actual, pulsando establecer A.



Para establecer “B” se puede hacer de dos formas.

Es posible establecer “B” en la misma pantalla donde se estableció “A” (imagen de la izquierda) desplazando el tractor en la dirección que le queramos dar al laboreo hasta el punto límite de nuestro perímetro y oprimir *establecer “B”* (1)



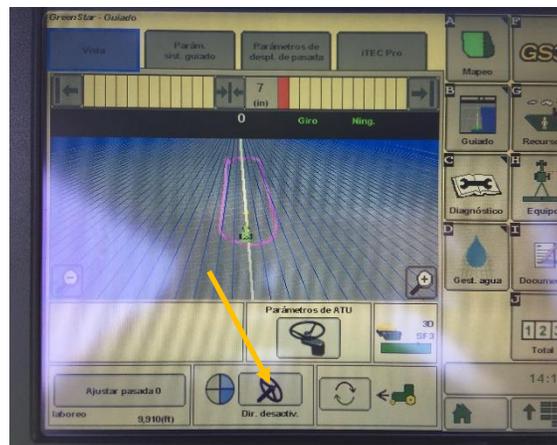
O bien oprimir en la pantalla el icono *establecer “B” más tarde* (2), una vez llegando al punto final de la línea a marcar, establecer “B” (3)

Automáticamente se colocan líneas de color azul la dirección de laboreo y número de líneas existentes dentro de nuestro perímetro y en color blanco la línea actual donde estamos posicionados.



Activar piloto automático

Una vez teniendo los pasos anteriores, activar en la pantalla el icono del volante, que es preparar la dirección para ser conducida por el sistema.



Por último activar en el volante el sistema y este se hará cargo de corregir cualquier desviación que se tenga manteniéndolo en un rango de 0.



Este se activa como se ilustra en la figura 1, haciendo poca presión y desplazando el dedo en el área.

Estatus del sistema ya activado (2), con este último paso, representado con un círculo en color verde y una letra "A".

Resumiendo

Para ser activado el piloto automático se debe de rellenar los cuatro cuadrantes del círculo indicador de estatus del sistema siendo esto los siguientes pasos.

