



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE DOS DOSIFICADORES NEUMÁTICOS EMPLEANDO
INSTRUMENTOS VIRTUALES PARA AGRICULTURA DE PRECISIÓN**

Por:

JARRY ENCISO BEGINES

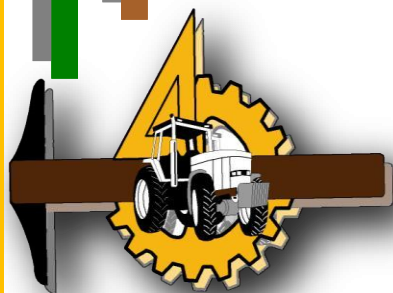
Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

JUNIO DEL 2016



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA

EVALUACIÓN DE DOS DOSIFICADORES NEUMÁTICOS EMPLEANDO
INSTRUMENTOS VIRTUALES PARA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

POR:

JARRY ENCISO BEGINES

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

M.C Genaro Demuner Molina

Sinodal

Dr. Santos Gabriel Campos Magaña

Sinodal

Ing. Héctor Emilio González Ramírez

Coordinador de la División de Ingeniería

Dr. Luis Samaniego Moreno

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRRO"



Coordinación de
Ingeniería

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México. JUNIO del 2016

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a **DIOS PADRE** por haberme dado la vida y la oportunidad de darme el tiempo para poder cumplir una de mis metas en la vida, así como de permitir que mis padres y hermanos puedan ver este logro cumplido ya que no solo es mío, sino de todos ustedes por el gran apoyo día con día.

A don **ANTONIO NARRO** por hacer posible que esta universidad existiera, y a la vez agradezco a **la UAAAN** por abrirme sus puertas y permitirme alcanzar este logro tan importante en mi vida, y dejarme decir con orgullo que ella es mi **ALMA TERRA MATER**.

Al M.C. Héctor Uriel Serna Fernández, porque es una de las personas que me apoyaron de manera desinteresada y honesta, que sus regaños y enojos fueron de mucha ayuda para forjar la disciplina necesaria para poder llegar al final de esta carrera y saber lo que en realidad quiero en la vida, tan solo le digo: MUCHAS GRACIAS POR TODO.

AL M.C. Juan Antonio Guerrero Hernández, una de las personas que me demostró que si se quiere algo, uno se tiene que esforzar al máximo para poder lograrlo.

Al Dr. Santos Gabriel Campos Magaña, por su apoyo y consejos dentro de este proyecto realizado.

Al M.C. Genaro Demuner Molina, por darme la oportunidad de realizar este trabajo y ser mi asesor de tesis, a su apoyo tiempo y dedicación para la terminación de este proyecto.

Al M.C. Gerardo Sánchez Martínez, por su amistad sincera, a sus regaños que me sirvieron bastante para poder ser una mejor persona y comprender que no todo en esta vida es fácil.

A los diversos maestros del Departamento de Maquinaria Agrícola en especial al, **Ing. Rosendo González Garza, Ing. Juan Arredondo Valdez y Dr. Jesús Rodolfo Valenzuela García.**

A mis compañeros de la carrera de Ing. Mecánico Agrícola, en especial a **Carlos Linares Cerda** que fue y será un gran amigo, que estuvimos en las buenas y las malas, cuando sentíamos que el mundo se nos venía encima dentro de los primeros semestres, que a pesar de eso nunca dudamos de nosotros y míranos ahora terminando un ciclo, gracias por tu amistad sincera y todos esos momentos inolvidables y aventuras que pasamos.

DEDICATORIA

Este trabajo fue gracias al esfuerzo y sacrificios de muchas personas por ese motivo es para ustedes.

A mis padres:

Sr. DAVID ENCISO LARIOS.

Sra. ELIA BEGINES FERNANDEZ.

Por el apoyo y sacrificio que realizaron durante este tiempo.

A mi **Padre** por ser la persona que más admiro, porque gracias a él ahora soy una persona de bien, porque él me formo de esta manera gracias a sus regaños y castigos, tan solo es una forma de agradecerte todo lo que haces por mí, porque nunca terminare de agradecerte y nunca encontrare la forma de hacerlo, por todo esto muchas gracias y este trabajo te lo dedico a ti **PAPÁ**

A mi **Madre** el ser más cariñoso y maravilloso que puedo tener a mi lado, por todo lo que hiciste por mí, por brindarme todo tu apoyo y confianza, para hacerme creer que si podría realizar mis metas y mis sueños, por todos los sacrificios que hicieron por mí muchas gracias, este trabajo te lo dedico de todo corazón a ti **MAMÁ**

A mis hermanos:

Karina Enciso Begines.

Juan Enciso Begines

Alfredo Enciso Begines

Daniel Enciso Begines

Por todo su apoyo que me brindaron durante este tiempo y nunca me dejaron solo cuando más necesite de ustedes, por eso este logro también es de todos ustedes porque somos una familia por eso este trabajo se los dedico **HERMANOS.**

A mi novia:

Anaceli González González.

A ti por ser el amor de mi vida, por ser una de las personas más importantes en mi vida, por darme ese gran apoyo y toda tu confianza, para hacer que creyera en mí y así poder superarme como persona, por hacerme tan feliz, por estar conmigo en las buenas y en las malas por eso te dedico el primero de muchos logros.

A mi amigo:

Ing. Martin Linares Lugo

Por apoyarme tanto en esta etapa de mi vida, por ser para mí como una figura paternal y considerarme de su familia, por siempre darme esos consejos que me ayudaron mucho a superarme como persona, además de su gran amistad por eso este trabajo se lo dedico.

A mis amigos:

Miguel López González (El Billick)

Alejandro Rivera Ramírez (El Buffez)

A los dos les doy las gracias por brindarme su amistad y creer en mí y que lo lograría, por apoyarme siempre de una manera u otra, por todo lo que hemos pasado por todas las aventuras por todos esos momentos felices que pasamos, porque somos una segunda familia, por eso este trabajo se los dedico.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN	11
1.1	Importancia del uso de instrumentos virtuales en la Agricultura de Precisión	12
1.2	Justificación del problema.....	12
II.	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo General	14
2.2	Objetivos Específicos:.....	14
III.	HIPOTESIS	14
IV.	REVISION DE LITERATURA.....	15
4.1	Agricultura de precisión	15
4.1.1	Agricultura de precisión a nivel mundial y nacional.....	18
4.2	Funciones de una sembradora.	20
4.3	siembra de precisión.....	21
4.3.1	Factores que afectan el llenado de celdas y daño en la semilla.....	22
4.4	Beneficios de la siembra de precisión	23
4.4.1	componentes de una sembradora de precisión	23
4.5	Pruebas y evaluación.....	24
4.6	Variabilidad.....	25
4.6.1	Mapas de rendimiento	26
4.7	Dosis variable.....	26
V.	MATERIALES, EQUIPO Y METODOS.....	28
5.1	Ubicación del lugar de investigación	28
5.2	Materiales.....	28
5.4	Metodología	34
5.4.1	Evaluación de tarjeta electrónica desarrollada en el laboratorio de electrónica del departamento de maquinaria agrícola utilizando banco de sembradoras	35
5.4.2	Realización de repeticiones a diferentes velocidades y obtención de datos.....	35
VI.	RESULTADOS.....	36
6.1	Evaluación del sistema de dosificadores neumáticos (PP y JD)	37
6.1.1	Evaluación de los dosificadores de forma semiautomática.	37
6.1.2	Evaluación de los dosificadores de forma automática.	41

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	44
IX. ANEXOS.....	47
Anexo A	47
Anexo B	50
Anexo C	51
Anexo D	55
Anexo E.....	57
Anexo F Análisis del programa automático para JD.....	58
Anexo G Análisis del programa automático para PP	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Etapas de la agricultura de precisión	16
Figura 2.- Esquema del círculo virtuoso de la Agricultura de Precisión.....	18
Figura 3 Mapa de rendimiento	26
Figura 4 Taller y Laboratorio de prototipos	28
Figura 5 Microcontrolador PIC16F84A.....	28
Figura 6 Sensor opto electrónico de barrera H21A1	29
Figura 7 Taller de máquinas y herramientas	29
Figura 8 Banco de pruebas.....	30
Figura 9 Sensor de semilla real	30
Figura 10 Sensor de semilla ideal	31
Figura 11 Tarjeta electrónica.....	31
Figura 12 Tarjeta de adquisición de datos.....	32
Figura 13 Tarjeta de conexión de señales	32
Figura 14 Variador de frecuencia.....	32
Figura 15 disco perforado	33
Figura 16 Programador PICKit2	33
Figura 17 Unidad de vacío utilizada	34
Figura 18 Computadora Lanix Titán.....	34
Figura 19. Banco de pruebas	36
Figura 20. Grafica de comportamiento de regresión polinomial para el dosificador John Deere.....	38
Figura 21. Grafica de comportamiento de ajuste para el dosificador John Deere.	38
Figura 22. Grafica de comportamiento de regresión polinomial para el dosificador Precision Planting.	40
Figura 23. Grafica de comportamiento de ajuste para el dosificador Precision Planting.	40
Figura A1 Circuito impreso en la placa de cobre.....	47
Figura A2 Placa de circuito en acido férrico.....	48

Figura A3	Placa sin ácido y sin cobre a excepción de las líneas del circuito.....	48
Figura A4	Perforación de tarjeta	49
Figura A5	Colocación de componentes en la tarjeta	49
Figura C1	Colocación correcta del microcontrolador	51
Figura C2	Grabador no detectado	51
Figura C3	Elección de familia del microcontrolador	52
Figura C4	Leyendo el microcontrolador	52
Figura C5	Grabando la información.....	53
Figura C6	Forma importar o exportar el archivo	54
Figura C7	ejemplo de archivos con extensión Hex	54
Figura D1	Selección nuevo archivo de texto.....	55
Figura D2	Configuración archivo de texto.....	55
Figura E1	Dosificador marca John Deere	57
Figura E2	Dosificador marca Precision Planting	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.-	Etapas para la investigación de agricultura de precisión (Ortega y Flores, 1999)	17
Tabla 2	Tendencias de aplicación de AP, de acuerdo con zona geográfica.	20
Tabla 3.	Análisis de regresión polinomial para el dosificador John Deere	37
Tabla 4	Análisis de media para el dosificador John Deere.	39
Tabla 5	Análisis de regresión polinomial para el dosificador Precision Planting	39
Tabla 6	Análisis de media para el dosificador Precision Planting.	41
Tabla 7	Coefficientes de variación y desviación estándar para el dosificador Precision Planting.	41
Tabla 8	Coefficientes de variación y desviación estándar para el dosificador John Deere.	42

RESUMEN

Se contribuyó al desarrollo de un sistema de simulación en tiempo real de dosis variable de semillas y a la instrumentación de un banco de pruebas el cual pueda realizar un registro automático de dosificación variable vs dosificación teórica, para ser empleada en investigación y enseñanza de agricultura de precisión. El sistema desarrollado incluye entre otros un programa de control empleando instrumentos virtuales mediante programación de objetos con la facilidad de LabVIEW. El programa permite el control de la velocidad del dosificador de semillas, leyendo una tabla de prescripción, además del registro en tiempo de semillas reales e ideales. Los dos dosificadores evaluados mostraron un efecto sobre el % de dosificación cuando se incrementa la velocidad de 4 a 5 volts (960 a 989 sem/min), para el caso del dosificador de John Deere este % se ve reducido hasta un 10% y para el caso de Precision Planting hasta un 7%. Para la uniformidad de siembra para el caso de dosificador John Deere esta se ve afectada hasta un 5.5% de CV para velocidades mayores a 1000 sem/min, para el caso de Precision Planting el CV no se ve afectado por velocidades de hasta 1000 sem/min presentando un coeficiente de variación menor al 4% por lo anterior podemos indicar que para velocidades de hasta 1000 sem/min el dosificador recomendado es el de Precision Planting para las condiciones de evaluación conducidas. Se recomienda terminar de integrar el módulo de evaluación con los aditamentos que se requiere como son vacuometro en un rango de hasta 30 Pulgadas de agua, sensores de efecto Hall para la velocidad ideal así como una tarjeta de National instrument de al menos 4 canales.

Palabras Clave: *Dosificación, Control de velocidad, Base de Datos, sembradoras*

Correo electronico; Jarry Enciso Begines, enciso-jarry@outlook.com

I. INTRODUCCIÓN

La agricultura de precisión o manejo de sitio específico es la utilización de herramientas que permiten la obtención y análisis de datos geo-referenciados, mejorando el diagnóstico, la toma de decisiones y la eficiencia en el uso de insumos así como una disminución sustantiva en la contaminación (Medina *et al.*, 2010).

A nivel mundial las oportunidades y riesgos actuales en la producción de alimentos está vinculada con: alta demanda mundial de alimentos (granos, carne, aceite, proteína, bioenergía); alta demanda y costo de petróleo y gas natural en todo el mundo (el gas natural es 90% del costo de la producción de amoníaco); aumento del área fertilizada en el mundo, deficiencias de nutrientes que limitan la producción de cultivos y forrajes así como altos índices de contaminación ambiental entre otros (Dávila 2010).

Una forma de contrarrestar estos efectos y corregir algunas de sus causas es mediante el manejo óptimo en la aplicación de insumos en la agricultura, para la aplicación de esta tecnología se requiere de una fase de diagnóstico previo de rendimiento, combinado con muestreo de ambientes a nivel de predio para determinar los factores limitantes de la producción así como su localización precisa para poder de ahí, realizar las prescripciones en tiempo real y sitio específico de insumos.(Maroni 2007).

Existen alrededor de 20 países que han incorporado estos sistemas inteligentes y automatizados en la aplicación de insumos agrícolas, entre los que destacan Estados Unidos con 30 000 unidades de producción, Argentina con 1200, Brasil con 250, Reino Unido con 400, Paraguay con 4 y México con cero unidades (AGCO 2005).

En la actualidad la creciente preocupación medioambiental y la necesidad de producir alimentos de mayor calidad de una manera sostenible y respetuosa con el entorno, ubican al sector agroalimentario en el punto de mira de la sociedad. El empleo de la tecnología del Sistema de Posicionamiento Global (GPS, siglas en inglés) en el ámbito civil ha fomentado el surgimiento de nuevas fuentes de desarrollo, entre las que se puede mencionar la Agricultura, y muy particularmente la Agricultura de Precisión. La cual se puede definir como la posibilidad de aplicar tratamientos distintos a escala local de un cultivo y obtener una mayor producción con el menor costo posible. El rendimiento agrícola resume el resultado de todo el

ciclo de producción de un cultivo, por lo que su censado y mapeo brindan la posibilidad de conocer cómo fue su variabilidad sobre todo el terreno. Esto ofrece la posibilidad de manejarlo con la elaboración de un mapa de rendimiento del cultivo y una vez obtenido el rendimiento de cada punto se le puede aplicar una dosis variable de pesticidas, abonos, fertilizantes, etc., contribuyendo a minimizar el costo de la producción, el aumento de la producción y a lograr un mejor equilibrio con el ambiente (Lago *et al.*, 2011).

1.1 Importancia del uso de instrumentos virtuales en la Agricultura de Precisión

La agricultura de precisión (AP) es una estrategia de manejo que utiliza la tecnología de la información para captar datos de múltiples fuentes para generar decisiones asociadas a la producción de cultivos (US National Research Council, 1997).

Otra definición de la AP es un sistema de producción que se basa en la integración de la información y la producción. Está diseñado para sitios específicos y la unidad completa de producción, a objeto de incrementar en el largo plazo, la eficiencia, productividad y margen de ganancia, minimizando los indeseados impactos sobre el ambiente (US Farm Bill, 1996)

1.2 Justificación del problema

Actualmente en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro se encuentra en proceso la integración de laboratorios para la AP, actualmente no se cuenta con la maquinaria ni equipos e instrumentos automatizados suficientes para docencia e investigación en mecanización para la agricultura de precisión, pero con los pocos que se cuentan los cuales son: un tractor equipado para montar equipo para realizar distintas evaluaciones, carro porta sensores para el monitoreo de resistencia a la penetración de suelo así como medir la conductividad eléctrica dentro de los terrenos para realizar mapas de prescripción, se cuenta con un banco de pruebas semi-automatizado para la evaluación de sembradoras neumáticas así como la realización de mapas de muestreo empleando las pantallas FMX y RTK, que son de mucha influencia dentro de la AP.

Por tal motivo durante la convocatoria interna 2009 para proyectos de Investigación de la Universidad, fue presentado y autorizado un proyecto de investigación denominado: “DESARROLLO DE EQUIPOS, SENSORES E INSTRUMENTOS PARA AGRICULTURA DE PRECISIÓN Y LABRANZA DE CONSERVACIÓN”. Cuyos Objetivos planteados fueron:

1. Fortalecer la enseñanza e investigación en agricultura de precisión.
2. Evaluación de calidad de equipos agrícolas de labranza de conservación.
- 3. Desarrollo de un Sistema de simulación de dosis variable de semillas.**
- 4. Sistema de Dosificación Variable de Semillas en tiempo real.**
5. Desarrollo de equipo para la Generación de Mapas de Conductividad Eléctrica, resistencia al corte y penetración geo-referenciados.
6. Desarrollo de un Sistema Integral para el Monitoreo de Fuerzas en Equipos de Labranza.

El presente trabajo se enfoca en los objetivos 3 y 4.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

- Instrumentar un banco de pruebas el cual pueda realizar un registro automático de dosificación variable vs dosificación teórica, en donde se integre la digitalización de dosificación variable de semilla con control automático de velocidad desplegado en tiempo real para fines de docencia e investigación.

2.2 Objetivos Específicos:

- Instalación y operación de los dosificadores neumáticos, marca John deere y Precisión planting.
- Generar la información para evaluar el comportamiento de dos dosificadores en función de la velocidad de dosificación.

III. HIPOTESIS

- Se comprobará si los dosificadores de semilla evaluados en la agricultura de precisión tienen una eficiencia de dosificación aceptada para ser utilizados en campo en la Agricultura de Precisión.

IV. REVISION DE LITERATURA

4.1 Agricultura de precisión

La AP según Bragachini (2004), permite obtener datos georreferenciados cuantificando la variabilidad espacial del rendimiento dentro de un lote, disponiendo esa información se puede orientar un muestreo dirigido al suelo, lo que facilita la identificación de las causas para ajustar un diagnóstico más preciso en cada sitio del lote esquematizado en la pantalla de un computador, obteniendo la información técnica para ajustar diagnósticos de fertilización y densidad de siembra.

La AP es un concepto agronómico de gestión de parcelas agrícolas, basado en la existencia de una importante variabilidad espacial a nivel de campo. La (AP) requiere del uso de varias herramientas tecnológicas dentro de las cuales destacan, los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), sensores remotos, imágenes aéreas y/o satelitales junto con Sistemas de Información Geográfico (SIG) para estimar, evaluar y entender dichas variaciones dentro del terreno (Villalobos *et al.*, 2009).

De acuerdo con Medina *et al.*, (2010), la AP 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.

Del Campo (2005), define la AP como «El uso de la tecnología de la información para adecuar el manejo de suelos y cultivos a la variabilidad presente dentro de un lote». La AP involucra el uso de sistemas de posicionamiento global y de otros medios electrónicos para obtener datos del cultivo. La información obtenida puede usarse para implementar planes de manejo de la variabilidad. Junto a la biotecnología, la agricultura de precisión es uno de los cambios tecnológicos más importantes que ha vivido la agricultura en los últimos años.

En cambio Maroni (2007), menciona que la agricultura de precisión podría definirse como un conjunto de prácticas agrícolas utilizadas para identificar y registrar la variabilidad de ciertos parámetros agronómicos dentro de un mismo lote. Sobre la base de dicha

información se aplican dosis variables de insumos posicionándolos en el lote acorde a la necesidad de un nivel de productividad prefijado.

De acuerdo con AGCO (2005), los agentes involucrados en el desarrollo y adopción de las prácticas de agricultura de precisión suelen dividir este conjunto de tecnologías en tres etapas diferentes (figura 1):

- 1.- Recolección de datos.
- 2.- Procesamiento e interpretación de la información.
- 3.- Aplicación de insumos.

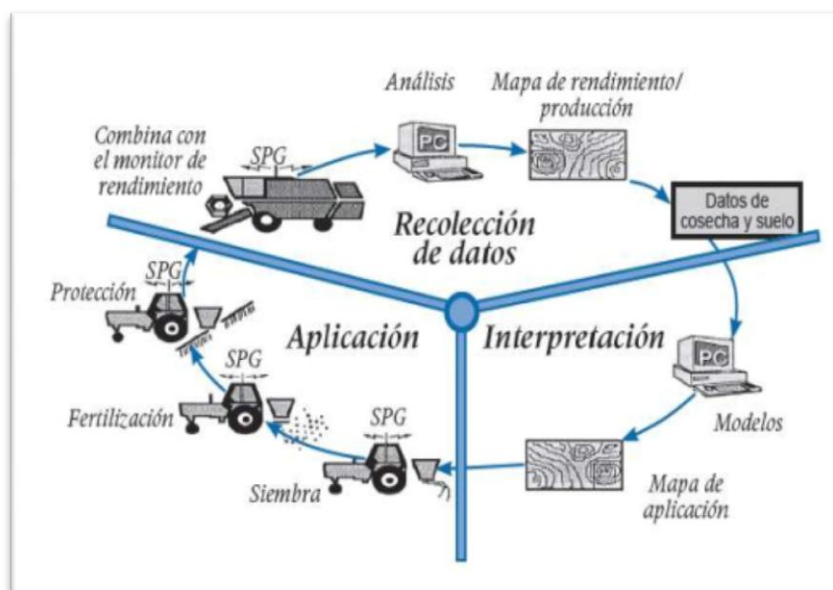


Figura 1.- Etapas de la agricultura de precisión

Las etapas principales para la investigación de AP (tabla 1), son muy importantes para una buena recolección de datos, así como el análisis e interpretación de los mismos, para de esta manera obtener mejores resultados para afín de la investigación (Ortega y Flores, 1999).

Tabla 1.- Etapas para la investigación de agricultura de precisión (Ortega y Flores, 1999)

ETAPA	TECNOLOGIA INVOLUCRADA	ACTIVIDADES
	Sistemas de posicionamiento global (GPS)	Medición de la topografía del suelo
	Sistemas de información geográfica (SIG)	Muestreo de suelos en grilla
Recolección e ingreso de datos	Instrumentos topográficos	Recorrido de los cultivos para la detección de plagas y enfermedades
	Sensores remotos	Monitoreos de rendimientos
	Sensores directos	Medición directa de propiedades del suelo y cultivos
		Sensoriamiento remoto de suelos y cultivos
		Digitalización de mapas
	Programas de SIG	Análisis de dependencia espacial
Análisis, procesamiento e interpretación de la información.	Sistemas expertos	Confección de mapas de evaluación
	Programas estadísticos	Confección de mapas de prescripción
	Experiencia del operador	Otras
	Tecnología de dosis variable	Aplicación variable de nutrientes
Aplicación diferencial de insumos	Pulverización asistida por GPS	Aplicación variable de plaguicidas
	Programas computacionales	Siembra diferencial de variedades y aplicación variable de semillas.

Actualmente se sigue avanzando en los conocimientos agronómicos, en la apuesta a punto de las herramientas de cosecha de datos georreferenciados, en el diseño de ensayos y en el desarrollo de nuevas herramientas como los sensores remotos de tiempo real; la percepción

remota aportara importantes adelantos tecnológicos (figura 2). También y por otro camino paralelo se está mejorando la precisión, facilidad de utilización, bajando los costos de todo el equipamiento necesario para equipar un tractor, ya sea con una fertilizadora, sembradora, o pulverizadora para realizar en forma eficiente la aplicación de insumos variables, a partir de una prescripción, de acuerdo a la necesidad real de cada sitio del lote (Norton *et al.*, 2001).

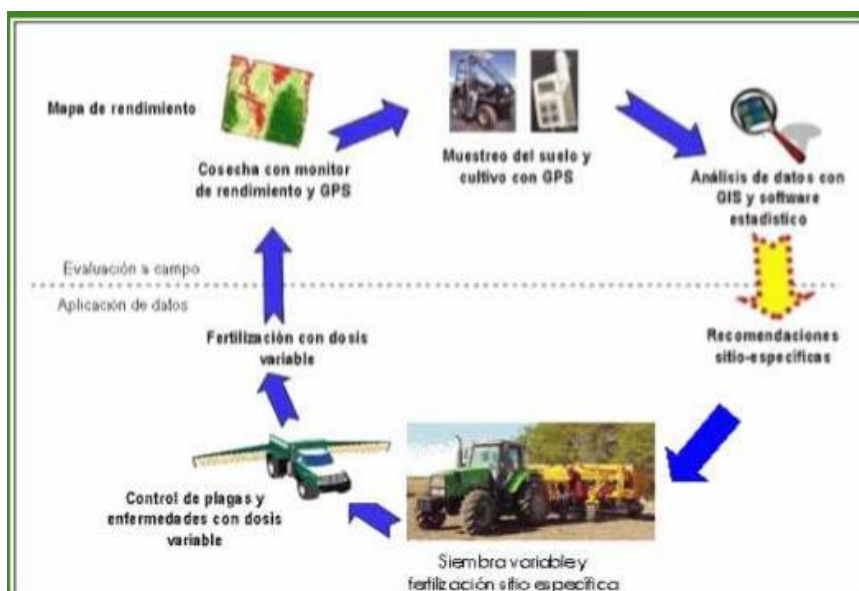


Figura 2.- Esquema del círculo virtuoso de la Agricultura de Precisión

4.1.1 Agricultura de precisión a nivel mundial y nacional

Dentro de las estimaciones Argentina es el segundo país más tecnificado en el sector agrícola, precedido solo por los Estados Unidos. Según señalo Andrés Méndez, (economía, 2012) técnico del INTA Manfredi, (instituto nacional de tecnología Agropecuaria), tiene siete millones de hectáreas sembradas con Agricultura de Precisión. De sus 33 millones de hectáreas sembradas, cuenta con 21.6% de esa superficie equipada con herramientas de agricultura de precisión (AP), según un cálculo realizado por el INTA Manfredi -Córdoba- a partir de información relevada por la Cámara Argentina de Fabricantes de Maquinaria Agrícola (CAFMA, 2006).

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 maquinas sembradoras y pulverizadoras, tales como Sudáfrica, Australia y Ucrania.

Con relación a una hipótesis de Norton y Swinton (2000), la AP va a ser adoptada primero en zonas de explotaciones grandes y con gran capital de inversión por hectárea. Las estadísticas de FAO (2002), muestran países como EEUU, Canadá y Australia cumplen con esas condiciones, pero creen que hay países en vías de desarrollo cuyo promedio de producción es disminuido por explotaciones de subsistencia, que poseen regiones que cumplen las condiciones necesarias para un uso rentable de la Agricultura de Precisión, en un futuro cercano por ejemplo la pampa húmeda Argentina o los cerrados brasileños.

El manejo de sitio específico tiene gran potencial en países en desarrollo como Europa Occidental, EEUU, Canadá, Japón, Australia y Nueva Zelandia, pero el uso de tecnologías de Agricultura de Precisión para automatizar el manejo sitio específico se limitara probablemente a zonas con producciones mecanizadas de gran escala, (tabla 2). Los patrones de adopción de la Agricultura de Precisión fuera de EEUU y Canadá no han sido estudiados en Profundidad, pero hay indicadores de que las condiciones locales van a jugar un papel importante en la velocidad de adopción y en que componentes de la tecnología se utilicen (Norton y Swinton, 2000).

Tabla 2 Tendencias de aplicación de AP, de acuerdo con zona geográfica.

Zona Geográfica	Sector productivo	Rubro
Europa (Italia Francia)	1° Cultivos Industriales	Maíz, Trigo, Canola
	2° Frutales	Pomáceas - Olivos
	3° Vitícola	Viñas
	4° Hortalizas	DE modo Experimental
Latinoamérica (Argentina y Brasil)	1° Cultivos industriales	Maíz, Soja, Canola, Trigo, Caña de azúcar
	2° Ganadería Bovina	Lechería
	3° Frutales	Manzano
América del Norte (USA)	1° Cultivos industriales	Maíz, Trigo, Soja
	2° Frutales	Berries, Pomáceas, Carozos, Frutos de nuez
	3° Viticultura	Viñas
Australia	1° Cultivos industriales	Trigo
	2° Viticultura	Viñas
	3° Ganadería	Ovina y bovina de carne

Sin embargo, el precio de todo el equipo necesario para la agricultura de precisión es sumamente elevado; el costo del tractor, así como del GPS, la computadora, el software y los instrumentos necesarios para hacer las mediciones, superan el millón de pesos, por lo cual en México, solo trabajan dos tractores con esas características, uno en Chihuahua y otro en Sonora (Dávila, 2010).

4.2 Funciones de una sembradora.

Para la realización de una buena siembra se requiere que una sembradora efectúe las siguientes funciones (Kepner, 1978):

- Abra el surco para la semilla a una determinada profundidad.
- Mida la semilla.
- Deposite la semilla en el surco dentro de un patrón aceptable.
- Cubra la semilla y compacte el suelo alrededor de la semilla a un grado propio para el tipo de semilla involucrado.

La sembradora debe ser capaz de no dañar la semilla para que haya una buena germinación.

4.3 siembra de precisión

Ortiz (1989), menciona las condiciones que se deben reunir para que una siembra pueda denominarse de precisión:

- Las semillas deben de ser de tamaño uniforme y forma preferiblemente esférica.
- Las celdas deben ser de tamaño apropiado para las semillas. Los platos y otras partes críticas del mecanismo de medición deben de ser fabricadas con exactitud
- Las semillas deben tener tiempo suficiente para entrar en las celdas para lo cual es importante la velocidad periférica del plato.
- Debe de existir un buen cepillo con objeto de evitar siembras múltiples y barrer las semillas mal colocadas con el objeto de que no se quiebren.
- Debe de existir un sistema positivo de inyección de las semillas de modo que las obligue a caer por el tubo de salida.
- El tubo de caída debe ser de un diámetro pequeño, liso, recto y debe terminar en la proximidad del fondo del surco, con el objeto de que no se retrase la semilla durante la caída. Así, sembrando a una velocidad de 5 km h^{-1} , con un espacio de 5cm, si una semilla se retrasa $1/30$ de segundo, al caer, será alcanzada por la semilla siguiente.
- Las semillas deben situarse a la profundidad adecuada y no desviarse por rebote o rodar en el surco.

Por otro lado Kepner (1978), define que las características que se deben de reunir para la siembra de precisión son:

- Las semillas deben de ser uniformes en tamaño y forma, preferiblemente esféricas.
- La celda debe de ser del tamaño apropiado para las semillas. Los platos y otras partes críticas del mecanismo de medición deben de ser hechas con exactitud
- Las semillas deben tener una adecuada oportunidad de entrar a las celdas. La velocidad del plato y la distancia de exposición de las celdas en el depósito son los parámetros básicos, siendo más efectivo a baja velocidad que largas distancias de exposición.
- Un buen mecanismo limpiador es necesario para prevenir llenado múltiple (exceso) de celda sin provocar una eliminación excesiva (déficit) de semillas.

- El tubo de caída debe de ser de un diámetro pequeño, liso, recto y debe terminar en la proximidad del fondo del surco, con el objeto de que no se retrase la semilla durante la caída.
- Las semillas deben situarse a la profundidad adecuada y no deben desviarse por rebote o rodar en el surco.
- Descargas positivas de las semillas desde las celdas.
- Las semillas no deben de ser dañadas

Las semillas deben ser transportadas de la unidad de medición al fondo del surco, de tal manera que el patrón de espaciamiento producido por el mecanismo de medición sea mantenido.

4.3.1 Factores que afectan el llenado de celdas y daño en la semilla

El porcentaje de llenado de las celdas para una sembradora dada esta influenciado por factores tales como: el tamaño máximo de las semillas en relación al tamaño de la celda, el rango de tamaño de la semilla, la forma de estas, la forma de las celdas, el tiempo de exposición de una celda a la semilla dentro del depósito y la velocidad lineal de la celda (Kepner, 1978).

$$\%fc = \left(\frac{R_s}{I_s} \right) * 100$$

Dónde:

$\%fc$: porcentaje de llenado de celdas

R_s : semillas reales

I_s : Semillas ideales

4.4 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 a aclareo.
- Siembra a distancia definitiva.
- Óptimas condiciones para la recolección. (Kepner, 1978).

4.4.1 componentes de una sembradora de precisión

Según (Kachman y Smith, 1994), las sembradoras de precisión son aquellas maquinas que pueden sembrar en surcos y son capaces de dosificar la semilla de una en una, además de tratar de reducir costos a la hora de dosificar de igual manera el fertilizante para dicha planta

Las partes de una sembradora de precisión (Ortiz., 1989), son las siguientes:

- Bastidor
- Discos cortadores de residuos
- Abridor de surcos
- Dosificador de semilla
- Dosificador de fertilizante
- Tapadores de surcos
- Transmisión
- Sensores de dosificación
- Turbina

García *et al.*, (2000), quienes desarrollaron un banco de ensayos para sembradoras neumáticas, que consiste en un moto-reductor de relación 6:1 con motor de 0.5 kW, la succión de vacío fue proporcionada por un sistema aspirador de 127 V, finalmente para la simulación de sacudidas empleó una leva, que permitió simular la magnitud y la amplitud de las sacudidas desde 0 hasta 25 mm. Además realizaron un estudio sobre la calidad de dosificación de sembradoras neumáticas en laboratorio, donde evaluó una sembradora mono-grado marca “STANHAY”, con tres tipos diferentes de semilla, a velocidades del disco dosificador de 12 y 24 rpm con tres niveles de vacío 30, 40 y 60 milibares con niveles de sacudidas de 2 y 4

impactos s^{-1} , con una amplitud de 20 mm. Como resultado de estos ensayos el reporta que las sacudidas alteran notablemente la calidad del trabajo, como también la velocidad excesiva del mismo disminuye la entrega de semillas del mecanismo dosificador.

Ramírez (2000), desarrolló un sistema semiautomático para el control de la frecuencia de la dosificación de la semilla en dos sembradoras unitarias, donde realizó pruebas para determinar el porcentaje de llenado de celdas, a la máquina de vacío a diferentes rangos de presiones y velocidades del plato semillero, el autor reporta que los resultados más satisfactorios se dieron a bajas velocidades (26 y 36 rpm) y de (10 y 12.5 pulgadas de agua).

4.5 Pruebas y evaluación

Albarrán (2004), menciona que las pruebas y evaluaciones que se deben realizar a las sembradoras mecánicas y neumáticas se deben llevar a cabo bajo las instrucciones y procedimientos establecidos por el CENEMA y la Norma Mexicana NMX-O-168-SCFI-2009 establecida por el OCIMA.

Jiménez (1987), muestra varios parámetros para la evaluación de sembradoras dividiéndolos en dos laboratorios.

I. Pruebas de Laboratorio.

- Calibración.
- Daño de la semilla.
- Clasificación de la semilla.
- Uniformidad del espaciamiento de la semilla.

II. Pruebas de Campo.

- Calidad de trabajo.
- Rango de trabajo.
- Facilidad de operación y ajuste.
-

Santos (1996), en su trabajo sobre la evaluación de una sembradora de hortalizas, nos indica que esta se lleva a cabo considerando los aspectos siguientes:

- i. La durabilidad de la máquina.
- ii. Dosificación de la semilla.
- iii. Distribución de la semilla.
- iv. Efecto de la cantidad de semilla.
- v. Daño de la semilla.
- vi. Compactación de la siembra.
- vii. Eficiencia de germinación.
- viii. Calibración de la máquina.

4.6 Variabilidad

La variabilidad de las propiedades del suelo es una condición inherente al mismo, debido a que en su formación intervienen varios procesos deferentes que, a su vez, están controlados por los factores de información (clima, material parental, organismos, relieve y tiempo). Estas interacciones pueden ser muy variadas dando como consecuencia una alta cantidad de suelos posibles (Jaramillo, 2011).

La caracterización de la variabilidad de las propiedades del suelo, junto con la dinámica climática, son dos de los insumos más importantes para poder determinar las causas de la variabilidad espacio temporal del rendimiento a escala de lote (Bullock y Bullock, 2000).

Además, dentro de la agricultura de precisión Blackmore (2007), ha identificado 3 tipos de variabilidad los cuales son los más representativos para la implementación de esta nueva tecnología.

- i. La variabilidad espacial: que puede ser vista de manera sencilla como los cambios que se presentan en un lote de tierra.
- ii. La variabilidad temporal: se refiere a la forma diferencial en la que actúa el tiempo con respecto al cultivo en sus diferentes fases (crecimiento, desarrollo, producción).
- iii. La variación predictiva: se centra en explicar la forma en que varía los resultados previstos por el agricultor aplicando una serie de actividades con los resultados de producción real del cultivo.

4.6.1 Mapas de rendimiento

Los mapas de rendimiento (MR) (figura 3), son imágenes georreferenciadas con una escala de colores que indican el rendimiento de un punto en específico. Por lo general, son desarrollados por especialistas de la agricultura, donde los interesados (agricultores, cosechadores y productores) deben pagar un precio alto para obtenerlos (Lago *et al.*, 2011).

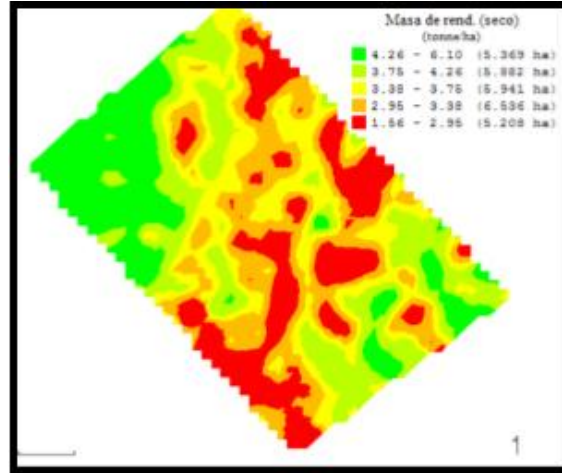


Figura 3 Mapa de rendimiento

4.7 Dosis variable

La Tecnología de Dosificación Variable (VRT) posibilita realizar los cambios de dosis y densidades en tiempo real siguiendo prescripciones o recomendaciones que son cargadas previamente en monitores de máquinas inteligentes. La aplicación variable de insumos siguiendo una prescripción agronómica puede realizarse de forma automática con el uso del GPS o en forma manual por medio de un operario conocedor de la variabilidad espacial del lote.

Según Koch *et al.*, 2004, establecen que el potencial de mejora de la rentabilidad debido a la aplicación variable de insumos depende de una correcta toma de decisión en la dosis a aplicar y se debe partir de un correcto diagnóstico, para lo cual es necesario seguir una serie de pasos fundamentales.

- i. Delimitación de las zonas de manejo.
- ii. Programación del muestro con GPS (por zonas).
- iii. Muestreo del suelo.
- iv. Análisis físico-químico de las muestras.

- v. Determinación del rendimiento objetivo basado en experiencias anteriores.
- vi. Recomendaciones de manejo de insumos según zonas.

La idea es relativamente simple. Comienza con información oportuna precisa, ej. Varios años de mapas de rendimiento, datos de análisis de suelo, ubicación de infestación de malezas, etc. Se realiza un mapa de prescripción utilizando un software GIS, y el aplicador variable acoplado a un DGPS aplica la dosis correcta de semilla, herbicida o fertilizante exactamente donde se necesita y al mismo tiempo se está cuidando el medio ambiente. En la UAAAN se han realizado a nivel de tesis de licenciatura varios trabajos relacionados a este tema bajo el mismo objetivo general en base a este tema (torres, 2014; Pérez, 2012; Rosalino, 2012 y Méndez, 2012)

V. MATERIALES, EQUIPO Y METODOS

5.1 Ubicación del lugar de investigación

El presente proyecto se realizó dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en el Departamento de Maquinaria Agrícola ubicado en localizada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México (figura 4). Llevándose a cabo la instrumentación de un sistema inteligente de dosificación neumática de semilla en tiempo real e ideal durante el periodo 2015 2016.



Figura 4 Taller y Laboratorio de prototipos

5.2 Materiales

Los materiales usados para el desarrollo del proyecto son los siguientes:

- Microcontrolador PIC16F84, (figura 5) con memoria tipo flash lo que permite que sea reprogramado, compuesto de 18 pines, 13 pines de E/S 5 del puerto A y 8 del puerto B, utiliza un oscilador de cristal de 4 MHz, cuenta con una memoria de programación serial de 1024 registros, 128 posiciones de memoria RAM de 8 bits cada una y 64 posiciones de memoria EEPROM de bits cada una.

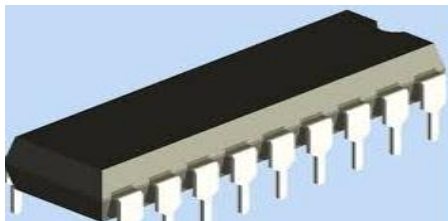


Figura 5 Microcontrolador PIC16F84A

- Sensor opto electrónico, (figura 6) para la construcción de los sensores.

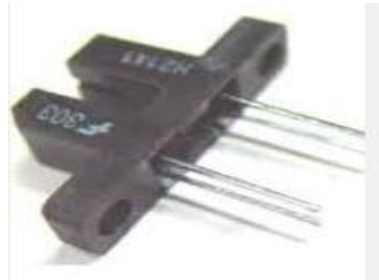


Figura 6 Sensor opto electrónico de barrera H21A1

- Para las evaluaciones correspondientes se utilizó:
- Herramientas y componentes electrónicos, utilizados en la construcción y equipamiento de las tarjetas electrónicas, para el programa desarrollado.
- Para el acondicionamiento del prototipo de banco de pruebas de dosificadores de semillas se utilizó el taller de máquinas y herramientas, el cual consta de las herramientas necesarias para el trabajo realizado.
- Taller de maquinas y herramientas, (figura 7), ubicado dentro del departamento de maquinaria agricola.



Figura 7 Taller de máquinas y herramientas

5.3 EQUIPOS

Banco de pruebas: los prototipos utilizados en la evaluación se encuentran ensamblados a un chasis, (figura 8) un sistema de dosificación de semillas Max Emerge 7200 y otro Precisión Planting. Los cuales contienen los siguientes ensambles: Un disco que simula el plato dosificador con respecto a semillas ideales, un sensor opto electrónico, un sensor de semillas y velocidad.



Figura 8 Banco de pruebas

Sensor opto-electrónico: sensor de semilla real (tipo comercial marca John Deere) para los sistemas dosificador mecánico y neumático (Figura 9).



Figura 9 Sensor de semilla real

Control de semilla ideal: este sensor es acoplado a un disco metálico el cual tiene 30 perforaciones al igual que el plato dosificador de la sembradora esto con el fin de tener un conteo de semillas reales y un sensor de semillas ideales el cual indica la cantidad exacta de semillas que deberían caer así para poder contrastar la calidad de dosificación (figura 10).



Figura 10 Sensor de semilla ideal

Tarjetas electrónicas: con la finalidad de contar los pulsos de la caída de semillas ideales del simulador provenientes del plato dosificador mecánico y las revoluciones por minuto del motorreductor, las cuales fueron diseñadas por Méndez (2012), en la UAAAN (Figura 11).



Figura 11 Tarjeta electrónica

Tarjeta de adquisición de datos National Instrument: PCI-NI-6221. Tarjeta de entrada/salida, para uso con dispositivo DAQ de las series X, M y E (solo NI-DAQmx), ensamblada en la tarjeta madre del CPU de la computadora, para recibir la información del programa grafico LabVIEW (Figura 12).



Figura 12 Tarjeta de adquisición de datos

Tarjeta de conexión de señales externas (tipo comercial de la marca National Instrument): es utilizada para la comunicación externa con las tarjetas electrónicas de las cuales reciben la señal del sensor de caída de semilla real e ideal, además del sensor del motorreductor y mandar señal al variador de frecuencia (Figura 13).



Figura 13 Tarjeta de conexión de señales

Variador de frecuencia: marca Fuji AF-300 G11 (Figura 14), este variador permite enviar velocidad en Hertz al motorreductor para iniciar la transmisión de los sistemas dosificadores del banco de pruebas.



Figura 14 Variador de frecuencia

Disco encoder del plato dosificador: disco con 30 perforaciones, ensamblada en el dosificador neumático que se acopla con un sensor opto electrónico, el cual permite contabilizar los pulsos de la caída de semillas que son ideales, la cadena utilizada en el sistema de transmisión y el paso de engranes es número 40 (figura 15).



Figura 15 disco perforado

Programador PICkit2: el programador PICkit2 fue utilizado para grabar los retardos en la memoria del Pic 16F84A. (Figura 16).



Figura 16 Programador PICkit2

Bomba generadora de vacío: aspiradora RIDGID WD1270 profesional de polvo y agua de 5 HP y capacidad de 45 litros. (Figura 17).



Figura 17 Unidad de vacío utilizada

Computadora personal: computadora marca Lanix Titán 4040 con sistema operativo XP, pantalla de 15 pulgadas, quemador de DVD y CD con regulador de voltaje, procesador Intel de 1.60 GHz, memoria RAM de 2Gb y memoria de disco duro 160 GB (figura18).

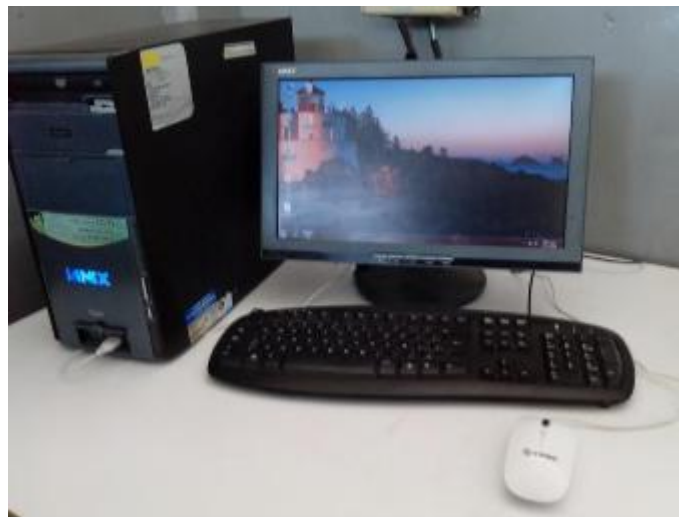


Figura 18 Computadora Lanix Titán

Software LabVIEW 2009: LabVIEW de National Instruments. Los programas desarrollados con LabVIEW se denominan Instrumentos Virtuales o VIs.

5.4 Metodología

La metodología general para alcanzar los objetivos planteados es la que se describe en el siguiente diagrama de bloques:



5.4.1 Evaluación de tarjeta electrónica desarrollada en el laboratorio de electrónica del departamento de maquinaria agrícola utilizando banco de sembradoras

Se construyeron dos tarjetas electrónicas en el laboratorio de electrónica, con la finalidad de continuar la puesta en marcha de ambos bancos de pruebas para poder evaluar los dosificadores en tiempo paralelo.

5.4.2 Realización de repeticiones a diferentes velocidades y obtención de datos

Para la obtención de datos confiables se realizaron 5 repeticiones en el laboratorio a 4 diferentes voltajes y a diferentes intervalos o grupos de semillas los cuales consistieron en lo siguiente:

- 5 repeticiones de 1000 semillas (ideales), cada repetición a 4 diferentes rangos de voltajes: 2 V (270.67 sem/min), 3 V (495.24 sem/min), 4 V (734.45 sem/min) y 5 V (977.14 sem/min). Estos valores se emplearon para la obtención de datos de forma semi-automático. V
- 8 cambios de voltaje de forma automática empleando el sistema virtual, los voltajes se manejaron en una escala de 2, 3, 4, 5 V. Esto se realizó de una forma aleatoria para la obtención de datos.

VI. RESULTADOS

Como primer resultado se obtuvo el montaje para el funcionamiento simultáneo de dos dosificadores en el banco de pruebas (figura 19) de este modo en un futuro podrán evaluar al mismo tiempo ambos dosificadores.



Figura 19. Banco de pruebas

6.1 Evaluación del sistema de dosificadores neumáticos (PP y JD)

6.1.1 Evaluación de los dosificadores de forma semiautomática.

Dosificador John Deere

En la tabla 3 se muestra el análisis de regresión del % de llenado de celdas vs voltaje (velocidad de dosificaciones equivalentes a semillas por minuto).

Tabla 3. Análisis de regresión polinomial para el dosificador John Deere

Polynomial Regression Analysis: % de llenado de celdas versus voltaje

The regression equation is

$$\% \text{ de llenado de celdas} = 133.2 - 19.90 \text{ voltaje} + 2.268 \text{ voltaje}^2$$

S = 7.10899 R-Sq = 37.1% R-Sq(adj) = 29.7%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	506.82	253.411	5.01	0.019
Error	17	859.14	50.538		
Total	19	1365.96			

Sequential Analysis of Variance

Source	DF	SS	F	P
Linear	1	403.916	7.56	0.013
Quadratic	1	102.905	2.04	0.172

En la figura 20 se muestra la ecuación cuadrática de regresión con un bajo coeficiente de regresión (37% de regresión) lo cual indica que los datos no tienen una tendencia definida. Más bien se ajustan alrededor de un valor medio del comportamiento del dosificador.

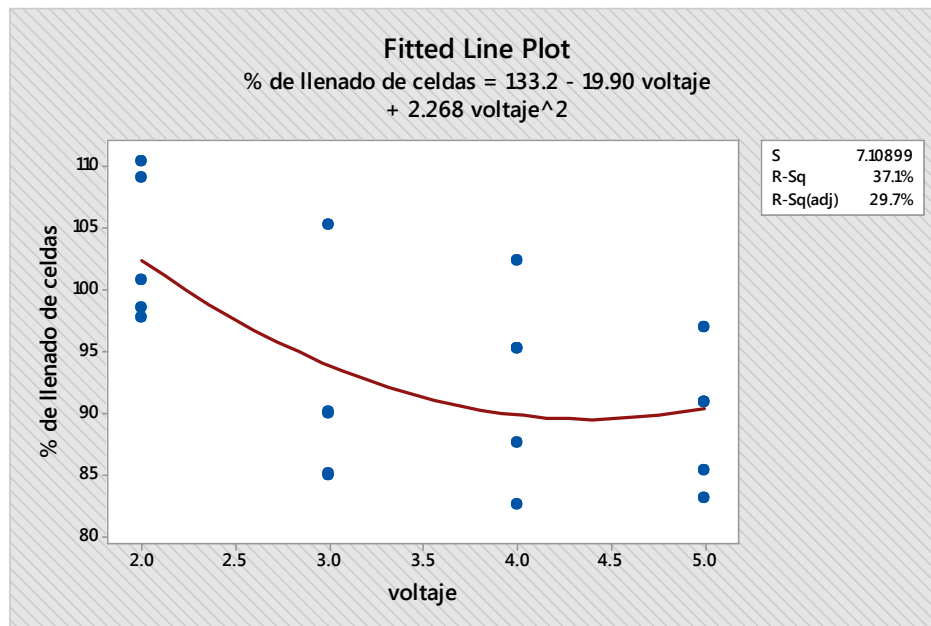


Figura20. Grafica de comportamiento de regresión polinomial para el dosificador John Deere.

En la figura 21 se comprueba que el comportamiento del dosificador se mueve alrededor de un valor medio (95%) de porcentaje de llenado de celdas sin embargo la dispersión de los datos fluctúa entre +/- 10%. Que de acuerdo a lo buscado para ser empleado este tipo de dosificación en AP no sería recomendable pues se requiere dosificadores con un máximo de +/- 5% de variación con respecto a la media esperada de % de llenado de celdas.

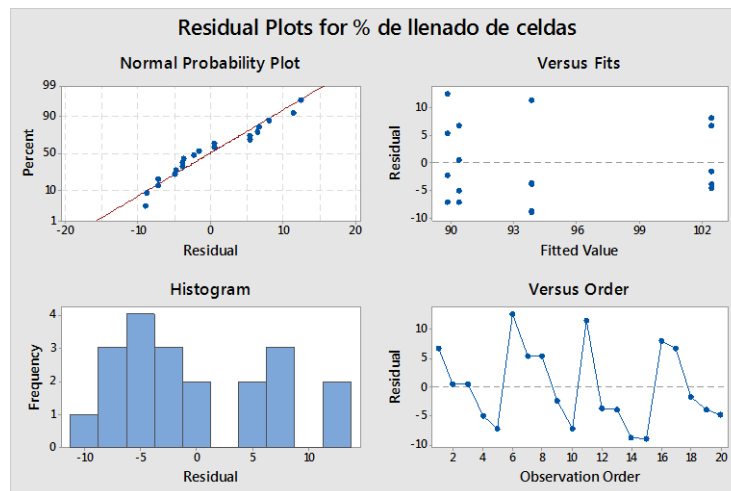


Figura 21. Grafica de comportamiento de ajuste para el dosificador John Deere.

En la tabla 4 la comparación de medias de % de llenado de celdas para la velocidad de 2 a 4 Volts equivalentes a (270.67 a 734.45 sem/min) no existe diferencia significativa pero a partir de la velocidad del 3 al 5 (495.24 a 977.14 sem/min) muestra un efecto de la velocidad sobre el % de llenado de celdas.

Tabla 4 Análisis de media para el dosificador John Deere.

Tukey Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Voltaje	N	Mean	Grouping
2	5	103.37	A
4	5	92.64	A B
3	5	91.10	A B
5	5	89.45	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey Simultaneous 95% CIs

Dosificador Precision Planting

En la tabla 5 se muestra el análisis de regresión del % de llenado de celdas vs voltaje (velocidad de dosificación equivalente a semillas por minuto). El análisis de varianza en su valor de F muestra una diferencia significativa entre las velocidades de dosificación

Tabla 5 Análisis de regresión polinomial para el dosificador Precision Planting

The regresión equation is
 % de llenado de celdas = 108.6 - 6.836 voltaje + 0.7324 voltaje^2

S = 1.95667 R-Sq = 54.1% R-Sq (adj) = 48.4%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	72.271	36.1353	9.44	0.002
Error	16	61.257	3.8286		
Total	18	133.528			

Sequential Analysis of Variance

Source	DF	SS	F	P
Linear	1	62.1650	14.81	0.001
Quadratic	1	10.1056	2.64	0.124

En la figura 22 número se muestra la ecuación cuadrática de regresión con un bajo coeficiente de regresión (54 % de regresión) a pesar de esto los datos tienen una tendencia definida. Sin embargo esta tendencia es mejor que la mostrada por el dosificador de John deere

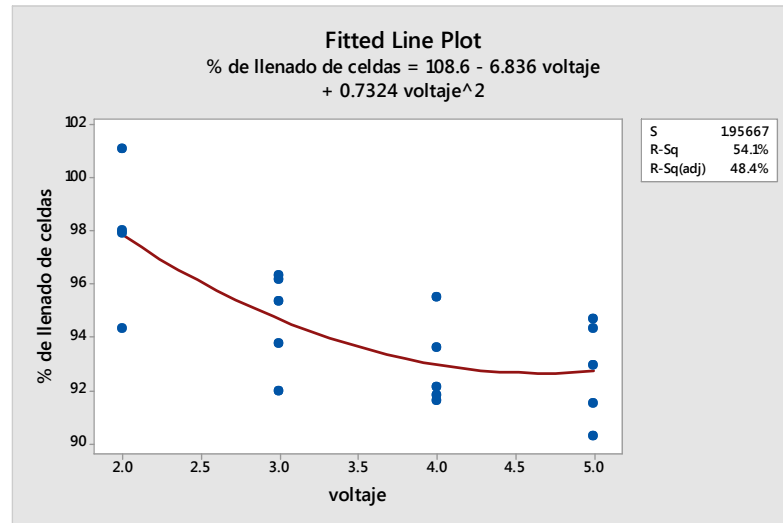


Figura 22. Grafica de comportamiento de regresión polinomial para el dosificador Precision Planting.

En la figura 23 se comprueba que el comportamiento del dosificador se mueve alrededor de un valor medio (95%) de porcentaje de llenado de celdas sin embargo la dispersión de los datos fluctúa entre +/- 3%. Que de acuerdo a lo buscado para ser empleado este tipo de dosificación en AP si sería recomendable puesto que se requiere dosificadores con un máximo de +/- 5% de variación con respecto a la media esperada en el % de llenado de celdas.

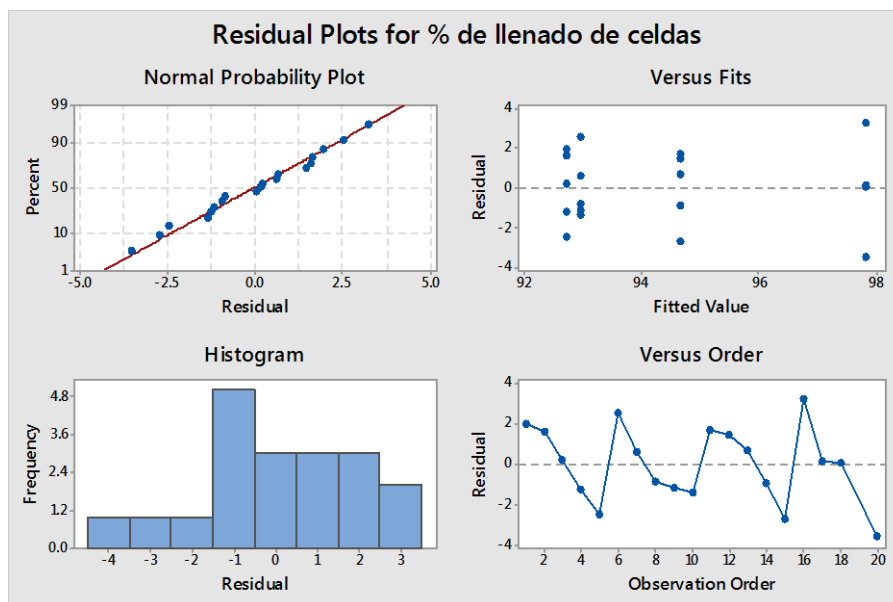


Figura 23. Grafica de comportamiento de ajuste para el dosificador Precision Planting.

En la tabla 6 la comparación de medias de % de llenado de celdas para la velocidad de 2 y 3 Volts (260.77 a 501.32 sem/min) no existe diferencia significativa pero a partir de la velocidad del 4 al 5 (960 a 989 sem/min) muestra un efecto de la velocidad sobre el % de llenado de celdas.

Tabla 6 Análisis de media para el dosificador Precision Planting.

Tukey Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Voltaje	N	Mean	Grouping
2	4	97.84	A
3	5	94.713	A B
4	5	92.932	B
5	5	92.737	B

Means that do not share a letter are significantly different.

6.1.2 Evaluación de los dosificadores de forma automática.

Tabla de coeficientes de variación y desviación estándar del tiempo de espaciamiento para la velocidad de 5 volts (Velocidad 920.57 sem/min), 4 volts (Velocidad 753.07 sem/min), 3 volts (Velocidad 494.50 sem/min) y 2 volts (Velocidad 271.91 sem/min) para el dosificador Precision Planting. En este cuadro se puede apreciar que el coeficiente de variación para el rango de 2 a 5 volts (271.91 a 920.57 sem/min) es menor al 5% lo cual indica que la uniformidad de dosificación equivalente a los tiempos de caída está dentro de los estándares de calidad de menos del 5% de CV para dosificadores a ser empleados en la AP.

*para ver los análisis completos ver anexo G

Tabla 7 Coeficientes de variación y desviación estándar para el dosificador Precision Planting.

Voltajes	Desviación estándar	% Coeficiente de variación
5	0.757	3.68
4	0.956	3.82
3	1.327	3.49
2	2.202	3.16

Cuadro de coeficientes de variación y desviación estándar del tiempo de espaciamiento para la velocidad de 5 volts (Velocidad 999.94 sem/min), 4 volts (Velocidad 893.25 sem/min), 3 volts (Velocidad 636.06 sem/min) y 2 volts (Velocidad 372.29 sem/min) para el dosificador John Deere . En este cuadro se puede apreciar que el coeficiente de variación para el rango de 2 a 4 volts (372.29 a 893.25 sem/min) es menor al 5% lo cual indica que la uniformidad de dosificación equivalente a los tiempos de caída está dentro de los estándares de calidad de menos del 5% de CV para dosificadores a ser empleados en la AP. Sin embargo para la velocidades superiores a 5 volts (999.94) el CV supera el 5%, lo cual indica que a partir de esta velocidad este dosificador no es recomendable a ser empleado en la AP.

*para ver los análisis completos ver anexo F

Tabla 8 Coeficientes de variación y desviación estándar para el dosificador John Deere.

Voltajes	Desviación estándar	Coefficiente de variación
5	1.109	5.75
4	0.828	3.86
3	1.285	4.13
2	2.251	4.29

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El sistema validado con Instrumentos virtuales, permite el control automático de la velocidad de dosificación en base una tabla de prescripción predefinida.

El sistema de registro de datos, número de semillas ideales y reales, que fue validado (Santoyo, 2014) para esta evaluación, permite en forma eficiente determinar la calidad de funcionamiento de un dosificador y recomendar su total aprobación para ser empleado en agricultura de precisión.

Para el caso del dosificador “Precision Planting” empleado en la validación del sistema de simulación de dosis variable, se puede concluir que al presentar un coeficiente de variación muy por debajo del 5% es aceptable y recomendable para su uso dentro de la agricultura de precisión.

Para el caso del dosificador “John Deere” empleado en la validación del sistema de simulación de dosis variable, se puede concluir que para velocidades mayores a 1000 semillas/ minuto presenta un CV superior al 5% por lo tanto no es recomendable su uso dentro en la AP

Como recomendación se hace énfasis en no intercambiar los dosificadores entre sí, ya que estos no embonan perfectamente y se puede tener variaciones muy considerables dentro de los resultados lo cual nos afectaría bastante en las evaluaciones efectuadas a los mismos.

Se requiere habilitar con sensores y vacuometro la segunda unida para realizar las evaluaciones de forma simultánea y contrastar los resultados en tiempo real.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Kachman, S. D.,** Smith J. A 1994. Alternative measures of accuracy in plant spacing for planters using single seed metering. Transaction of the ASAE, 38 (2): 379-387.
- Blackmore, S.,** Godwin, R. J., & Fountas, S. (2003). The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years. Biosystems engineering, 84(4), 455-466.
- Isabel Borghi, M.** 2014. Tecnología de precisión: un crecimiento sin techo. pp. 1-2. INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Bragachini, M.** 2004. Tecnología Disponible para Aplicaciones de Insumos Sitio Específico.
- Bullock, D. S. y D. Bullock.** 2000. from agronomic research to farm management guidelines: A primer on the economics of information and precision technology. Precision Agric. 2, 71–101.
- Dávila, R.** 2010. La agricultura de precisión, la innovación en el campo. Journalmex periodistas de México.
- Del Campo M. I.** 2005. Agricultura de precisión.
- Economía, A.** 2012. Argentina se ubica entre los países con mayor agricultura de precisión. Agronoticias América Latina y el Caribe. pp. 1-2. Argentina.
- García B. S.,** Gracia L. C., Serwatowski H. R. 2000. Diseño y construcción de un banco de ensayos para el estudio de equipos neumáticos de siembra. Memoria del Congreso Latinoamericano de ingeniería Agrícola, Guanajuato; Gto., México.
- Jaramillo-Jaramillo, D. F.** (2011) El suelo: Origen, Propiedades, Espacialidad. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 553 p.
- Kepner, R. A.,** E. C. Barger. 1978. Principles of farm machinery. Third edition, The AVI Publishing Company, Inc. Connecticut, USA.

- Kohler-Koch, B., R. Khosla., W. M. Frasier., D. G. Westfall., D. Inman.** 2004. Economic Feasibility of Variable-Rate Nitrogen Application Utilizing Site-Specific Management Zones.
- Lago-Gonzales, C., J. C. Sepúlveda-Peña, R. Barroso-Abreu, F. O. Fernández-Peña, F. Maciá-Pérez.** 2011. System for the automatic generation of yield mapping with application in precision farming. *Idesia* 29: 59-69
- Maroni, J.R.** 2007. Agricultura de precisión: avances para realizar aplicaciones de dosis variables mediante máquinas pulverizadoras. *Agromensajes* 23: 1-3.
- Medina-Vásquez, J., A. Aguilera-Alvear, L. M. Landinez.** 2010. Ejercicio EAD-Agricultura de Precisión. pp.8-10. Universidad del Valle. Santiago de Cali.
- Norton, and Scott M. S., George W.** 2000. Precision Agriculture: Global Prospects and Environmental Implications.
- Norton, G.W. y Swinton S.M.** 2001. Precision Agriculture: Global Prospects and Environmental Implication. Forthcoming in G.H. Peters and P. Pingali, eds. *Tomorrow's Agriculture: Incentives, Institutions, Infrastructure and Innovations: Proceeding of the 24th International Conference of Agricultural Economists, 2000.* London Ashgate.
- Ortega, B. R. y Flores L.** 1999. Agricultura de precisión. P13-46. En R. Ortega y L. Flores (ed.) *Agricultura de Precisión: Introducción al manejo sitio - específico.* Ministerio de Agricultura, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, CRI Quilamapu-Chile.
- Ortiz-Cañavate J., Hernenz J. I.** 1989. Técnica de la mecanización agraria. Edición Mundi-prensa, Madrid.
- Ramírez T. A.** 2000. Desarrollo de un sistema semiautomático para el control de la frecuencia de dosificación de semilla. Tesis de licenciatura Universidad Veracruzana, Veracruz, Ver. México.

Santos, E. A. 1996. Diseño, Construcción y Evaluación de una sembradora de Hortalizas, tesis licenciatura para obtener el grado de Ingeniero Agrónomo en Maquinaria Agrícola; Saltillo, Coah, México.

Secretaria de economía Norma Mexicana, NMX-O-168-SCFI-2002 tractores, implementos, y maquinaria agrícola- sembradoras-sembradoras unitarias y/o fertilizadoras, accionadas mecánicamente, con dosificador de semilla de disco específicamente y métodos de prueba.

US National Research Council, 1997. INTRODUCCIÓN A LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN. Revista Digital CENIAP HOY N° 12 septiembre-diciembre 2006, Maracay, Aragua, Venezuela. ISSN: 1690- 4117 Depósito Legal: pp.200302AR1449.

Villalobos-Mateluna, P., R. Manríquez-Ramírez, C. Acevedo-Opazo, S. Ortega-Farias. 2009. Alcance de la agricultura de precisión en Chile. Pp.36-37. Universidad de Talca. Chile, Santiago de Chile.

IX. ANEXOS

Anexo A

A1.- Construcción de tarjetas electrónicas.

Para la construcción de las tarjetas electrónicas se requiere que el circuito que tenemos en ARES sea impreso en una maya para serigrafía, y esta maya será la que nos permita la impresión ya en la placa de cobre, para esto requerimos de tinta para serigrafía, un acondicionador y espray adhesivo, ya que tenemos impresa la tarjeta se obtiene lo siguiente.

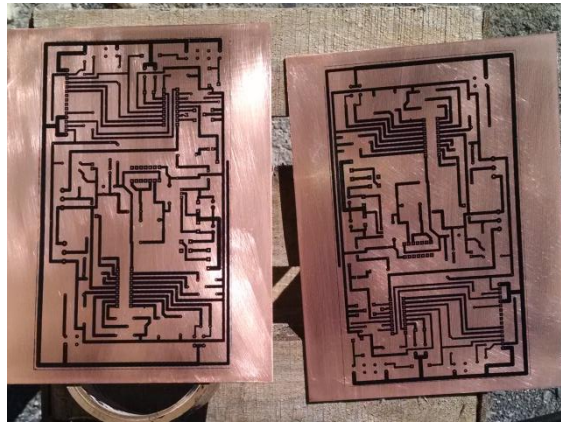


Figura A1 Circuito impreso en la placa de cobre

Después la placa es sumergida en ácido férrico para eliminar el cobre de toda la placa y así queden solo las líneas.

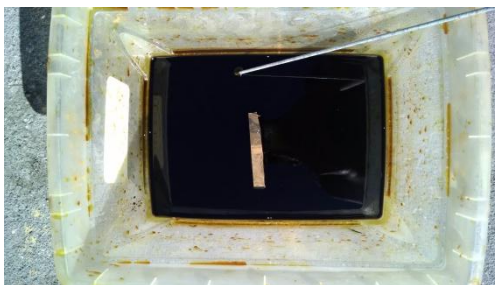


Figura A2 Placa de circuito en ácido férrico

Después de que se cae el exceso de cobre se limpia el ácido férrico con agua solamente para que solo queden las líneas del circuito.

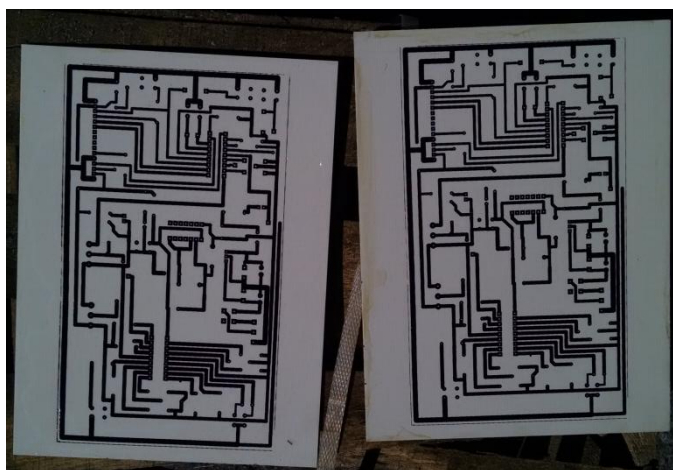


Figura A3 Placa sin ácido y sin cobre a excepción de las líneas del circuito

Después se procedió a perforar las tarjetas del circuito y a montar los componentes de las mismas.



Figura A4 Perforación de tarjeta

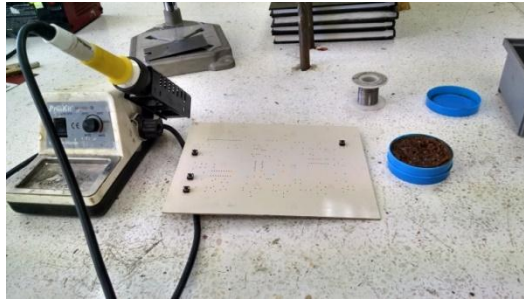


Figura A5 Colocación de componentes en la tarjeta

Anexo B

B1 Componentes de la tarjeta electrónica

Para la tarjeta electrónica se usó los siguientes componentes:

- 2 capacitores de 1000 μ F
- 3 clemas de 3 vías para circuito impreso
- 2 bases para integrados de 18 pines
- 1 base para integrado de 14 pines
- 5 mini switch
- 1 mini slide switch
- 3 led
- 2 cristales de 4MHZ
- Un puente rectificador
- 1 diodo zener
- 4 capacitores cerámicos 22
- 1 potenciómetro 103
- 2 capacitores cerámicos 104
- Dos pantallas LCD
- Resistencias de 10k Ω , 330 Ω , 100 Ω y 2.2k Ω .
- Un transistor MPS2222A
- Un regulador de voltaje LM7905CV.
- 2 transformadores de 127 v a 24v.

Anexo C

C1 Grabar un microcontrolador

Tenemos que ver la hoja de datos del grabador para saber cómo va colocado nuestro microcontrolador ya que si se coloca mal lo podemos quemar.

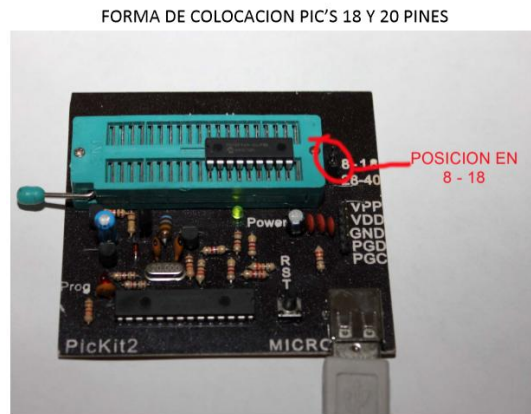


Figura C1 Colocación correcta del microcontrolador

Antes de abrir el software del grabador se tiene que conectar porque si no, no va a reconocer el microcontrolador.

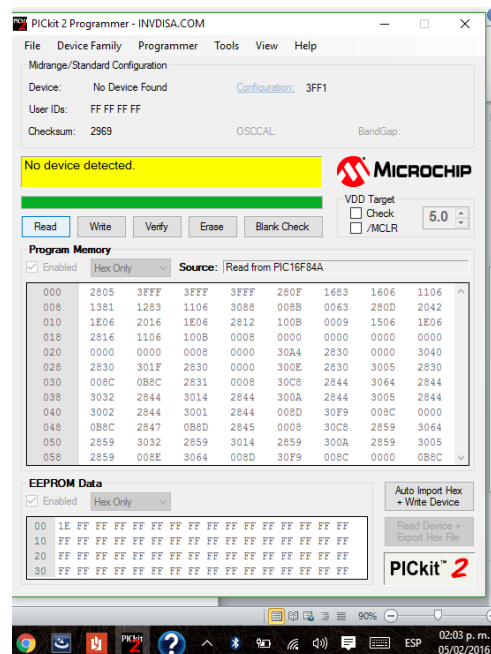


Figura C2 Grabador no detectado

Para grabar el microcontrolador se tiene que elegir la familia del microcontrolador para que este funcione correctamente.

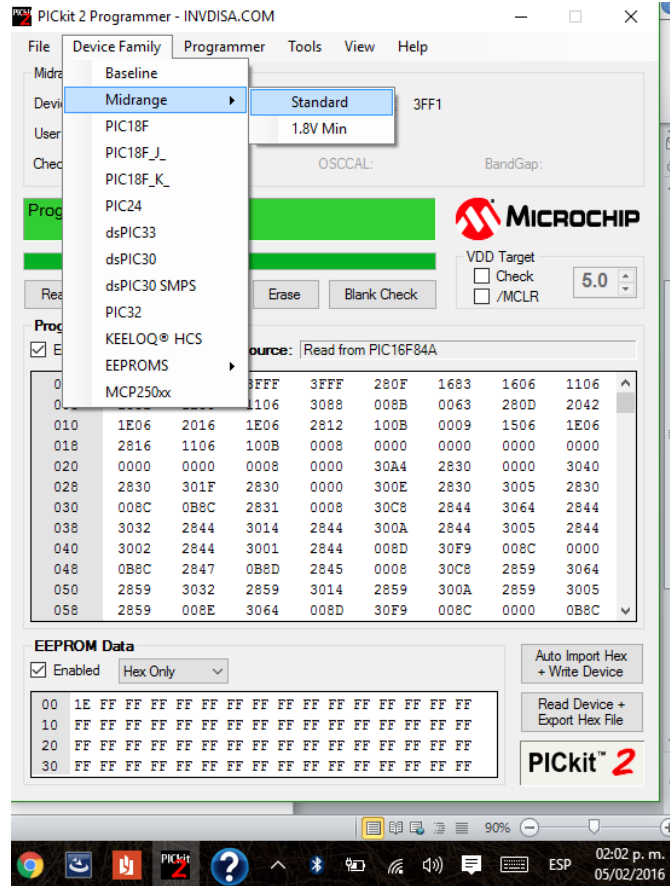


Figura C3 Elección de familia del microcontrolador

Una vez que introduzcamos el microcontrolador le vamos a dar en READ (leer) para ver si esta vacío o ya contiene información nuestro microcontrolador, si tiene alguna información le damos en ERASE (borrar), y si no contiene información nos vamos directo en WRITE (escribir).

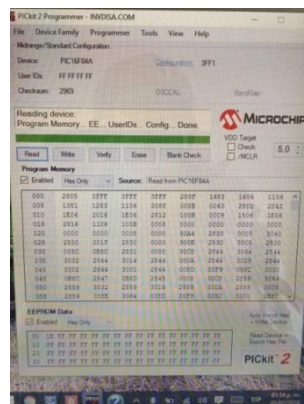


Figura C4 Leyendo el microcontrolador

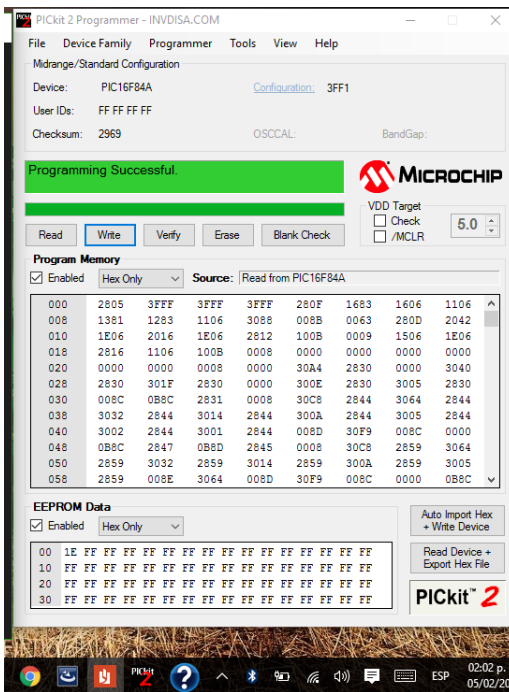


Figura C5 Grabando la información

Para obtener la información que vamos a grabar solo tenemos que traerla de nuestros archivos y esto lo realizamos en la opción Import HEX. Para el caso que no tengamos el archivo y este vaya a ser tomado de un microcontrolador le tenemos que dar en la opción Export HEX, cuando se realiza la opción de exportar tenemos que ser muy precavidos de cambiarle la extensión a Hex, además de cuando este archivo se nombre no se tienen que sobrepasar 6 caracteres.

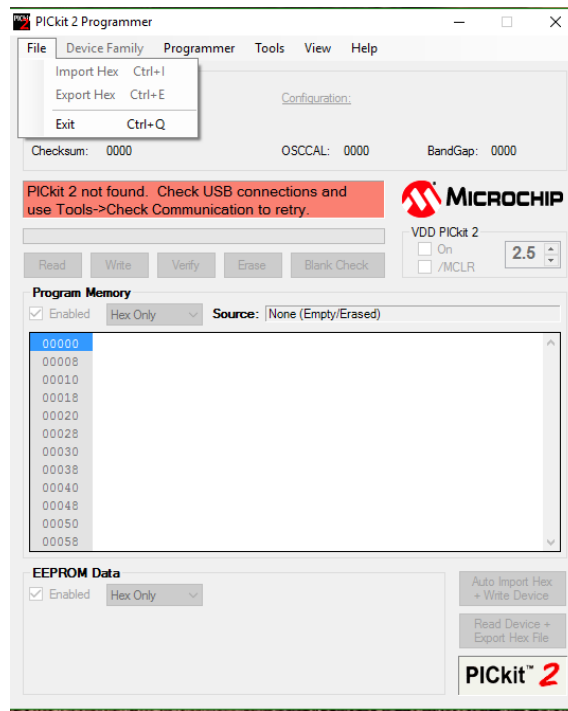


Figura C6 Forma importar o exportar el archivo

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
frec.Hex	05/02/2016 01:54 ...	Archivo HEX	7 KB
frec2.Hex	08/02/2016 10:25 a...	Archivo HEX	7 KB
grabando	05/02/2016 02:04 ...	Documento de Mi...	1,499 KB
ret200.Hex	05/02/2016 01:43 ...	Archivo HEX	7 KB

Figura C7 ejemplo de archivos con extensión Hex

Anexo D

D1.- Configuración del archivo (.udl)

Para generar un archivo (.udl) se debe de generar primero un archivo (.txt) para esto se debe de ir a la carpeta donde se tienen los archivos, dar clic derecho y seleccionar la opción nuevo archivo de texto, como se ilustra en la siguiente imagen (fig. E1):

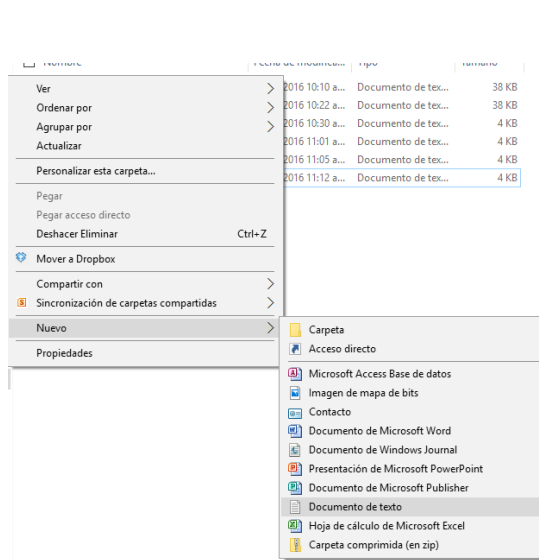


Figura D1 Selección nuevo archivo de texto

Al cual le se le asignara un nombre y se le cambiara la extensión a (.udl), a continuación nos mostrara un recuadro en el cual se nos pregunta si estamos seguros de cambiar la extensión y se seleccionara ok como se muestra en la figura E2:

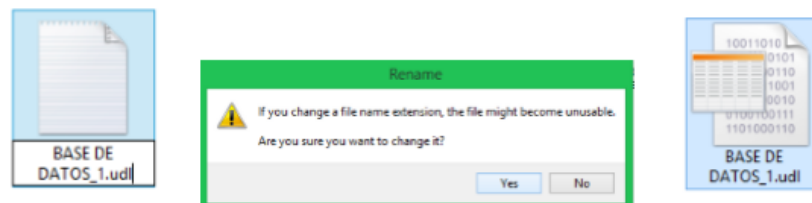


Figura D2 Configuración archivo de texto

Para su configuración y vinculación con la base de datos en Access se debe de seguir los siguientes pasos:

- Clic derecho y seleccionar abrir.
- Ir a la opción de propiedades y seleccionar.
- En la pestaña Proveedor seleccionar Microsoft Jet 4.0 OLE DB Provider.
- En la pestaña conexión seleccionar la ruta para seleccionar el archivo en Microsoft Access (Es la base de datos) y dar clic en guardar.
- En el apartado de “Nombre del usuario” escribir (Admin).
- En la casilla de contraseña seleccionar la opción de dejar en blanco.
- En la pestaña de Avanzadas hay que revisar que la casilla de Permisos de Acceso, este palomeada la opción de (READ).
- A continuación dar clic en la pestaña de conexión y dar clic en (Probar conexión).
- Debe de aparecer una pantalla comunicando que la conexión fue exitosa.
- Por ultimo seleccionar aceptar.

Anexo E

Es de suma importancia no intercambiar los platos dosificadores, ya que estos son de diferentes marcas y por lo tanto no embonan bien en sus soportes, lo cual produce un gran efecto en la obtención de datos en la figura F1 se muestra el plato dosificador y el cuerpo del mismo dosificador de la marca John Deere, en la figura F2 se muestra el plato dosificador y el cuerpo del mismo dosificador de la marca Precision planting.



Figura E1 Dosificador marca John Deere



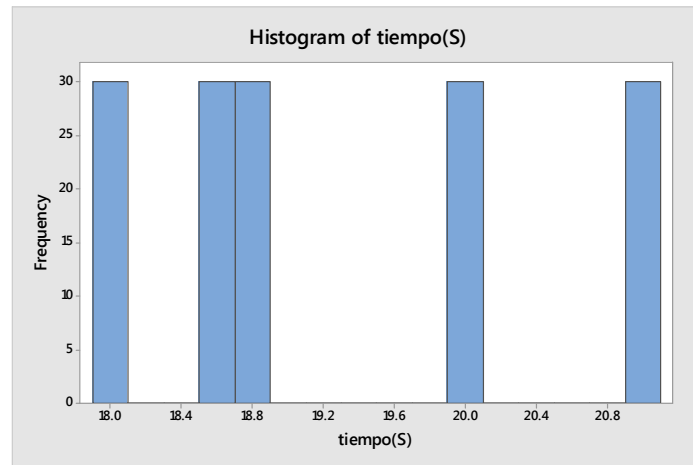
Figura E2 Dosificador marca Precision Planting

Anexo F Análisis del programa automático para JD

Análisis para 5 volts (Velocidad 999.94 sem/min)

Descriptive Statistics: tiempo(S)

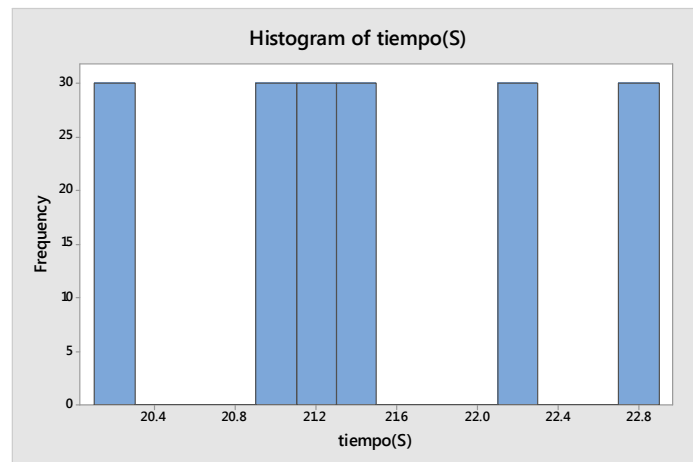
Variable	Mean	SE Mean	StDev	Variance	CoefVar	Q1	Median	Q3
Tiempo(S)	19.291	0.0905	1.109	1.229	5.75	18.601	18.752	20.050



Análisis para 4 volts (velocidad 893.25 sem/ min)

Descriptive Statistics: tiempo(S)

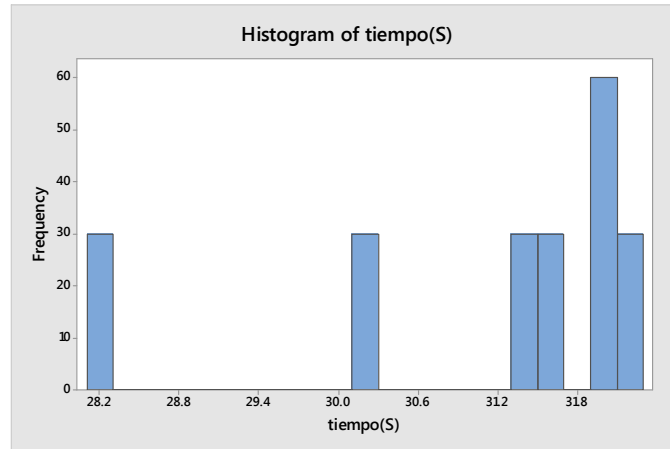
Variable	Mean	SE Mean	StDev	Variance	CoefVar	Q1	Median	Q3
Tiempo(S)	21.452	0.0617	0.828	0.686	3.86	21.050	21.305	22.149



Análisis para 3 volts (velocidad 636.06 sem/ min)

Descriptive Statistics: tiempo(S)

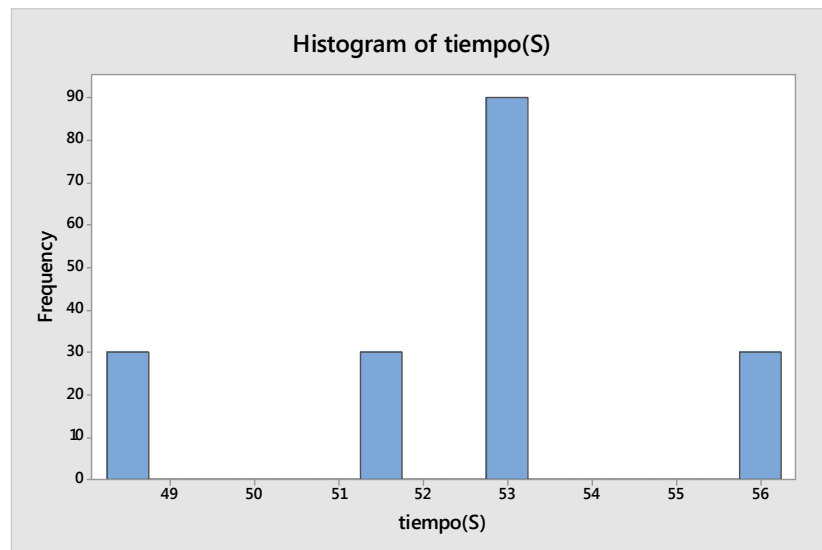
Variable	Mean	SE Mean	StDev	Variance	CoefVar	Q1	Median	Q3
Tiempo(S)	31.093	0.0887	1.285	1.652	4.13	30.250	31.650	31.951



Análisis para 2 volts (velocidad 372.29 sem/ min)

Descriptive Statistics: tiempo(S)

Variable	Mean	SE Mean	StDev	Variance	CoefVar	Q1	Median	Q3
Tiempo(S)	52.458	0.168	2.251	5.069	4.29	51.599	52.926	53.049



Cuadro de coeficientes de variación y desviación estándar del tiempo de espaciamiento para la velocidad de 5 volts (Velocidad 999.94 sem/min), 4 volts (Velocidad 893.25 sem/min), 3 volts (Velocidad 636.06 sem/min) y 2 volts (Velocidad 372.29 sem/min) para el dosificador John Deere.

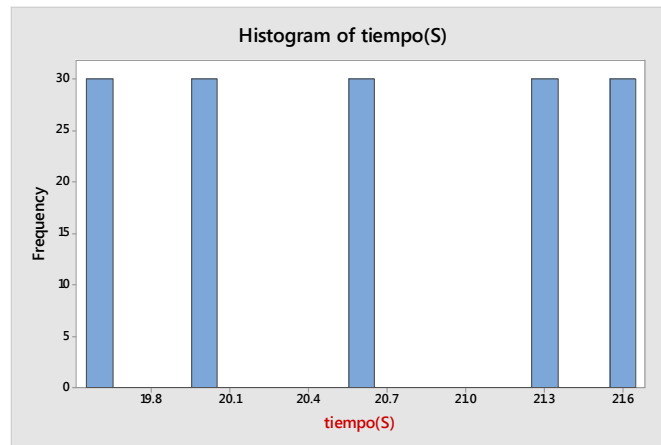
Voltajes	Desviación estándar	Coficiente de variación
5	1.109	5.75
4	0.828	3.86
3	1.285	4.13
2	2.251	4.29

Anexo G Análisis del programa automático para PP

Análisis para 5 volts (Velocidad 920.57 sem/min)

Descriptive Statistics: tiempo(S)

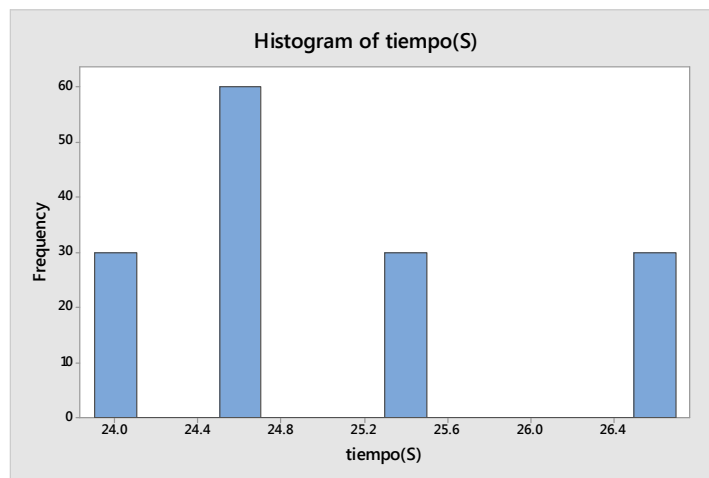
Variable	Mean	SE Mean	StDev	Variance	CoefVar	Q1	Median	Q3
Tiempo(S)	20.572	0.0618	0.757	0.573	3.68	19.951	20.552	21.251



Análisis para 4 volts (Velocidad 753.07 sem/min)

Descriptive Statistics: tiempo(S)

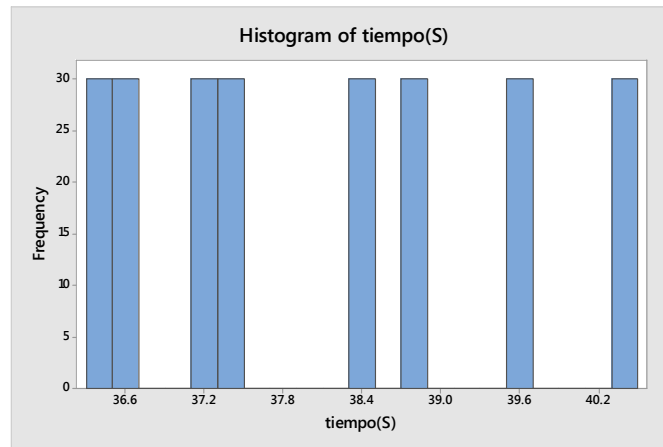
Variable	Mean	SE Mean	StDev	Variance	CoefVar	Q1	Median	Q3
tiempo(S)	25.021	0.0781	0.956	0.915	3.82	24.500	24.600	25.451



Análisis para 3 volts (Velocidad 494.50 sem/min)

Descriptive Statistics: tiempo(S)

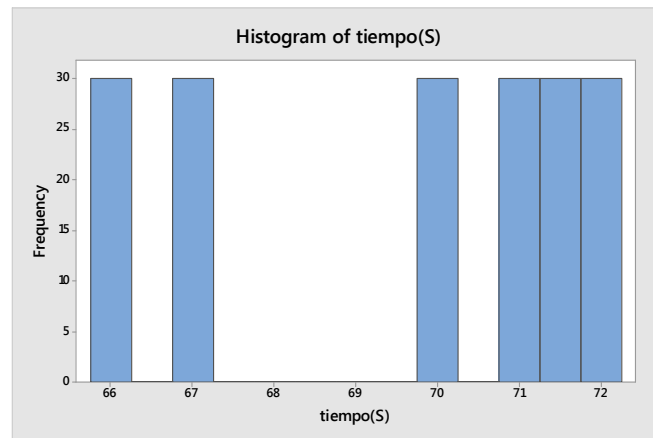
Variable	Mean	SE Mean	StDev	Variance	CoefVar	Q1	Median	Q3
Tiempo(S)	38.056	0.0856	1.327	1.760	3.49	36.736	37.850	39.349



Análisis para 2 volts (Velocidad 271.91 sem/min)

Descriptive Statistics: tiempo(S)

Variable	Mean	SE Mean	StDev	Variance	CoefVar	Q1	Median	Q3
tiempo(S)	69.649	0.164	2.202	4.847	3.16	67.149	70.525	71.500



Cuadro de coeficientes de variación y desviación estándar del tiempo de espaciamiento para la velocidad de 5 volts (Velocidad 920.57 sem/min), 4 volts (Velocidad 753.07 sem/min), 3 volts (Velocidad 494.50 sem/min) y 2 volts (Velocidad 271.91 sem/min) para el dosificador Precision Planting.

Voltajes	Desviación estándar	Coefficiente de variación
5	0.757	3.68
4	0.956	3.82
3	1.327	3.49
2	2.202	3.16