



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Evaluación de la Calidad del Funcionamiento de un Sistema de

Dosis Variable de Insumos, Marca ROJ, Modelo PCS 200

Por:

NOÉ DE JESÚS MELCHOR ROSALES

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Buena Vista, Saltillo, Coahuila, México

Octubre del 2017



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Evaluación de la Calidad del Funcionamiento de un Sistema de Dosis Variable de
Insumos, Marca ROJ, Modelo PCS 200

Por:

NOÉ DE JESÚS MELCHOR ROSALES

Tesis:

Que se somete a consideración del H. Jurado examinador como requisito
parcial para obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Aprobado por el comité de tesis

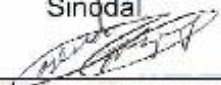
Director de tesis


Ing. Héctor E. González Ramírez

Sinodal


Dr. Santos G. Campos Magaña


Sinodal


Ing. Rosendo González Garza

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



Coordinador de la División de Ingeniería


Dr. Luis Samaniego Moreno

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México, Octubre 2017

Coordinación de
Ingeniería

AGRADECIMIENTOS

*Agradezco a **Dios** por haberme dado la vida, cuidarme siempre que me encontré en problemas, darme la fuerza para sobresalir adelante día a día y guiarme por el mejor camino por eso y mucho más gracias señor.*

*A la **UAAAN** por haberme abierto sus puertas para poder realizar una carrera, por darme una formación universitaria y cumplir el sueño de ser un profesional, gracias a mi **Alma mater**.*

*Al **Dr. Santos Gabriel Campos Magaña**, por haberme brindado el conocimiento, su apoyo, confianza, amistad y su sacrificio del tiempo dedicado a este proyecto, por su excelente asesoría técnica para concluir con mi trabajo de tesis.*

*Al **M.C. Héctor Uriel Serna Fernández**, uno de los mejores maestros, para dar clases, impartir el conocimiento necesario para que el alumno tenga un buen desarrollo académico.*

*Al **Dr. Martin Cadena Zapata**, por darme las herramientas necesarias en conocimiento y aprendizaje para poderme superar en la vida.*

*Al **M.C. Gerardo Sánchez Martínez**, por su enseñanza, sus regaños y por el aprendizaje que adquirí en sus materias impartidas durante mi formación académica.*

*Al **M.C. Juan Antonio Guerrero Hernández**, por darme el conocimiento en las materias de diseño, por el apoyo durante toda la formación académica y profesional que nos ayudara a superarnos.*

Al Ing. Héctor Emilio González Ramírez, por su enseñanza, tiempo y dedicación durante mi formación académica en la universidad.

Al Ing. José Fernando Larios Morales, Director general de la empresa Sistemas Avanzados Laser y GPS, por su colaboración en convenios con la universidad y el departamento de maquinaria agrícola, porque con su apoyo fue posible llevar a cabo el desarrollo del proyecto de tesis.

A todos los maestros del departamento de Maquinaria Agrícola en especial; Ing. Juan Arredondo Valdez, M.C. Blanca Elizabeth de la Peña Casas, M.C. Genaro Demuner Molina, M.C. Tomas Gaitán Muñiz, Ing. Rosendo González Garza. Y a todos los maestros que brindaron su conocimiento durante mi desarrollo académico.

A mis compañeros de la carrera de Ing. Mecánica Agrícola, en especial a Pedro Míreles Rangel, Eduardo Solorio Estrada, gracias a ellos por su amistad sincera y su apoyo durante la carrera.

A mis padres Leticia Rosales Medel y Mario Melchor García, por el apoyo, su confianza, sus regaños, consejos, porque ellos me motivaron a sobresalir a delante y ser una persona de bien.

DEDICATORIAS

Este trabajo es producto del esfuerzo y sacrificio de muchas personas por tal motivo es para ustedes:

A mis padres:

Sr. Mario Melchor García

Sra. Leticia Rosales Medel

Por el apoyo que me han brindado durante toda mi vida.

*A mi **Padre** por ser una de las personas que más admiro, por sus consejos, sus regaños, y porque gracias a él me he forjado y he logrado mis éxitos y porque siempre ha estado conmigo en las buenas y en las malas y por muchas cosas más, con todo el apoyo y sacrificio te dedico este trabajo a ti Papá.*

*A mi **Madre** por ser la mejor mamá del mundo, por sus regaños, por sus consejos, por sus desvelos, por su apoyo, por su confianza y por mucho más dedico este trabajo a ti Mamá.*

A mis hermanos:

Mario Melchor Rosales

Elizabeth Melchor Rosales

Juan Luis Melchor Rosales

A ellos les doy las gracias por el apoyo brindado en las buenas y en las malas, me siento muy orgulloso por tener a los mejores hermanos, gracias por darme la confianza y creer en mí porque mis logros serán sus logros.

A mis abuelos:

José Melchor Raya

Isabel García García †

Bernardo Rosales Pérez

Teresa Medel Cervantes

Por todo el cariño que me han brindado, su apoyo, su confianza y sus consejos que me orientaron a seguir por un buen camino y ser alguien más en la vida.

A todas las personas que me apoyaron les doy las gracias por estar siempre conmigo, por darme su confianza y creer en mí, a todos ustedes les dedico este trabajo.

Tabla de contenido

ÍNDICE DE FIGURAS	III
ÍNDICE DE CUADROS	V
RESUMEN	VI
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo General	3
2.2 Objetivo Específico	3
III. HIPÓTESIS	3
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	4
4.1 Agricultura de precisión	4
4.1.1 Agricultura de precisión a nivel mundial y nacional.	6
4.2 Definición de sistemas inteligentes	8
4.2.1 Sistema de control Field-IQ	9
4.2.2 Field-IQ para plantadoras y sembradoras	9
4.2.3 Ventajas	10
4.3 Siembra de precisión	10
4.4 Mecanismos de medición de semillas	11
4.5 Funciones de una sembradora neumática de precisión	12
4.5.1 Tipos de sembradoras	12
4.5.2 Beneficios de la siembra de precisión	13
4.5.3 Componentes de la sembradora de precisión	13
4.6 Variabilidad	15
4.7 Mapa de rendimiento	18
4.8 Dosis variable	19
4.9 Sistemas de información geográfica	21
V. MATERIALES, EQUIPOS Y MÉTODOS	23
5.1 Ubicación de la investigación	23
5.2 Materiales	23
5.3 Equipos	25
5.4 Metodología	35

5.4.1	Diseño de un soporte para un motor eléctrico MD.	35
5.4.2	Familiarización e instalación del equipo PCS 200- Sistema de Control de Plantación Neumática de Precisión.	36
5.4.3	Fabricación de un plato de baquelita de cobre con 10 perforaciones en su perímetro.	36
5.4.4	Modificación y construcción de los sensores de efecto Hall.	37
5.4.5	Instalación y configuración del Variador de frecuencias.	37
5.4.6	Repeticiones a diferentes calibraciones de pulsos y cambios de relación de transmisión.	37
5.4.7	Cambio de motor para el aumento de velocidad de trabajo de 4 a 12km ⁻¹	38
5.4.8	Configuración del variador de frecuencias.	38
5.4.9	Pruebas de confirmación de la relación de transmisión.	39
5.4.10	Repeticiones a diferentes velocidades en intervalos de semillas.	39
VI.	RESULTADOS	40
6.1	Diagrama general del sistema de evaluación.	40
6.2	Configuración del equipo PCS200.....	41
6.3	Evaluación del sistema de dosificación neumática.	42
6.4	Análisis de evaluación del sistema.	47
VII.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
VIII.	LITERATURA CITADA	56
IX.	ANEXOS	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1 Etapas de la agricultura de precisión	5
Figura 4.2 Tipos de sembradoras.	13
Figura 4.3 Mapa de preproducción.	17
Figura 4.4 Mapas de rendimiento de diferente año.	17
Figura 4.5 Variabilidad de la estimación del rendimiento.	18
Figura 4.6 Mapa de rendimiento.	18
Figura 4.7 Proceso para generar mapas de rendimiento.	19
Figura 4.8 Componentes del sistema de información geográfica.	22
Figura 5.1 Taller y laboratorio de prototipos.	23
Figura 5.2 Microcontrolador PIC16F84.	24
Figura 5.3 Sensor de hall.	24
Figura 5.4 Laboratorio de prácticas.	25
Figura 5.5 Banco de pruebas del sistema de dosificación neumático.	25
Figura 5.6 Sensor semillas reales.	26
Figura 5.7 Sensor de semillas ideales.	26
Figura 5.8 Sensor de velocidad.	27
Figura 5.9 Tarjetas electrónicas.	27
Figura 5.10 Tarjeta de adquisición de datos PCI-NI-6221.	28
Figura 5.11 Tarjeta de conexión de señal.	28
Figura 5.12 Variador de frecuencias.	29
Figura 5.13 Aspiradora marca STINGER.	29
Figura 5.14 Vacuómetro.	30
Figura 5.15 Motor de simulación de velocidad.	30
Figura 5.16 Motorreductor eléctrico PC 200.	31
Figura 5.17 Pantallas (HMI).	31
Figura 5.18 Computadora Lanix Titán.	32
Figura 5.19 Software Lab VIEW 2009.	33
Figura 5.20 Software Minitab 17.	33
Figura 5.21 Software diseños experimentales UANL.	34
Figura 5.22 Metodología general	35
Figura 5.23 Disco con 10 imanes.	36
Figura 5.24 Sensor de efecto HALL.	37
Figura 6.1 Sistema de evaluación.	40
Figura 6.2 Diagrama de configuración del equipo PCS-200	41
Figura 6.3 Gráfica de comportamiento de pulsos de velocidad vs pulsos de semillas ideales.	42
Figura 6.4 Grafica de comportamiento de semillas reales vs semillas ideales	44
Figura 6.5 Grafica de comportamiento de semillas reales vs semillas ideales	45

Figura A1	Gráfica de comparación de pulsos disco de velocidad vs pulsos semillas ideales -----	59
Figura A2	Gráfica de comparación de pulsos disco de velocidad vs pulsos semillas ideales -----	59
Figura A3	Gráfica de comparación de pulsos disco de velocidad vs pulsos semillas ideales -----	60
Figura B1	Gráfica de comparación de semillas reales vs semillas ideales-----	63
Figura B2	Gráfica de comparación de semillas reales vs semillas ideales-----	63
Figura B3	Gráfica de comparación de semillas reales vs semillas ideales-----	64
Figura B4	Gráfica de comparación de semillas reales vs semillas ideales-----	64
Figura C1	Comparación de semillas reales vs semillas ideales -----	68
Figura C2	Comparación de semillas reales vs semillas ideales -----	68
Figura C3	Comparación de semillas reales vs semillas ideales -----	69
Figura C4	Comparación de semillas reales vs semillas ideales -----	69
Figura C5	Comparación de semillas reales vs semillas ideales -----	69
Figura C6	Comparación de semillas reales vs semillas ideales -----	70
Figura C7	Comparación de semillas reales vs semillas ideales -----	70
Figura C8	Comparación de semillas reales vs semillas ideales -----	70
Figura C9	Comparación de semillas reales vs semillas ideales -----	71
Figura D.1	Comparación de medias A dentro de B y B dentro de A. -----	78

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 4.1 Etapas para la aplicación de agricultura de precisión	5
Cuadro 4.2 Tendencia de aplicación de AP, de acuerdo con zona geográfica, Norton y Swinton (2000)	7
Tabla 6.1 Media de los errores de la prueba sin semilla de sus cuatro corridas a intervalos de 200 semillas.....	43
Tabla 6.2 Media de los errores de las prueba con semilla del dosificador Max Emerge a intervalos de 200 semillas.....	44
Tabla 6.3 Media de los errores de las pruebas con semilla en el dosificador Precision Planting en intervalos de 200 semillas.....	46
Tabla 6.4 Medias de los errores de las tres pruebas, agrupados.....	47
Para el análisis en Minitab	47
Tabla 6.5 ANOVA del factor (V) para la evaluación de confiabilidad y de calidad del sistema de dosificación de semillas.....	48
Tabla 6.6 Comparación de medias en agrupaciones.	48
Tabla 6.7 ANOVA del factor (V) para la evaluación de confiabilidad y de	49
Calidad del sistema de dosificación de semillas.	49
Tabla 6.8 Comparación de medias en agrupaciones	49
Tabla 6.9 ANOVA del factor (V) para la evaluación de confiabilidad y de calidad del sistema de dosificación de semillas.....	50
Tabla 6.10 Comparación de medias en agrupaciones.	50
Tabla 6.11 Errores de la pruebas con su respectiva.....	51
Velocidad para el análisis factorial.....	51
Tabla 6.12 Análisis factorial comparación de medias.	54
Tabla A1 Errores de los pulsos del disco de velocidad vs pulsos del disco de semillas ideales a intervalos de 200 pulsos	60
Tabla B1 Errores de las réplicas semillas reales vs semillas ideales a intervalos de 200 datos	64
Tabla C1 Errores de las réplicas de semillas reales vs semillas ideales a intervalos de 200 datos por cada 1000 datos	71

RESUMEN

Se evaluó un sistema de dosificación para semillas y fertilizante marca ROJ, modelo PCS 200. Para la evaluación del sistema se diseñó un disco de baquelita de cobre con 10 perforaciones en su circunferencia para colocar imanes de Neodinio y así el sensor de efecto hall detecte la velocidad de trabajo. Se empleó el módulo de dos dosificadores neumáticos uno de la empresa John Deere Max Emerge y el otro de Precision Planting. Estos módulos de sembradoras cuentan con un sensor opto-electrónico para conteo de semillas reales, un sensor de efecto HALL para el conteo de semillas ideales, así como tarjetas electrónicas, con un micro controlador, para la rectificación de señales. Se empleó el software de instrumentos virtuales de Lab VIEW para el registro de datos como son semillas reales vs semillas ideales, así como el tiempo de caída entre cada evento. El análisis de los resultados muestra que la prueba de velocidad del motor PCS 200 con respecto a las semilla ideales muestra un porcentaje máximo de error del 0.5 % en el rango de las velocidades evaluadas, de 4 a 12 kmh^{-1} . En la evaluación del dosificador de Precisión Planting se mantuvo una uniformidad en su dosificación con respecto a los cambios de velocidad en el mismo rango de 4 kmh^{-1} a 12 kmh^{-1} , teniendo un error de 1.14%, mientras que la prueba con el dosificador de la Max Emerge mantiene en sus velocidades 4 kmh^{-1} , 6 kmh^{-1} y 8 kmh^{-1} una uniformidad de dosificación de 2.9%, al aumentar a las velocidades de 10 kmh^{-1} y 12 kmh^{-1} el error de dosificación se incrementó hasta un 13.45%.

Palabras clave: Agricultura de Precisión, Sembradora Neumática, Siembra de Precisión, Fiel-IQ.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la creciente preocupación medio ambiental 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 las tecnologías del Sistema de Posicionamiento Global (GPS, siglas en Ingles) en el ámbito civil ha fomentado el surgimiento de nuevas fuentes de desarrollo, entre las que se pueden mencionar la agricultura, y muy particularmente la Agricultura de Precisión (AP). 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 mejorarlo 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).

La Agricultura de precisión (AP) o manejo de sitio específico es la utilización de herramientas que permite 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.

A nivel mundial las oportunidades y riesgos actuales en la producción de alimentos están vinculados 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 el 90% del costo de la producción de amoniaco); aumento del área fertilizada en el mundo, deficiencia de nutrientes que limitan la producción de cultivos y forrajes así como altos índices de contaminación ambiental entre otros. 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 realizar prescripciones en tiempo real y sitio específico de insumos. Se requiere para lo anterior contar con sistemas que se integren AgDGPS (Sistemas de Posicionamiento Global Diferencial), sensores, SIG (Sistemas de Información Geográfica), así como equipos de dosificación variable de insumos. A nivel mundial, como un indicador, 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. Actualmente en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) se desarrolla maquinaria, equipos e instrumentos automatizados para docencia e investigación en la AP.

El presente trabajo tiene como propósito desarrollar un sistema de simulación para dosis variable de semillas, con motores eléctricos PCS-200 control de dosificación para sembradoras neumáticas, para obtener siembras homogéneas.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Evaluar el comportamiento de una transmisión eléctrica para dosificación de semilla marca ROJ modelo PCS200.

2.2 Objetivo Específico

Verificar la calidad de respuesta de dos dosificadores ante los cambios de velocidad en términos de uniformidad de dosificación.

III. HIPÓTESIS

Es posible evaluar la calidad de respuesta de dosificadores de semillas ante los cambios de velocidad de siembra.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Agricultura de precisión

La Agricultura de precisión (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 de 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 SIG para estimar, evaluar y entender dichas variaciones dentro del terreno, (Villalobos et al., 2009).

La idea del manejo de un sitio específico es hacer lo correcto en el lugar adecuado y en el momento oportuno.

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.

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) Citado por Torres (2014), los agentes involucrados en el desarrollo y adopción de las prácticas de agricultura de precisión suelen dividir este conjunto de tecnología en tres etapas diferentes. (Figura 4.1 y Cuadro 4.1).

- I. Recolección de datos.
- II. Procesamiento e interpretación de la información.
- III. Aplicación de insumos.

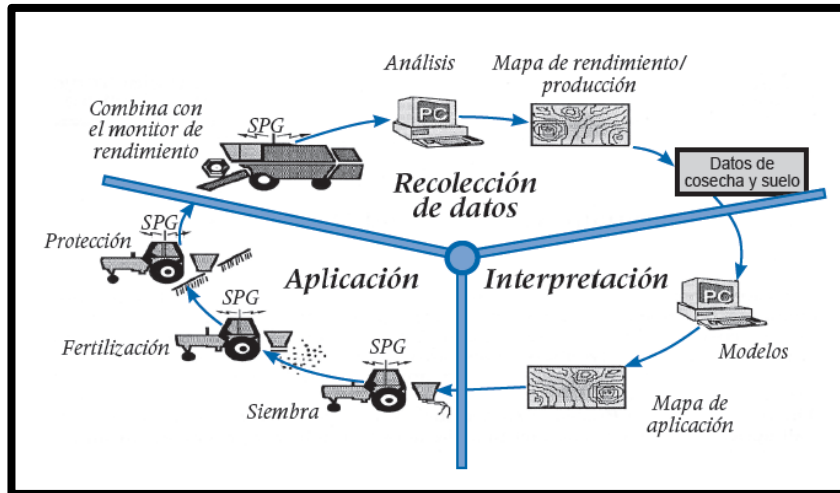


Figura 4.1 Etapas de la agricultura de precisión

Cuadro 4.1 Etapas para la aplicación de agricultura de precisión

Etapas	Tecnología Involucrada	Actividades
Recolección e ingreso de datos.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ GPS. ▪ Sistemas de información geográfica (SIG). ▪ Instrumentos topográficos. ▪ Sensores remotos. ▪ Sensores directos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Medición de la topografía del suelo. ▪ Muestreo de suelos en grilla. ▪ Recorrido de los cultivos para la detección de plagas y enfermedades. ▪ Monitoreo de rendimientos. ▪ Medición directa de propiedades del suelo y cultivos. ▪ Sensor-amiento remoto de

<p>Análisis, procesamiento e interpretación de la información.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Programas de SIG. ▪ Sistemas expertos. ▪ Programas estadísticos. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Experiencia del operador. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Análisis de dependencia espacial. ▪ Confección de mapas de evaluación. ▪ Confección de mapas de prescripción. ▪ Otras.
<p>Aplicación diferencial de insumos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tecnología de dosis variables. ▪ Pulverización asistida por GPS. ▪ Programas computacionales. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aplicación variable de nutrientes. ▪ Aplicación variable de plaguicidas. ▪ Siembra diferencial de variedades y aplicación variable de semillas.

4.1.1 Agricultura de precisión a nivel mundial y nacional.

Dentro de las estimaciones Argentina es el segundo país más tecnificado del mundo en el sector agrícola, precedido solo por Estados Unidos. Según señaló Andrés Méndez, 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, cuenta con 21.6% de esa superficie equipada con herramienta de agricultura de precisión (AP), según un cálculo realizado por el INTA Manfredi-Córdoba- a partir de información relevante por la Cámara Argentina de Fabricación de Maquinaria Agrícola (Cafma).

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. (Economía., 2012).

Con relación a una hipótesis de Norton y Swinton (2000) la Agricultura de Precisión va a ser adoptada primero en zonas de explotaciones grandes y con gran capital de inversión por hectárea. Las estadísticas de FAO muestran que países como EEUU, Canadá y Australia cumplen 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 sitio específico tiene gran potencial en países en desarrollo como Europa Occidental, EEUU, Canadá, Japón, Australia y Nueva Zelandia, pero el uso de las tecnologías de AP para automatizar el manejo sitio específico se limitará probablemente a zonas con producciones mecanizadas de gran escala. Los patrones de adopción de la AP 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, cuadro 4.2.

Cuadro 4.2 Tendencia de aplicación de AP, de acuerdo con zona geográfica, Norton y Swinton (2000)

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, consideró Ochoa Ibarra; 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, sólo trabajan dos tractores con esas características, uno en Chihuahua y otro en Sonora. (Dávila., 2010).

4.2 Definición de sistemas inteligentes

Según Reynolds (2006) 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.

En la actualidad el uso de sistemas de información geográfica (SIG) sistemas de posicionamiento global (GPS), así como herramientas de tipo sensor- motriz y herramientas de alto nivel tecnológico constituyen los sistemas inteligentes.

El funcionamiento de una sembradora neumática responde a las variaciones de diagnóstico agronómico geo-posicionando dentro de un sitio específico, respondiendo a prescripciones de diferentes densidades de siembra y dosis de fertilizante, lo que significa, que una vez cargado el croquis del lote específico con sus coordenadas, se puede establecer en el lote dos o tres sitios específicos y con rendimientos potenciales muy diferentes. Esto es, que una vez cargadas las prescripciones de la semilla y fertilizante para cada sitio y calibrada la sembradora, se

posiciona la máquina a través de la señal de un DGPS (Digital Global Positioning Systems), recibirá ambas ordenes por separado (semilla y fertilizante por medio de dos navegadores que le enviaran la señal al controlador y a su vez a los dos actuadores), motores hidráulicos comandados por un sistema eléctrico que acciona válvulas controladoras de giro de los distribuidores de semilla y fertilizante, todo ello posicionando en un lote con un método de precisión por medio de una señal DGPS en tiempo real. Al quedar geo-posicionada la sembradora en el lote lee la prescripción grabada y adapta el giro de los motores hidráulicos para entregar las semillas por hectárea programas y el fertilizante correspondiente a cada sitio del lote, (Reynolds 2006).

Todo el sistema es controlado desde la cabina del operador a través de un monitor, que entrega la información de cada distribuidor por separado, las distancias entre semillas, las semillas por hectárea, la capacidad de trabajo, velocidad de avance y superficie sembrada, (Reynolds 2006).

4.2.1 Sistema de control Field-IQ

El sistema de control de insumos para cultivos Field-IQ es un sistema para el control de secciones y de aplicación de dosis variable que evita la superposición de semillas y fertilizante, controla la dosis de aplicación de productos y monitorea las dosis de semillas y el bloqueo de fertilizante, y controla altura de los brazos de aplicación (Trimble, 2017).

4.2.2 Field-IQ para plantadoras y sembradoras

La superposición de insumos aumentará sus costos y creará una deficiencia de nutrientes en el suelo debido a la sobrepoblación de semillas. El sistema Field-IQ controla los embragues de la plantadora y una variedad de sistemas de sembradoras neumáticas encendiendo y apagando automáticamente las secciones en función de las zonas de acceso restringido y las áreas ya sembradas.

El monitoreo de la población de semillas, la eliminación de saltos y superposiciones múltiples, y el mantenimiento del espaciamiento correcto entre semillas son criterios para generar el máximo rendimiento por hectárea. El sistema Field-IQ ayuda a los agricultores a evitar que disminuya el rendimiento, al monitorear los resultados del análisis de simulación en tiempo real y poder hacer ajustes al instante.

Las plantas pueden tener distintas necesidades nutricionales a lo largo de su ciclo de crecimiento dependiendo de las condiciones del suelo y de otros factores medioambientales. El sistema Field-IQ monitorea y varía simultáneamente la dosis de los productos para plantar las semillas y aplicar los fertilizantes con precisión, (Trimble, 2017).

4.2.3 Ventajas

- Elimina la sobre plantación.
- Aumenta el rendimiento.
- Asegurar un espaciamiento entre semillas correcto.
- Evita la putrefacción de las plantas y la competición por los nutrientes.
- Crea un rendimiento uniforme en todos los campos.
- Reduce el impacto medioambiental.

4.3 Siembra de precisión

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 de 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 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 de 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.

4.4 Mecanismos de medición de semillas

Los mecanismos de medición de semilla se clasifican de la siguiente manera, (Ortiz 1989):

- De plato horizontal.
- De plato inclinado.
- De plato vertical.
- Con celdas en bandas.
- Con celdas circunferenciales.

- Neumático con ranuras.
- Por dosificación al vacío.

4.5 Funciones de una sembradora neumática de precisión

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 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 involucrada.

La sembradora debe ser capaz de no dañar la semilla, para que haya una buena germinación. La semilla debe ser colocada en el suelo de tal manera que todos los factores que afectan a la germinación y las labores de emergencia sean tan favorables como sea posible.

4.5.1 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. (Figura 4.2)

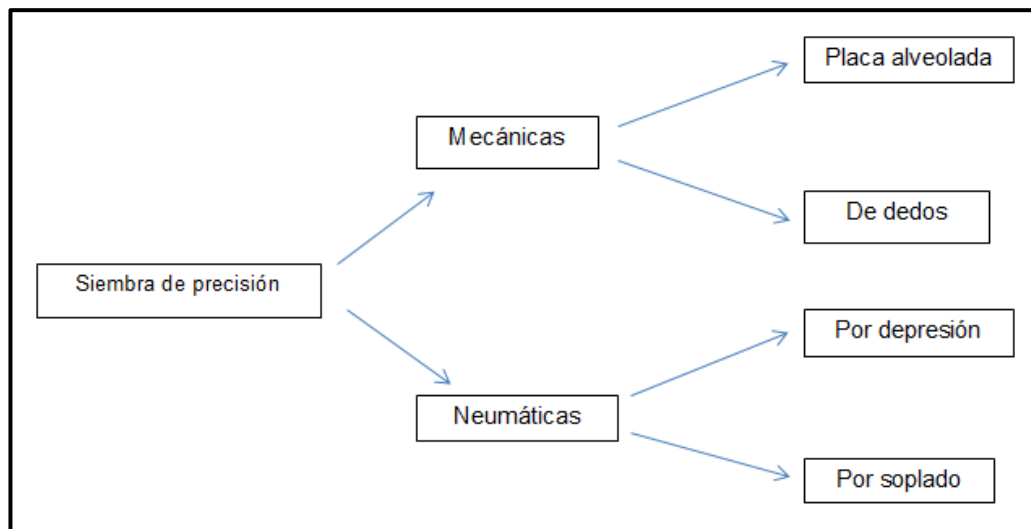


Figura 4.2 Tipos de sembradoras.

4.5.2 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.

4.5.3 Componentes de la sembradora de precisión

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

- Bastidor.

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

García et al. (2000) 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 25mm.

García et al. (2000) Realizó 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 20mm. Como resultado las sacudidas alteran notablemente la calidad del trabajo, como también la velocidad excesiva del mismo disminuye la entrega de semillas del mecanismo dosificador.

Colombino (1996) diseñó y construyó un banco de ensayos para equipos dosificadores de sembradoras y fertilizadoras el cual lo componen: la fuente de potencia que consiste en un motor eléctrico de corriente alterna, con un régimen de 1450 v s-1 y 0.75 kW de potencia, para reducir la velocidad del motor empleando un variador mecánico.

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 reporta que los resultados más satisfactorios se dieron a bajas velocidades (26 y 36 rpm) y de (10 y 12.5 pulgadas de agua).

La norma Mexicana NMX-0-168-SCFI-2002; para la evaluación de sembradoras indica que se deberá construir un banco de pruebas donde se pueda enganchar la sembradora, deberá tener un motor y transmisión con la que se podrá variar la velocidad de giro del eje de alimentación, además, deberá contar con los aditamentos necesarios con los cuales se podrá simular la pendiente del terreno para conocer el efecto en la dosificación de semilla.

4.6 Variabilidad

Los mapas de rendimiento permiten cuantificar la variabilidad de rendimiento existente durante la cosecha de un cultivo dentro del lote, quedando grabada espacialmente.

La variabilidad de los lotes es uno de los factores que pueden justificar la realización de dosis variable en la siembra, fertilización, pulverización, etc., y gracias al GPS y algunas herramientas de la Agricultura de Precisión, entre ellas monitor de rendimiento, podemos conocer el área que ocupa cada sitio y cuantificar sus diferencias de rendimiento.

Comprender la variabilidad es una de las claves de la Agricultura de Precisión. Se han identificado tres formas principales de variabilidad a tener en cuenta: Espacial, temporal y en la estimación.

- La variabilidad espacial: Es la que se da a lo largo y ancho del terreno. Esta variabilidad se puede reflejar mediante mapas de suelo. Si esta variabilidad es significativa, es el agricultor el que debe tomar las decisiones, aunque lo normal es contrastar este mapa con los de rendimiento.

- La variabilidad temporal: Se pone de manifiesto al comparar mapas de rendimientos de un año a otro, y su significado debe también ser deducido, aunque se pueden obtener mapas de tendencia que muestren las características fundamentales.
- La variabilidad en la estimación: Es la diferencia de lo estimado, con respecto a lo obtenido. Para un correcto aporte de inputs, se deben hacer ciertas aseveraciones, para obtener el rendimiento estimado. Si ese rendimiento no se obtiene, las aseveraciones que se hicieron en un primer momento, deberán ser mejoradas.

Antes de entrar a tomar decisiones respecto a estas variabilidades, se deben comprender, y por lo tanto previamente medirlas.

Medición de la variabilidad

La variabilidad espacial: Esta se puede medir mediante la obtención de datos sobre factores con localización precisa. Los mapas de rendimiento se producen realizando un seguimiento del rendimiento a la cosechadora, o máquina recolectora, tal que se conoce la cantidad cosechada en un determinado tiempo. Un DGPS (GPS Diferencial) se utiliza para obtener la localización de la posición de los rendimientos que se están obteniendo. Un sistema similar se utiliza para el muestreo del suelo, excepto si la muestra se recoge a mano, y se envía posteriormente a laboratorio para su análisis, en este último caso se utiliza un GPS para el posicionamiento del lugar de toma de muestras (Figura 4.3).

Estos datos se filtran y se representan como mapas que muestran la variabilidad espacial.

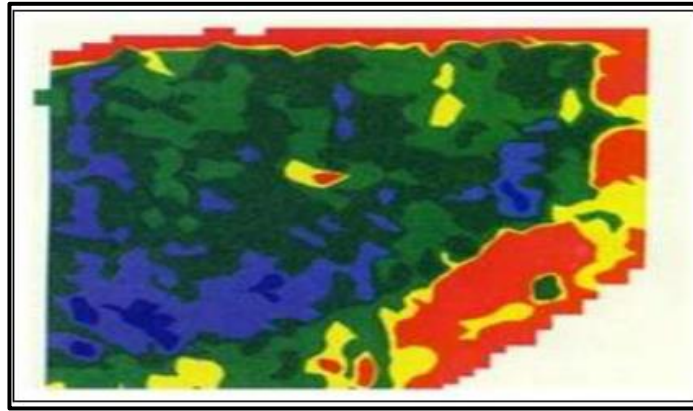


Figura 4.3 Mapa de preproducción.

La variabilidad temporal: Se obtiene mediante la observación y comparación de mapas que han sido obtenidos a lo largo del tiempo. (Figura 4.4)

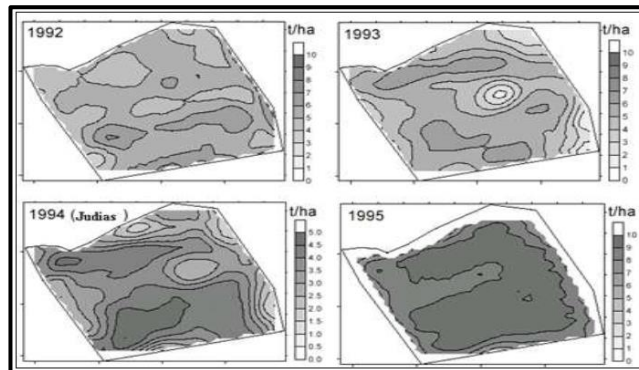


Figura 4.4 Mapas de rendimiento de diferente año.

La variabilidad en la estimación: Esta variabilidad se obtiene midiendo la diferencia entre los valores para el cultivo, y los valores conseguidos. Los valores que más se utilizan son los de área de producción, el rendimiento y calidad. La calidad es difícil de predecir, hasta los estudios tardíos de la producción, mediante la medida de la clorofila, y la realización de un mapa de clorofila. (Figura 4.5).

La mayoría de los trabajos publicados relacionados a sistemas de determinación de producción de productos agrícolas para la elaboración de mapas

de rendimiento están en el área de granos, donde empresas como JOHN DEERE, CASE y AGCO desarrollaron sensores de flujo de masa específicos para determinar la producción y la humedad de granos y software para manejar estos datos y generar los mapas de rendimiento. Citado por Méndez (2012).

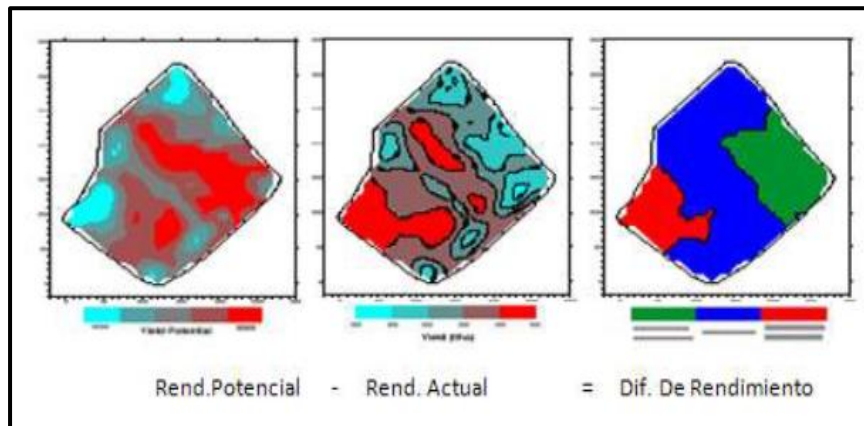


Figura 4.5 Variabilidad de la estimación del rendimiento.

4.7 Mapa de rendimiento

Los Mapas de Rendimiento (MR) son imágenes geo-referenciadas con una escala de colores que indican el rendimiento de un punto en específico. Por lo general, son desarrollados por científicos y especialistas de la Agricultura, donde los interesados (agricultores, cosechadores y productores) deben pagar un precio alto para obtenerlos. (Figura 4.6).

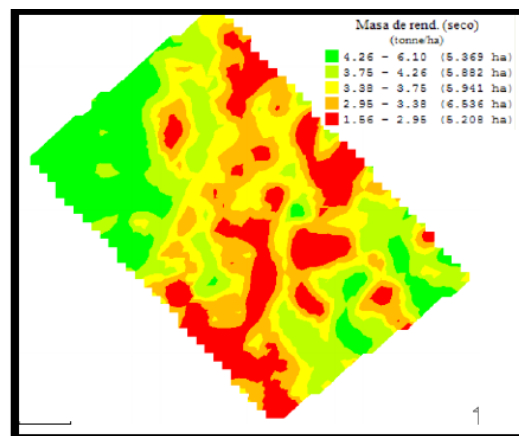


Figura 4.6 Mapa de rendimiento.

Los MR son entradas para el proceso de aplicaciones de Dosis Variable (DV) de los distintos químicos que necesita un cultivo (fertilizantes, herbicidas, riegos, etc.). Las cosechadoras, fertilizadoras, y otras máquinas, necesitan de la instalación de un Computador de Abordo para el control y monitoreo, también es válido el uso de sensores de flujo para medir y registrar el rendimiento puntual, figura 4.7 (Lago et al., 2011b).

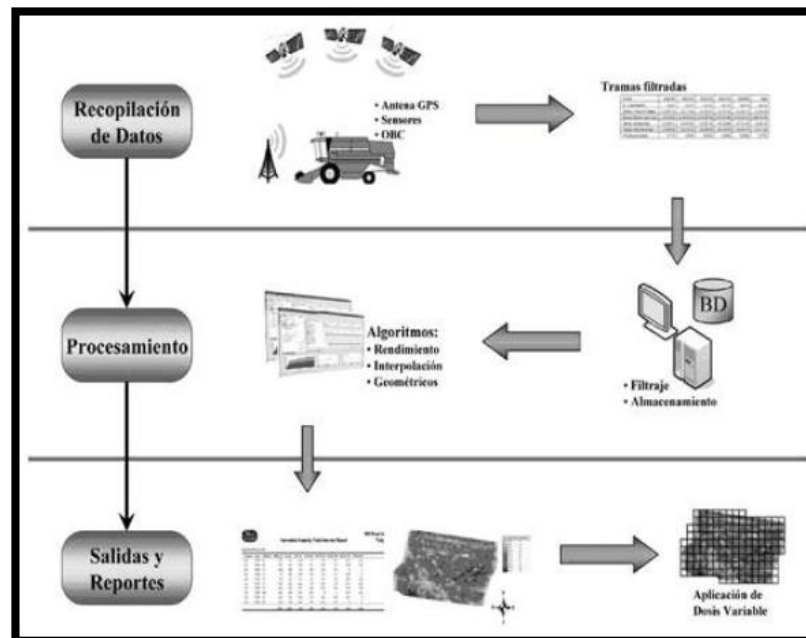


Figura 4.7 Proceso para generar mapas de rendimiento.

Una gran herramienta de la agricultura de precisión son los mapas de producción mediante los cuales es posible definir cuales áreas del cultivo que presentan una adecuada producción y cuales áreas requieren análisis especial, donde deben aplicarse correctivos en busca del objetivo deseado. (Lago et al., 2011a).

4.8 Dosis variable

La dosificación variable de insumos es una herramienta que permite variar la cantidad de semillas y fertilización en tiempo real en función de las características del suelo y del rendimiento del cultivo o de los cultivos antecesores. De esta manera,

al realizar una aplicación variable de insumos se optimiza los recursos y preserva el medio ambiente, con el objetivo de lograr una mejor sustentabilidad agropecuaria.

El manejo de cultivos con dosis variable es el uso de la variabilidad del suelo y parámetros de cultivo para tomar decisiones en la aplicación de insumos. Los sitios pueden presentar distintos tipos de variabilidad: por topografía, por génesis de suelo, por distinto tipo de manejo, etc. Mientras más diferencias potenciales de rendimiento tengan esos sitios, existe mayor posibilidad de que la aplicación variable de los insumos obtenga mejores resultados (Ortega y Santibáñez., 2007).

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 en 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) establece que el potencial de mejora de la rentabilidad debido a la aplicación variable de insumos dependen 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.

1. Delimitación de las zonas de manejo.
2. Programación del muestreo con GPS (por zonas).
3. Muestreo de suelo.
4. Análisis físico-químico de las muestras.
5. Determinación del rendimiento objetivo basado en experiencias anteriores.
6. 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 GPS aplica la dosis correcta de semilla, herbicida o fertilizante exactamente donde se necesita y al mismo tiempo se está cuidando el medio ambiente.

4.9 Sistemas de información geográfica

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 y una mejor toma de decisiones.

Durante mucho tiempo se ha reconocido que el avance de la gestión de las APS dependen de la aparición y la convergencia de varias tecnologías (Shibusawa 1998), incluyendo sistemas de información geográfica (SIG), sistema de posicionamiento Global, los receptores GPS, y GIS. Son útiles para mantener precisos registros de la ubicación, hectáreas plantadas y un rendimiento de los cultivos.

El sistema GPS hace posible registrar la variabilidad de los datos, lo que hace posible determinar la posición de forma correcta y continua. Según Nemnyi et al., (2003), el manejo de un SIG es de vital importancia en la agricultura de precisión, ya que permite generar visiones complejas del terreno de trabajo, para tomar decisiones como la aplicación de fertilizantes o determinar las causas de la variabilidad. Citado por Torres (2014). Bragachini et al, (1999) define “estos sistemas como una gran herramienta en la agricultura moderna ya que cada variable medida va a estar exactamente localizada y de esta forma tenemos la posibilidad de volver a él, localizarlo, obrar sobre él y grabar nuevamente el resultado”, figura 4.8.

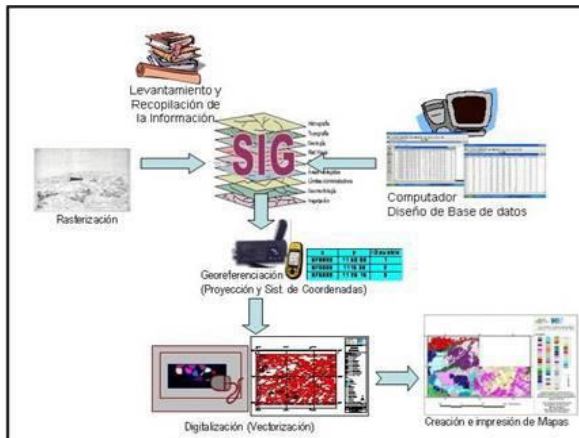


Figura 4.8 Componentes del sistema de información geográfica.

Para la implementación de prácticas de AP, unido a las metodologías tradicionales de muestreo, análisis e interpretación, existen tres tecnologías, o grupos de ellas, que son clave:

- Sistemas de posicionamiento global (GPS): permiten la localización instantánea (latitud, longitud) dentro de un sitio o lote de producción. Normalmente, y partir de la eliminación de la disponibilidad selectiva, los sistemas de GPS han alcanzado una mayor exactitud, pero aún existen errores en las mediciones, por ello deben usarse equipos GPS con corrección diferencial (DGPS).
- Sistemas de información geográfica (SIG): permitir la integración espacial, el manejo y análisis de la información recolectada.
- Sensores, equipos y maquinaria especializada: permite la recolección de la información en terreno y la aplicación variable de insumos.

V. MATERIALES, EQUIPOS Y MÉTODOS

5.1 Ubicación de la investigación

El desarrollo de esta investigación se realizó en el departamento de Maquinaria Agrícola de la UAAAN, ubicada en Buenavista, Sotillo y se localiza al suroeste de Coahuila en las coordenadas 101°59'17" Long. Oeste y 25°23'59" Lat. Norte a una altura de 1600 msnm, figura 5.1.



Figura 5.1 Taller y laboratorio de prototipos.

5.2 Materiales

Los materiales que se utilizaron para llevar a cabo el desarrollo del proyecto fueron los siguientes:

1.-Un microcontrolador PIC16F84, con memoria tipo flash lo que permite que sea programado, 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 8 bits cada una, figura 5.2.



Figura 5.2 Microcontrolador PIC16F84.

2.- Sensor de efecto hall para la elaboración de los sensores, figura 5.3.



Figura 5.3 Sensor de hall.

3.- Para las pruebas correspondientes se utilizó semilla de frijol.

4.- para el acondicionamiento del prototipo de banco de pruebas de dosificadores de semillas se utilizó el laboratorio de prácticas, el cual consta con la herramienta necesaria para el desarrollo del trabajo, figura 5.4.



Figura 5.4 Laboratorio de prácticas.

5.3 Equipos

Para llevar a cabo las pruebas del proyecto se utilizaron los equipos mencionados a continuación:

1.- Banco de pruebas: Es un bastidor que consta de dos dosificadores neumáticos para la agricultura de precisión (Max Emerge y Precision Planting), de la empresa John Deere, figura 5.5.



Figura 5.5 Banco de pruebas del sistema de dosificación neumático.

2.- Sensor semillas reales (sensor opto electrónico): Sensor semillas reales (tipo comercial marca John Deere) para los sistemas dosificados mecánicos y neumáticos, sensor opto electrónico de barrera H21A1 para medir pulsos, que detecta la señal analógica y la envía al Microcontrolador, figura 5.6.



Figura 5.6 Sensor semillas reales.

3.- Sensor semillas ideales (Sensor de hall): Este sensor es acoplado en un disco de baquelita de cobre que tiene 30 perforaciones y en cada perforación lleva un imán de Neodimio de (7x3 mm). La finalidad de este sensor es contar la cantidad de semillas exactas que deberían caer, figura 5.7.



Figura 5.7 Sensor de semillas ideales.

4.- Sensor de velocidad: De la cereza GS102301, sensor que detecta la velocidad de trabajo de la máquina, figura 5.8.



Figura 5.8 Sensor de velocidad.

5.- Tarjetas electrónicas: Se utilizaron dos 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 del motorreductor. Las cuales fueron diseñadas en la UAAAN por (Méndez, 2012), figura 5.9.

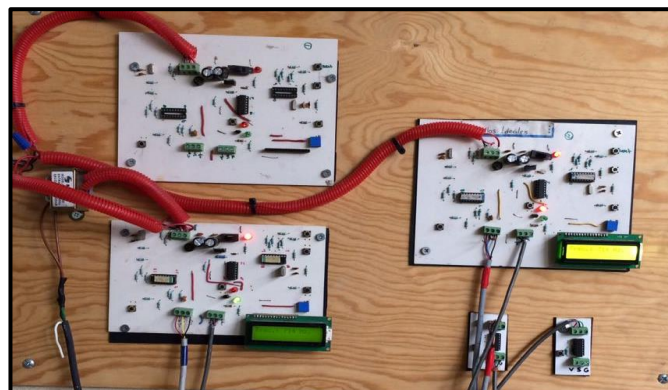


Figura 5.9 Tarjetas electrónicas.

6.- Tarjeta de adquisición de datos National Instrument: PCI-NI-6221, tarjeta de entradas/salidas, para uso con dispositivos 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 gráfico Lab VIEW, figura 5.10.



Figura 5.10 Tarjeta de adquisición de datos PCI-NI-6221.

7.- Tarjeta de conexión de señales externa (NI SCC-68) (tipo comercial de la marca Natinal Instrument): Es utilizada para para la comunicación externa con las tarjetas electrónicas las cuales reciben la señal de los sensores de caída de semillas reales e ideales, figura 5.11.

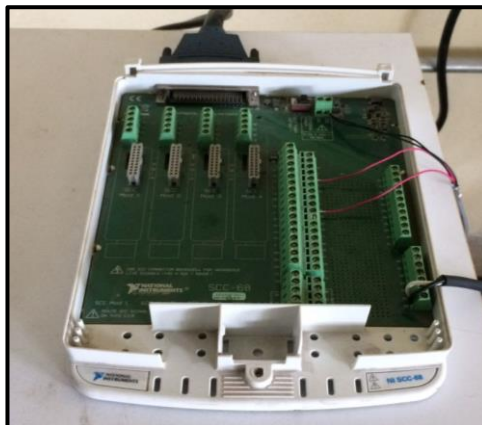


Figura 5.11 Tarjeta de conexión de señal.

8.- Variador de frecuencias: CFW500 convertidor de frecuencias de 50 a 60Hz, sirve para dar velocidades en Hertz al motor que simulara la velocidad de trabajo, figura 5.12.



Figura 5.12 Variador de frecuencias.

9.- Bomba de vacío: Aspiradora STINGER WD05250 para polvo y agua de 5.0 GAL/18 litros, figura 5.13.



Figura 5.13 Aspiradora marca STINGER.

10.- Vacuómetro: Unidad de medición de presión diferencial MAGNEHELIC para aire y gases no combustibles de 30 pulgadas de agua de vacío, figura 5.14.



Figura 5.14 Vacuómetro.

11.- Motor: Motor Weg modelo A.E código 7535AS3E48T, de 1750 rpm a 220/240 v a 60Hz, figura 5.15.

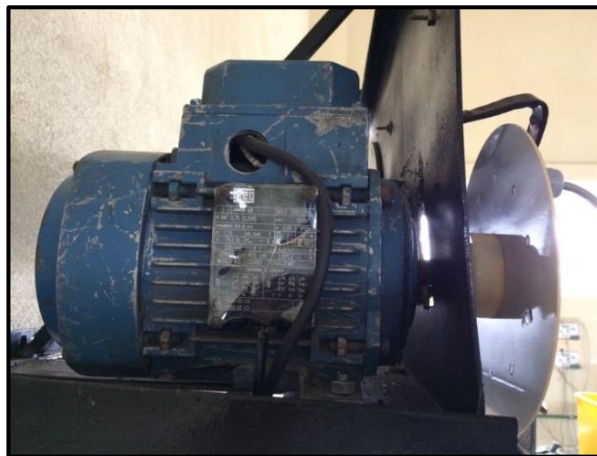


Figura 5.15 Motor de simulación de velocidad.

12.- Motorreductor eléctrico PC200: De la empresa Roj. Tensión nominal 12v, corriente nominal 4,2 A; potencia nominal 80W; velocidad nominal 3000rpm. Este motor sirve para mover el disco de siembra del dosificador, figura 5.16.

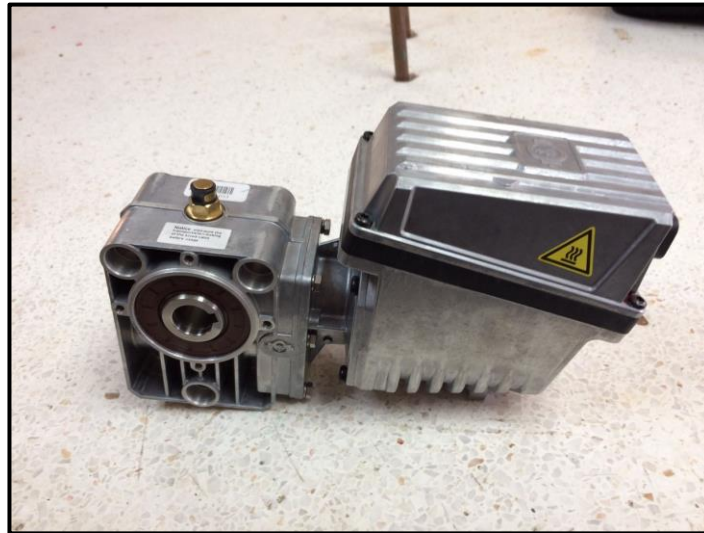


Figura 5.16 Motorreductor eléctrico PC 200.

13.- Pantalla (HMI): Pantalla de color TFT de 7 pulgadas, resolución 800x400, 10bpp pantalla táctil resistiva de la empresa ROJ. Consola gráfica que permite al usuario configurar y leer los datos de actividad de siembra, figura 5.17.



Figura 5.17 Pantallas (HMI).

14.- Computadora: Una computadora marca Lanix Titán 4040 con sistema operativo Windows 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 dura 160Gb, figura 5.18.

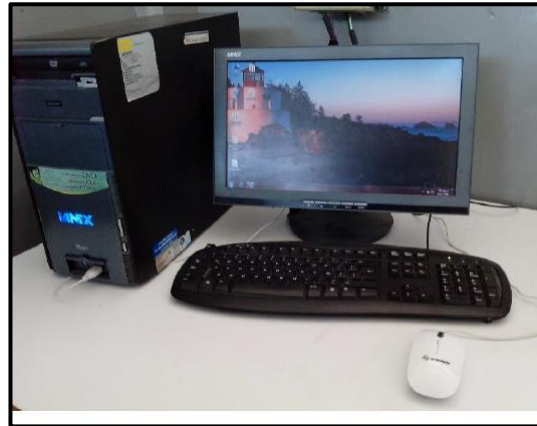


Figura 5.18 Computadora Lanix Titán.

15.- Software: Los software que se utilizaron para la recopilación y análisis de los datos son los siguientes:

- ✚ Software Lab VIEW 2009 de National Instruments: Es el software en el cual se desarrolló el programa virtual que permite tener comunicación con la tarjeta de adquisición de datos National Instruments, mismo que recibe y envía señal de los sensores y actuadores, activando de forma dinámica y variable los sistemas de dosificación, figura 5.19.

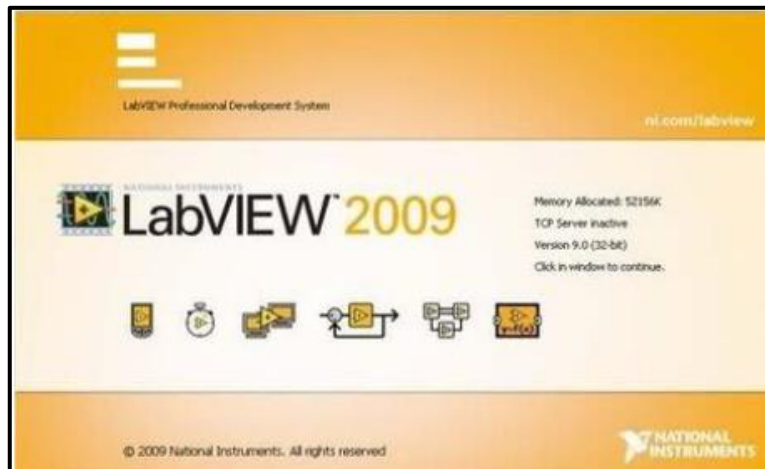


Figura 5.19 Software Lab VIEW 2009.

- ✚ Software Minitab17, es el software que nos ayudó a analizar los datos obtenidos durante las pruebas, figura 5.20.

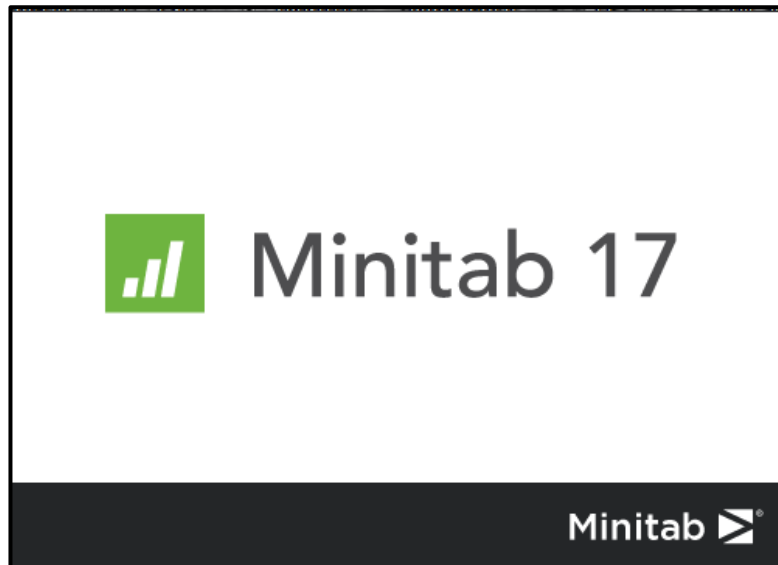


Figura 5.20 Software Minitab 17.

- ✚ Software UANL diseños experimentales: ayudó a analizar los resultados de las pruebas que se realizaron en la evaluación del sistema, figura 5.21.

	A	B	Rep.	Y
*				

Figura 5.21 Software diseños experimentales UANL.

5.4 Metodología

La metodología general para alcanzar los objetivos planteados es la que se describe en la imagen del diagrama de bloques

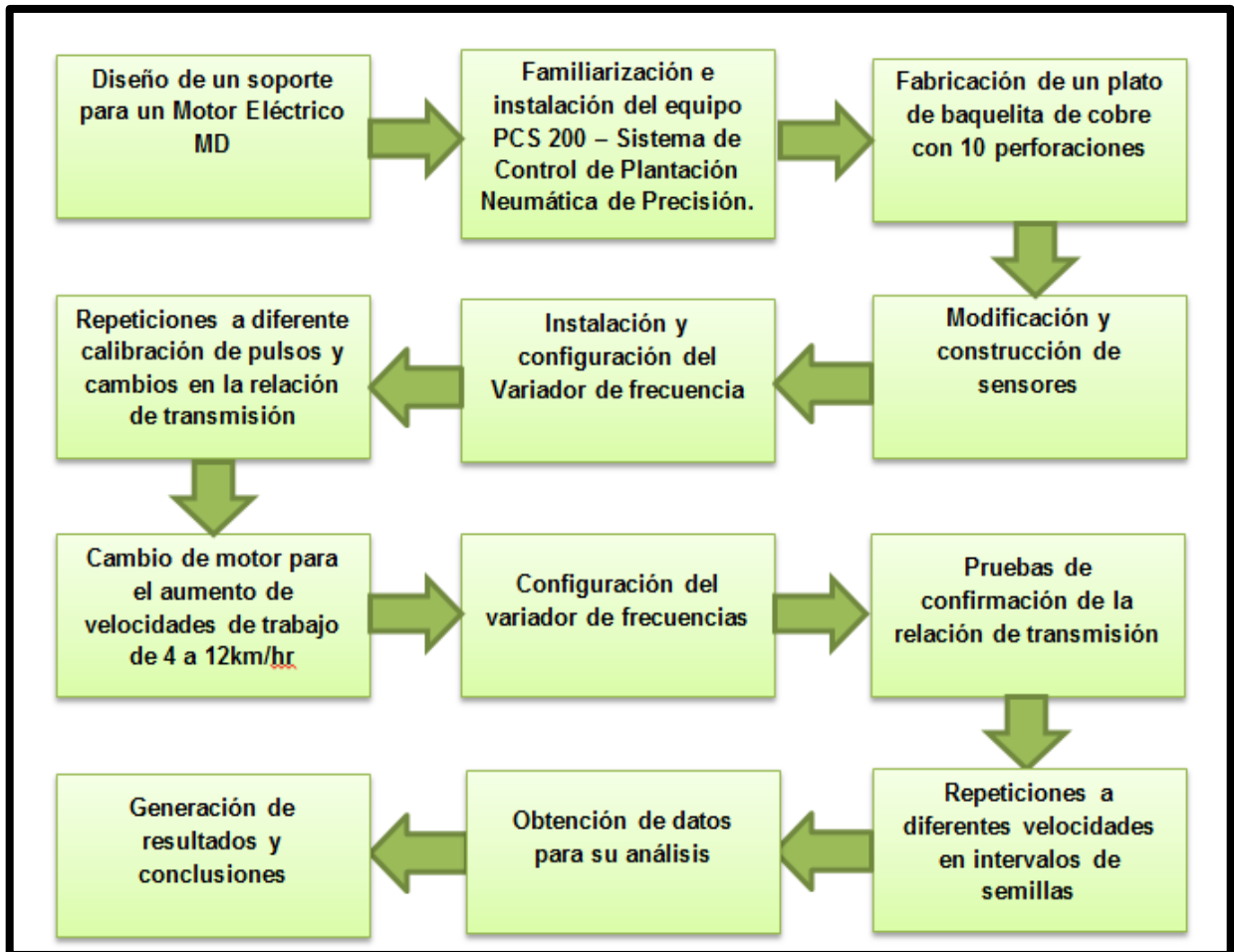


Figura 5.22 Metodología general

5.4.1 Diseño de un soporte para un motor eléctrico MD.

Se diseñó un soporte en el programa Solidworks 2017 para el montaje del motor con la flecha del dosificador ajustándolo al chasis que sostiene el cuerpo de la sembradora.

5.4.2 Familiarización e instalación del equipo PCS 200- Sistema de Control de Plantación Neumática de Precisión.

Se revisó el manual del equipo para conocer el funcionamiento correcto del Sistema de Plantación Neumática de Precisión (PCS 200) y no tener problemas al momento de su configuración, así mismo para realizar las conexiones correctas a cada parte o unidad del equipo.

5.4.3 Fabricación de un plato de baquelita de cobre con 10 perforaciones en su perímetro.

Se fabricó en el taller de máquinas y herramientas un plato de baquelita de cobre con 10 perforaciones en su perímetro, en los 10 orificios se montó imanes para que el sensor del equipo PCS 200 pueda detectar la velocidad de trabajo del tractor.

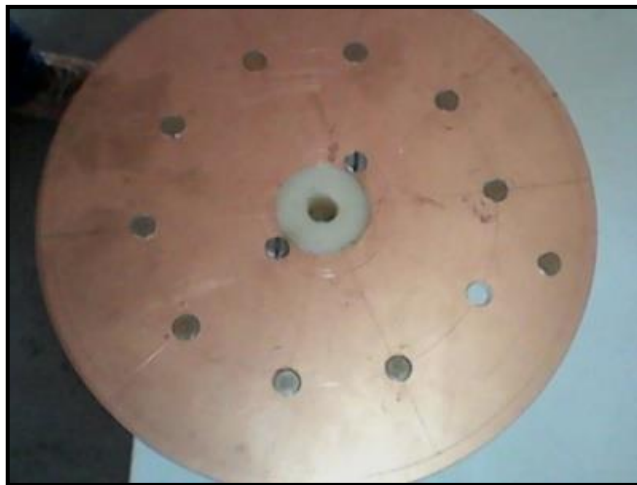


Figura 5.23 Disco con 10 imanes.

5.4.4 Modificación y construcción de los sensores de efecto Hall.

Se construyó un sensor de efecto HALL con una modificación de tal manera que el sensor este separado del circuito rectificador de señal.

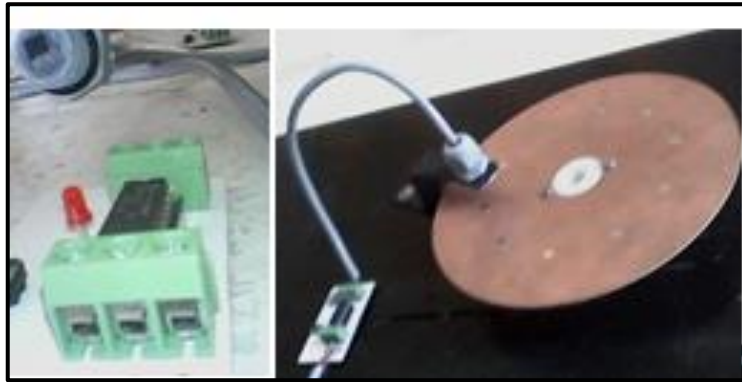


Figura 5.24 Sensor de efecto HALL.

5.4.5 Instalación y configuración del Variador de frecuencias.

Se montó el variador de frecuencias en la pared a un costado de la base de los motores de simulación de velocidad, se configuro de forma manual para controlar la velocidad que se le dará al motor por medio del variador.

5.4.6 Repeticiones a diferentes calibraciones de pulsos y cambios de relación de transmisión.

Para la obtención de datos se realizaron de 4 a 10 repeticiones, por arreglo, en el laboratorio de pruebas a diferentes cambios de pulsos y a diferentes cambios de relación de transmisión.

Se realizaron 4 repeticiones variando la velocidad de avance, los pulsos utilizados para las pruebas son: 800, 1000, 1500, 2000 pulsos por cada 100 m de avance. En cada repetición se cambiaron 3 rangos de frecuencias que se controlaron de forma manual desde el variador (1485, 1000, 700Hz), dando una velocidad de trabajo al motor (3.8 kmh^{-1} , 2.6 kmh^{-1} , 1.8 kmh^{-1}), así mismo variando la relación de transmisión (-10000, -8000, -6000, -4000) en cada repetición.

5.4.7 Cambio de motor para el aumento de velocidad de trabajo de 4 a 12 kmh^{-1}

Para la prueba correspondiente se optó por aumentar las velocidades de trabajo, se cambió el motor por uno que entregara mayor número de revoluciones obteniendo así la velocidad deseada para las pruebas (de 4 a 12 kmh^{-1}).

Al poner en función el sistema se observaron algunos fallos al accionar el sistema; uno de los sensores detectaba pulsaciones esto debido a que la fuente de poder estaba emitiendo ruido magnético por medio de los cables del sensor lo cual no permitía el funcionamiento correcto del sistema.

Para lograr que el equipo funcionara correctamente retiramos la fuente de los cables y ajustamos el sensor de semillas ideales para así obtener una mayor eficiencia del funcionamiento del equipo.

5.4.8 Configuración del variador de frecuencias.

Para poner en marcha el motor se utilizó el variador de frecuencias el cual permite por medio de la lectura de la base de datos y la tarjeta de adquisición de datos el cambio de voltaje automático al motor dando el cambio de velocidad al mismo. Al realizar las pruebas correspondientes se observó que al inyectar 1v al variador desde la computadora, el motor respondía a una velocidad demasiado alta e impedía el trabajo correcto del sistema. Por lo cual se optó por dejarlo de forma manual determinando una frecuencia para las velocidades requeridas en las pruebas.

5.4.9 Pruebas de confirmación de la relación de transmisión.

En esta prueba se realizaron 4 corridas con la relación de transmisión y los pulsos sugeridos en las pruebas preliminares (Relación de transmisión 3515 y una relación de 800 Pulsos por cada 100 m). Comparando los pulsos de velocidad vs pulsos de semillas ideales, llevándolo desde un rango de velocidades de trabajo de 4, 6, 8, 10, y 12 kmh^{-1} ; analizando las gráficas de comportamiento y procediendo a las pruebas correspondientes para la obtención de datos.

5.4.10 Repeticiones a diferentes velocidades en intervalos de semillas.

Se realizaron varias corridas con dos dosificadores neumáticos (Max Emerge y Precision Planting), para evaluar la respuesta de dosificación que se controlara por medio de un motor eléctrico. Las pruebas fueron las siguientes:

- a. Primer prueba: consistió en cinco réplicas con el dosificador Max Emerge a las siguientes velocidades 4, 6, 8, 10, 12 kmh^{-1} a intervalos de mil semillas para los cambios de velocidad, llegando a un conteo de cinco mil semillas por evento realizado.
- b. Segunda prueba: llevaron a cabo diez réplicas con el dosificador Precision Planting a las siguientes velocidades 4, 6, 8, 10, 12 kmh^{-1} a intervalos de mil semillas para el cambio de velocidad llegando a un conteo de cinco mil semillas por evento realizado.

Estas pruebas se realizaron para determinar la respuesta de trabajo de los dos dosificadores con la relación de transmisión sugerida y a la velocidad de avance.

VI. RESULTADOS

6.1 Diagrama general del sistema de evaluación.

En el siguiente diagrama se muestran los componentes que conforman el sistema de evaluación (Figura 6.1).

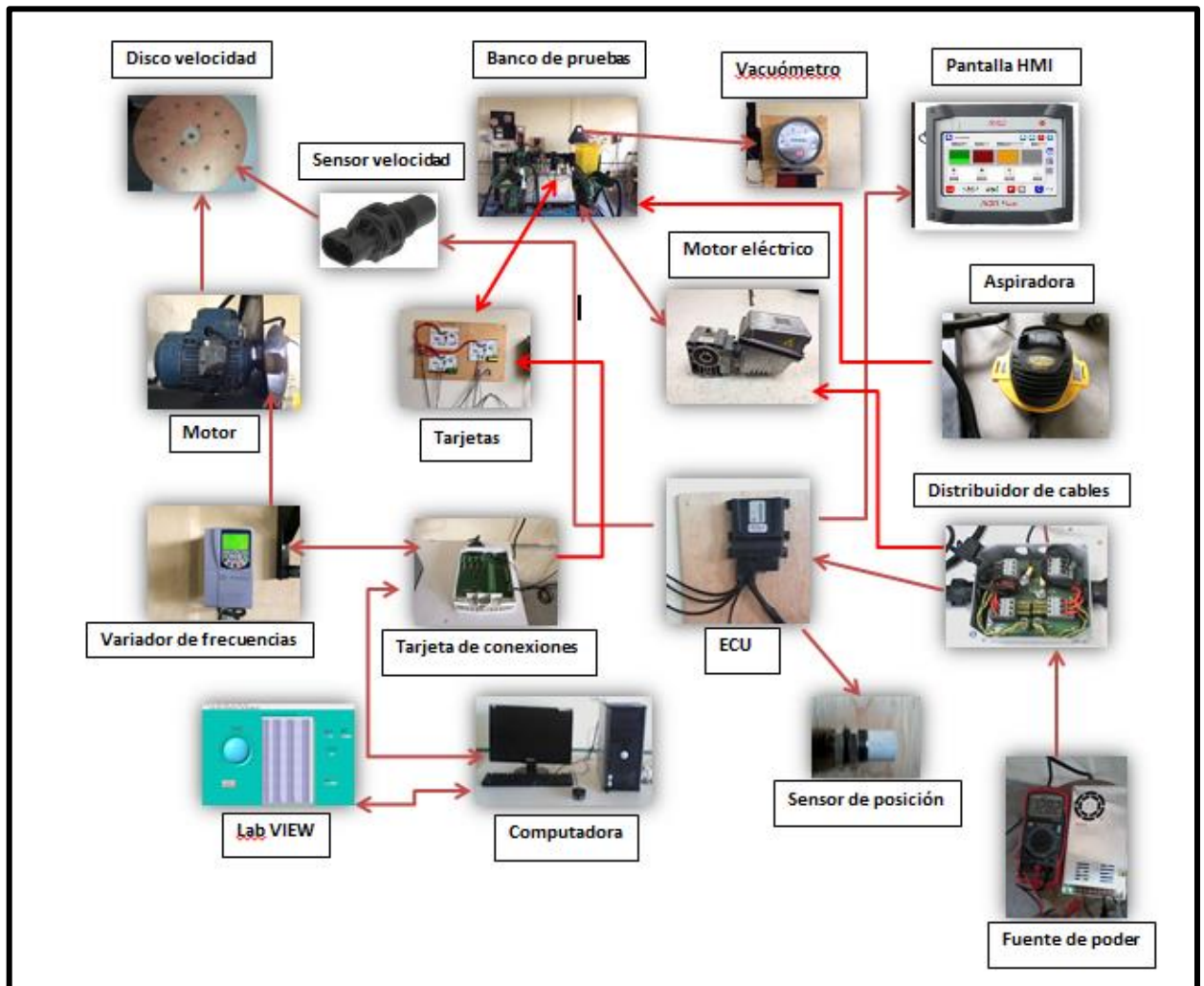


Figura 6.1 Sistema de evaluación.

6.2 Configuración del equipo PCS200.

El siguiente diagrama de bloques muestra la configuración del equipo PCS 200 (figura 6.2).

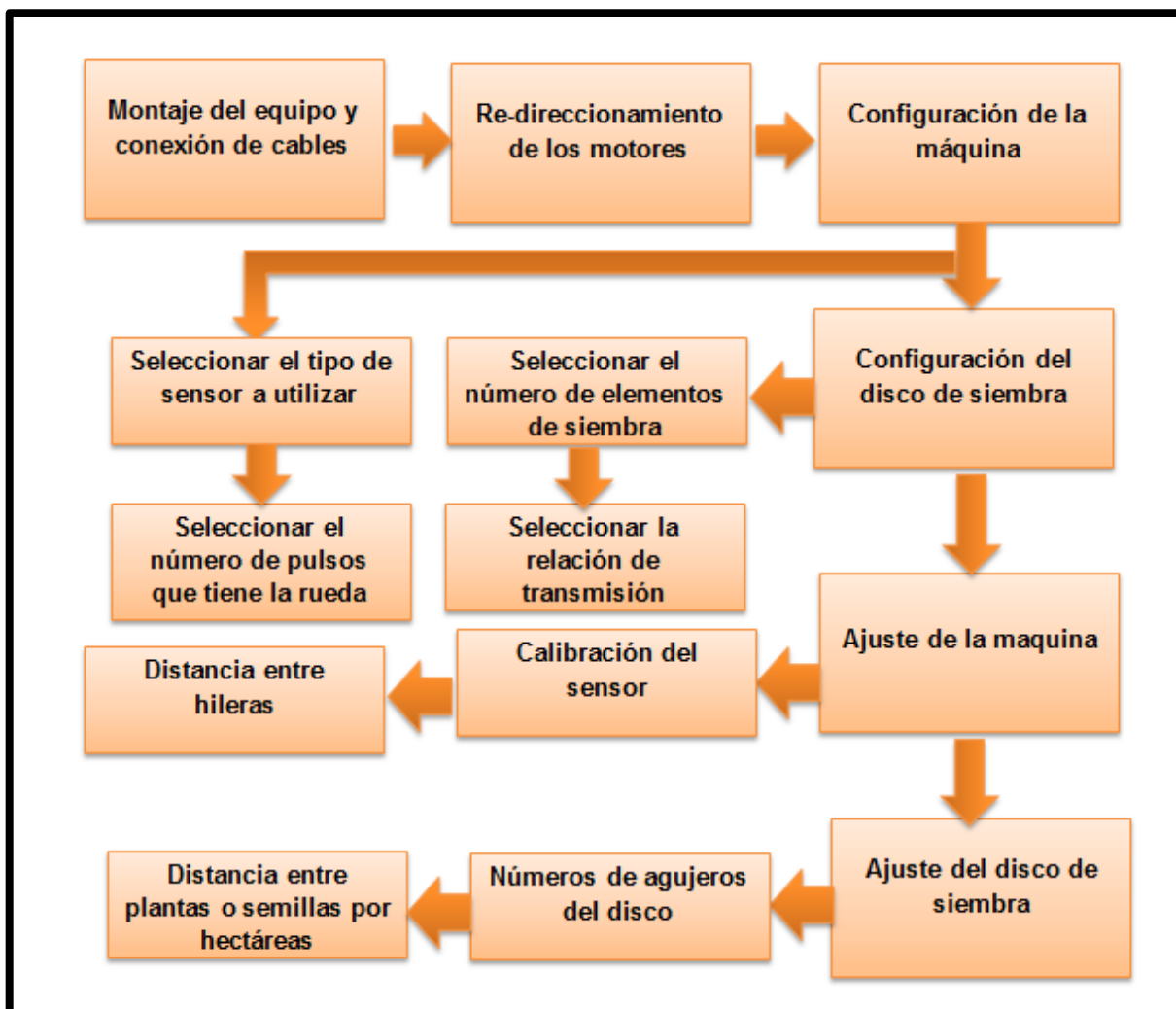


Figura 6.2 Diagrama de configuración del equipo PCS-200

6.3 Evaluación del sistema de dosificación neumática.

Para la evaluación del sistema se realizaron 3 pruebas a diferentes repeticiones cada una. Para realizar dichas pruebas se utilizó 800 pulsos/100m y una relación de transmisión de 3515, dichos parámetros establecidos previamente.

El sistema se evaluó a diferentes cambios de velocidad en cada prueba y en cada repetición, las velocidades que se utilizaron son las siguientes: 4, 6, 8, 10 y 12 kmh^{-1} . A cada velocidad se le dio una frecuencia correspondiente: 4 kmh^{-1} :25Hz, 6 kmh^{-1} :33Hz, 8 kmh^{-1} :45Hz, 10 kmh^{-1} :54Hz, 12 kmh^{-1} :65Hz.

Para los diferentes cambios de velocidad se hicieron en intervalos de 1000 semillas, llegando a un conteo de 5000 mil semillas para cada repetición por prueba.

Prueba de evaluación del sistema pulsos velocidad vs pulsos semillas ideales

Se realizaron cuatro réplicas para reafirmar que el sistema estuviera trabajando correctamente de acuerdo a los pulsos y la relación de transmisión establecidas previamente para las demás corridas (anexo A). Comparamos los pulsos del disco de simulación de velocidad contra los pulsos del disco de semillas ideales obteniendo las siguiente gráfica, que muestran la curva de comportamiento de dosificación del sistema, figura 6.3.

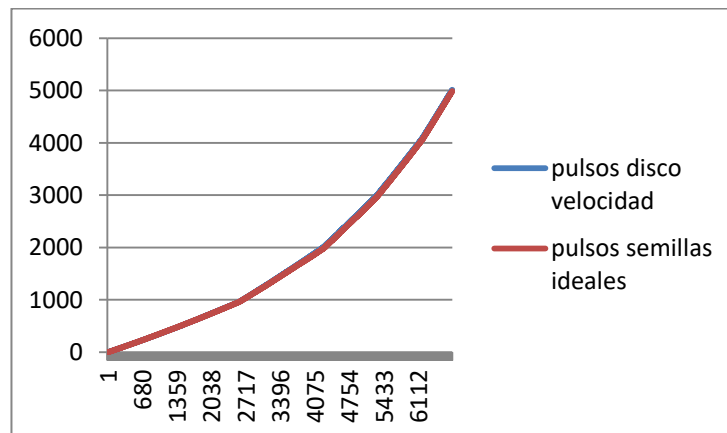


Figura 6.3 Gráfica de comportamiento de pulsos de velocidad vs pulsos de semillas ideales.

Con los datos obtenidos de las corridas se determinó el error de pulsos de simulación de velocidad contra los pulsos de semillas ideales, (anexo A donde se encuentran los intervalos de cada replica a diferentes velocidades). Se evaluaron 5 puntos a intervalos de 200 pulsos por cada mil pulsos que se registraron durante la corrida, tabla 6.1.

Tabla 6.1 Media de los errores de la prueba sin semilla de sus cuatro corridas a intervalos de 200 semillas

TABLA PULSOS VELOCODAD vs PULSOS SEMILLAS IDEALES (SIN SEMILLA)				
PRUEBA	VELOCIDADES kmh ⁻¹	PULSOS VELOCIDAD	SEMILLAS IDEALES	%ERROR
PA	4	600	599,4	0,023
	6	1600	1584,6	0,914
	8	2600	2570,6	1,141
	10	3600,2	3571,2	0,813
	12	4600,2	4574,6	0,560
PB	4	600	599,2	-0,015
	6	1600	1591,4	0,507
	8	2600	2580,2	0,770
	10	3600,2	3580,8	0,544
	12	4600,4	4584,2	0,355
PC	4	600	601	-0,228
	6	1600	1596,2	0,220
	8	2600,2	2594,6	0,219
	10	3600,2	3596,2	0,114
	12	4604,2	4603,2	0,023
PD	4	600	601,8	-0,340
	6	1600	1598,2	0,095
	8	2600	2597	0,120
	10	3600,4	3600,6	-0,003
	12	4600,4	4604	-0,077

Prueba de evaluación del sistema con semilla de frijol y el dosificador Max Emerge.

En esta prueba se realizaron 5 réplicas con un dosificador neumático Max Emerge y semilla de frijol para evaluar el comportamiento que tiene el dosificador a los diferentes cambios de velocidad con el equipo PCS 200, se determinaron las

curvas de comportamiento de dosificación comparando la caída de semillas reales vs semillas ideales, los comportamientos del dosificador se muestran en la figura 6.4.

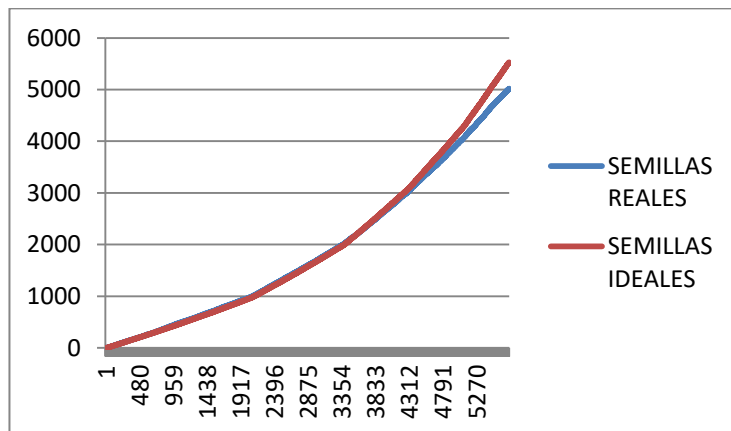


Figura 6.4 Grafica de comportamiento de semillas reales vs semillas ideales

El comportamiento de la curva de semillas ideales del dosificador Max Emerge es con respecto del cambio de velocidad, al aumentar la velocidad de 8 a 12 kmh^{-1} empieza una variación de semillas ideales, (anexo B para observar las gráficas de las diferentes replicas).

Se determinó el error de semillas reales vs semillas ideales, en muestreos de 5 puntos a cada mil semillas en intervalos de 200 semillas, (anexo B). Los resultados se muestran en la tabla 6.2.

Tabla 6.2 Media de los errores de las prueba con semilla del dosificador Max Emerge a intervalos de 200 semillas

TABLA SEMILLAS REALES VS SEMILLAS IDEALES (MAX EMERGE)				
PRUEBA	VELOCIDADES kmh^{-1}	SEMILLAS REALES	SEMILLAS IDEALES	%ERROR
P1	4	600,2	584,6	2,506
	6	1600	1577,6	1,466
	8	2600,2	2624,4	-0,854
	10	3600,6	3744,6	-3,918
	12	4600,4	4967,4	-7,890
P2	4	600,4	624,2	-4,415

	6	1600	1697,2	-5,896
	8	2600	2913,8	-11,831
	10	3600,2	4317,6	-19,798
	12	4600,2	5900	-28,092
	4	600	586,8	1,708
	6	1600,2	1576,8	1,481
P3	8	2600,2	2607	-0,206
	10	3600,4	3710,8	-2,967
	12	4600,4	4988,8	-8,362
	4	600	573,2	4,068
	6	1600	1555,8	2,981
P4	8	2600	2610,2	-0,306
	10	3600,2	3762,2	-4,417
	12	4600,4	5039,6	-9,459
	4	600	594,8	1,497
	6	1600	1599,4	0,061
P5	8	2600	2647,2	-1,774
	10	3600,6	3765,6	-4,488
	12	4600,6	5014,8	-8,916

Prueba de evaluación del sistema con semilla de frijol y el dosificador neumático Precision Planting.

Se realizaron 10 réplicas para la evaluación del equipo PCS 200, con un dosificador neumático (Precision Planting), se recopilaron 5000 datos para la evaluación del sistema. A cada mil datos de conteo se realizaba un aumento de velocidad para ver la respuesta de dosificación a los diferentes cambios de velocidad, los resultados se muestran en la gráfica de curva de comportamiento de dosificación, figura 6.5.

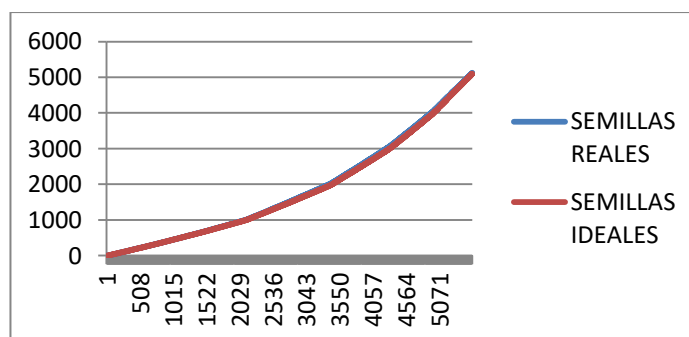


Figura 6.5 Gráfica de comportamiento de semillas reales vs semillas ideales

Se observa en la gráfica el comportamiento de curva de dosificación de la corrida, que el aumento de velocidad no influye tanto en la dosificación ya que mantienen uniformidad en la dosificación, (anexo C para las demás replicas). Con estos resultados se determinó el error que hay entre las semillas reales contra las semillas ideales, con un conteo a intervalos de 200 semillas por cada 1000 semillas, (anexo C donde se observan los intervalos de conteo), se muestran los resultados en la tabla 6.3.

Tabla 6.3 Media de los errores de las pruebas con semilla en el dosificador Precision Planting en intervalos de 200 semillas

TABLA SEMILLAS REALES vs SEMILLAS IDEALES (PRECISION PLANTING)				
PRUEBA	VELOCIDADES kmh ⁻¹	SEMILLAS REALES	SEMILLAS IDEALES	%ERROR
P1	4	600,2	596,4	0,568
	6	1600	1571,2	1,738
	8	2600,4	2546	2,083
	10	3600,2	3538,6	1,725
	12	4600,8	4560	0,907
P2	4	600	592,2	1,417
	6	1600	1578,4	1,317
	8	2600,2	2561	1,519
	10	3600,2	3567,8	0,916
	12	4600,4	4588,6	0,265
P3	4	600	589,6	2,097
	6	1600	1567	2,039
	8	2600	2546,4	2,071
	10	3600	3545,6	1,522
	12	4600,6	4560,8	0,874
P4	4	600	594,6	0,900
	6	1600	1583	1,041
	8	2600	2574,2	1,001
	10	3600	3574,4	0,721
	12	4600,6	4591,4	0,208
P5	4	600	600,4	-0,083
	6	1600	1588,8	0,671
	8	2600	2581,6	0,710
	10	3600,4	3586,4	0,397
	12	4600,2	4611,2	-0,223
P6	4	600	596,2	0,722
	6	1600	1582,2	1,075

	8	2600,6	2578,2	0,903
	10	3600,4	3612,2	-0,306
	12	4604,2	4690,8	-1,853
P7	4	600	598,4	0,262
	6	1600	1580,2	1,168
	8	2600	2553,4	1,797
	10	3600,8	3550,8	1,399
	12	4600,8	4567,8	0,729
P8	4	600	600,4	-0,257
	6	1600	1593	0,395
	8	2600	2603,8	-0,116
	10	3600,2	3625,6	-0,710
	12	4600,4	4650,6	-1,081
P9	4	600	617,4	-2,288
	6	1600	1619	-1,312
	8	2600,2	2600,6	-0,029
	10	3600,6	3609	-0,230
	12	4600	4651,4	-1,108
P10	4	600	594,2	0,717
	6	1600	1591	0,601
	8	2600	2599,4	0,020
	10	3600,8	3605,8	-0,134
	12	4600,8	4629	-0,600

6.4 Análisis de evaluación del sistema.

En la tabla 6.4 se muestran las medias de los errores que se obtuvieron en cada una de las 3 pruebas a los distintos cambios de velocidad.

**Tabla 6.4 Medias de los errores de las tres pruebas, agrupados
Para el análisis en Minitab**

ERROR DE LAS PRUEBAS ADIFERENTES VELOCIDADES			
	PRUEBA SS	PRUEBA C/S ME	PRUEBA C/S PP
VELOCIDAD	ERROR	ERROR	ERROR
4	0,2692	2,972	0,988
6	0,4420	2,409	1,139
8	0,5627	3,172	1,056
10	0,3746	7,118	0,811
12	0,254	12,544	0,793

SS: Sin Semilla. C/S: Con semillas. ME: Max Emerge. PP: Precision Planting.

A continuación se muestran los resultados obtenidos de las diferentes corridas, los cuales se analizaron estadísticamente en el software Minitab.

La tabla 6.5 muestra el análisis de varianza de la variable velocidad de dosificación (V), prueba sin semilla. El ANOVA indica que hay una diferencia significativa para el factor (V).

Tabla 6.5 ANOVA del factor (V) para la evaluación de confiabilidad y de calidad del sistema de dosificación de semillas.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
VELOCIDAD SS	4	1,309	0,3273	3,18	0,017
Error	95	9,766	0,1028		
Total	99	11,075			

La tabla 6.6 muestra el análisis de comparación de medias respecto a la velocidad de dosificación por el método Tukey, cuyos valores evaluados fluctúan de 4 kmh⁻¹- 12 kmh⁻¹ obteniendo un Error de dosificación de 0.2692% a 0.2538% respectivamente. Teniendo una mejor uniformidad de siembra a 12 kmh⁻¹. Con un intervalo de confianza del 95 % de confiabilidad. El mayor error obtenido fue de 0.56% a 8 kmh⁻¹. Lo cual indica que el porcentaje de error entre el cambio de velocidades con respecto a la dosificación fue menor al 0.60%

Tabla 6.6 Comparación de medias en agrupaciones.

VELOCIDAD			
SS	N	Media	Agrupación
8	20	0,5627	A
6	20	0,4420	A B
10	20	0,3746	A B
4	20	0,2692	B
12	20	0,2538	B

La tabla 6.7 muestra el análisis de varianza de la variable, velocidad de dosificación (V), prueba con semilla (Max Emerge). El ANOVA indica que hay una diferencia significativa para el factor (V).

Tabla 6.7 ANOVA del factor (V) para la evaluación de confiabilidad y de Calidad del sistema de dosificación de semillas.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
VELOCIDAD ME	4	1837	459,33	16,61	0,000
Error	120	3319	27,66		
Total	124	5157			

La tabla 6.8 muestra el análisis de comparación de medias respecto a la velocidad de dosificación por el método Tukey, cuyos valores fluctúan de 4 kmh⁻¹-12 kmh⁻¹ obteniendo un Error de dosificación de 2.972 y 12.54% respectivamente. Lo cual indica que hay una diferencia significativa del error de dosificación por efecto del cambio de velocidad. Teniendo una mejor uniformidad de siembra de 4 a 6 kmh⁻¹. Con un intervalo de confianza del 95 % de confiabilidad.

Tabla 6.8 Comparación de medias en agrupaciones

VELOCIDAD	N	Media	Agrupación
ME			
12	25	12,54	A
10	25	7,12	B
8	25	3,172	B C
4	25	2,972	C
6	25	2,409	C

La tabla 6.9 muestra el análisis de varianza de la variable, velocidad de dosificación (V), prueba con semilla (Precision Planting). El ANOVA indica que hay una diferencia significativa para el factor (V).

Tabla 6.9 ANOVA del factor (V) para la evaluación de confiabilidad y de calidad del sistema de dosificación de semillas.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
VELOCIDAD PP	4	4,600	1,1501	2,43	0,048
Error	245	115,729	0,4724		
Total	249	120,329			

La tabla 6.10 muestra el análisis de comparación de medias respecto a la velocidad de dosificación por el método Tukey, cuyos valores fluctúan de 4 kmh⁻¹-12 kmh⁻¹ obteniendo un Error de dosificación medio de 0.95752% sin efecto del cambio de velocidad.

Tabla 6.10 Comparación de medias en agrupaciones.

Agrupar información utilizando el método

VELOCIDAD

PP	N	Media	Agrupación
6	50	1,1392	A
8	50	1,056	A
4	50	0,988	A
10	50	0,8110	A
12	50	0,7934	A

Se realizó un análisis factorial del error de dosificación respecto a la velocidad, el análisis fue realizado en un programa de diseños experimentales de la UANL. La tabla 6.11 muestra los datos que se analizaron.

Tabla 6.11 Errores de la pruebas con su respectiva Velocidad para el análisis factorial

ARREGLO FACTORIAL 3X5X20			
VELOCIDAD	MÁQUINAS (ERROR)		
	1	2	3
4	0,000	1,000	0,500
4	0,500	3,741	0,250
4	0,167	2,667	0,666
4	0,250	3,125	0,625
4	0,200	2,000	0,800
4	0,500	5,500	1,500
4	0,250	5,985	2,000
4	0,000	3,667	1,333
4	0,375	3,625	1,250
4	0,300	3,297	1,000
4	0,500	1,500	3,500
4	0,250	2,250	2,500
4	0,167	3,167	1,833
4	0,125	2,625	1,250
4	0,100	2,000	1,400
4	0,500	3,000	1,000
4	0,250	3,250	1,000
4	0,500	4,167	0,500
4	0,250	4,625	1,000
4	0,200	5,300	1,000
6	0,667	1,917	1,083
6	0,643	1,857	1,571
6	0,688	1,438	1,938
6	1,222	1,167	2,000
6	1,350	0,950	2,100
6	0,250	4,333	1,083
6	0,429	4,714	1,214
6	0,438	6,438	1,188
6	0,667	7,444	1,500
6	0,750	6,550	1,600
6	0,000	1,917	2,000

6	0,214	1,428	1,857
6	0,250	1,188	1,938
6	0,333	1,222	2,000
6	0,300	1,650	2,400
6	0,083	5,083	0,917
6	0,071	3,857	0,929
6	0,063	2,500	1,000
6	0,222	1,667	1,111
6	0,200	1,800	1,250
8	1,318	0,136	1,909
8	1,167	0,333	2,124
8	1,115	0,807	2,077
8	1,071	1,500	2,107
8	1,033	1,767	2,199
8	0,864	8,455	1,590
8	0,833	10,500	1,667
8	0,808	12,231	1,538
8	0,714	13,036	1,464
8	0,633	14,933	1,333
8	0,227	0,863	2,227
8	0,292	0,125	2,083
8	0,231	0,808	2,077
8	0,179	0,643	2,036
8	0,167	0,567	1,933
8	0,182	0,682	1,136
8	0,167	0,417	1,042
8	0,115	0,192	0,962
8	0,071	1,071	0,964
8	0,067	1,367	0,900
10	0,969	2,187	1,999
10	0,853	3,324	1,882
10	0,806	4,193	1,667
10	0,737	4,762	1,579
10	0,700	5,125	1,500
10	0,656	17,088	1,219
10	0,588	18,765	1,029
10	0,528	20,222	0,917
10	0,500	21,289	0,763
10	0,450	21,625	0,650
10	0,156	1,250	1,719
10	0,147	2,088	1,618
10	0,111	2,750	1,500

10	0,079	3,920	1,474
10	0,075	4,825	1,300
10	0,031	2,750	0,969
10	0,029	3,853	0,824
10	0,000	4,417	0,583
10	0,026	5,341	0,605
10	0,050	5,725	0,625
12	0,643	5,881	1,357
12	0,591	7,000	1,136
12	0,565	7,781	0,957
12	0,521	8,708	0,583
12	0,480	10,078	0,500
12	0,429	23,714	0,428
12	0,386	26,818	0,454
12	0,348	28,478	0,217
12	0,312	29,938	0,146
12	0,300	31,514	0,080
12	0,047	6,284	1,143
12	0,045	7,680	0,954
12	0,022	8,457	0,804
12	0,000	9,271	0,771
12	0,000	10,120	0,700
12	0,048	7,429	0,428
12	0,068	8,455	0,318
12	0,087	9,541	0,152
12	0,083	10,269	0,083
12	0,100	11,600	0,060

En la tabla 6.12 el análisis de varianza indica que el factor A tiene una diferencia en sus tres mecanismos de pruebas, factor B muestra una diferencia en sus 5 velocidades. El arreglo de AxB en la prueba 1 y 3 mantiene una regularidad uniforme de dosificación, sin que se vea afectada a los cambios de velocidad dando una optimización para una Labor de dosificación uniforme. Prueba 2 tiene un aumento de 7.7 % a 13.4% de error en sus velocidades de 10-12kmh⁻¹. (Anexo D comparación de medias).

Tabla 6.12 Análisis factorial comparación de medias.

FV	GL	SC	CM	Fc	Sig
Bloques	19	686,657	36,140	3,914	0,000
Factor A	2	1974,425	987,212	106,926	0,000
Factor B	4	438,845	109,711	11,883	0,000
A x B	8	1196,688	149,586	16,202	0,000
Error	266	2455,892	9,233		
Total	299	6752,506			

Continuar

A	Media
1	0,380
2	6,206
3	1,252

B	Media
1	1,613
2	1,644
3	1,918
4	3,123
5	4,765

AxB	Media	0.05
2 5	13,451	a
2 4	7,775	b
2 3	3,522	c
2 1	3,325	c
2 2	2,956	c
3 3	1,668	c
3 2	1,534	c
3 1	1,245	c
3 4	1,220	c
3 5	0,591	c
1 3	0,563	c
1 2	0,442	c
1 4	0,375	c
1 1	0,269	c
1 5	0,254	c
Tuk	3,292	

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con la configuración de 800 pulsos/100m y la relación de transmisión de 3515 que se le dio al equipo PCS 200, permitió tener una mejor eficiencia de dosificación, ya que no se ve afectada por los cambios de velocidad.

El comportamiento del dosificador Max Emerge con respecto a los cambios de velocidad de 4-8 kmh⁻¹ con un incremento de 2 kmh⁻¹, mantiene un comportamiento óptimo para una dosificación uniforme de 2.9% de error. Sin embargo a velocidades altas, de 10 y 12 kmh⁻¹ el índice de error aumenta de 7.77% a 13.45% a una confiabilidad del 95%.

Para el caso del dosificador Precision Planting, mantiene una mejor dosificación con respecto a los cambios de velocidad 4-12 kmh⁻¹ con un incremento de 2 kmh⁻¹, teniendo una óptima dosificación de 0.591% de error. Es recomendado para una siembra de precisión más uniforme.

Recomendación

Elaboración de un folleto técnico simple; que contenga configuración, funcionamiento y manejo del equipo para uso del productor.

VIII. LITERATURA CITADA

- Borghi**, M. I. 2014. Tecnología de precisión: un crecimiento sin techo. INTA, Buenos Aires, Argentina. pp. 1-2.
- Colombino**, A. A., J. C. Pollacino.1996. Diseño y construcción de un banco de ensayos para conjuntos dosificadores de sembradoras y fertilizadoras. Revista de la Facultad de Agronomía. 16 (1-2) 69-72.
- Dávila**, R. 2010. La agricultura de precisión, la innovación en el campo. Journalmex periodistas de México.
- 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.
- Trimble**, Sistemas para control de insumos para cultivos Field-IQ. [Fecha de consulta: Enero de 2017][En línea].
<http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-699595/022503-1122-SPA_Field-IQ_DS_MarketSmart_0813_LR.pdf>
- Kepner**, R. A., E. C. Barger. 1978. Principles of farm machinery. Third edition, The AVI Publishing Company, Inc. Connecticut, USA.
- 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**, G. C., J.C. Sepúlveda., R. B. Abreu., F. O. Fernández., F. M. Pérez. 2011a. Sistema para la generación automática de mapas de rendimiento. Aplicación en la agricultura de precisión. Idesia. 29, 10-15.

- Lago, G. C., J. C. Sepúlveda, P. R. Barroso, A. F. O. Fernández, P. F. Maciá, P. 2011b.** 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, V. J., A. Aguilera, A. L. M. Landinez. 2010.** Ejercicio EAD- Agricultura de Precisión. pp.8-10. Universidad del Valle. Santiago de Cali.
- Norton, G. W. and Scott M. S, George W. 2000.** Precision Agriculture: Global Prospects and Environmental Implications.
- Ortiz, C. J., Hernenz J. I. 1989.** Técnica de la mecanización agraria. Edición Mundi-prensa, Madrid.
- Villalobos, M. P., R. Manríquez, R. C. Acevedo, O. S. Ortega, F. 2009.** Alcance de la agricultura de precisión en Chile. pp.36-37. Universidad de Talca. Chile, Santiago de 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.
- Bragachini, M. A. 2004.** Tecnología Disponible para Aplicaciones de Insumos Sitio Específico.
- Reynolds-Chávez, M. A. 2006.** Diseño de un sistema inteligente de dosificación neumático de semilla. Tesis de M.C. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo. Coahuila, México.

- Ortega, R., Santibañez, O.** 2007. Agronomic evaluation of three zoning methods based on soil fertility in corn crops (*Zea mays* L.). *Computers and Electronics in Agriculture* 58 (1):49-59.
- Valdivia, M. S. D.** 2011. Evaluación de banco con sembradoras para agricultura de precisión. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.
- Economía, A.** 2012. Argentina se ubica entre los países con mayor agricultura de precisión. *Agronoticias América Latina y el Caribe*. pp. 1-2. Argentina.
- Méndez, C. A.** 2012. Banco de sembradoras mecánicas y neumática para agricultura de precisión con control de dosificación variable en tiempo real. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.
- Torres, S. M.** 2014. Evaluación bajo condiciones de laboratorio de un dosificador neumático para agricultura de precisión empleando instrumentos virtuales. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.

IX. ANEXOS

Anexo A

A1.- Comparación de pulsos disco de velocidad contra pulsos semillas ideales.

Las gráficas muestran el comportamiento de la curva de dosificación del sistema comparando los pulsos del disco de velocidad contra los pulsos del disco de semillas ideales. Se realizaron 4 réplicas con un conteo de 5000 datos, con velocidades de 4kmh^{-1} a 124kmh^{-1} a intervalos de cambio de 2kmh^{-1} , para cada cambio de velocidad se dejó correr los datos en intervalos de 1000 pulsos, hasta llegar a los 5000 datos requeridos, figuras A1, A2, A3.

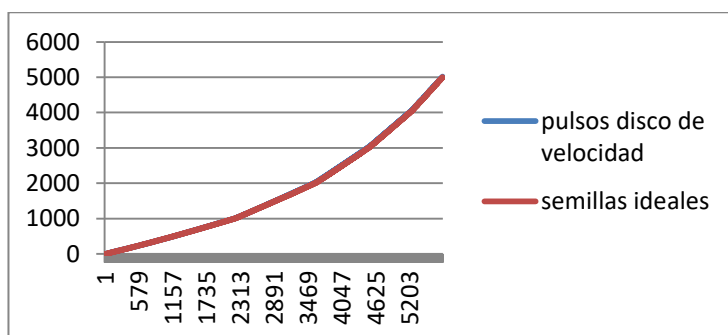


Figura A1 Gráfica de comparación de pulsos disco de velocidad vs pulsos semillas ideales

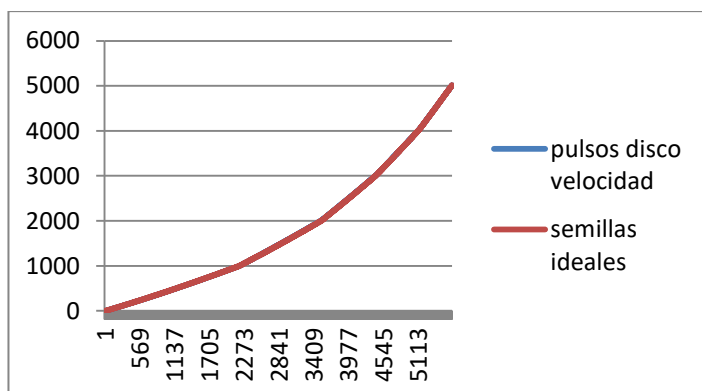


Figura A2 Gráfica de comparación de pulsos disco de velocidad vs pulsos semillas ideales

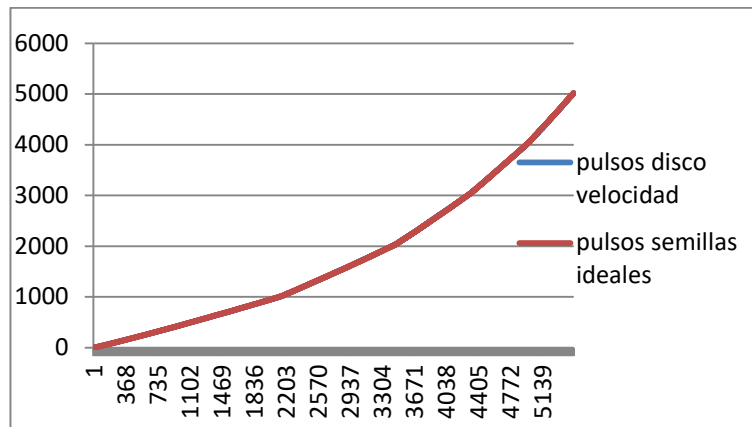


Figura A3 Gráfica de comparación de pulsos disco de velocidad vs pulsos semillas ideales

La tabla A1 muestra el error de los pulsos de velocidad contra los pulsos del disco de semillas ideales, para determinar los errores se realizaron conteos a intervalos de 200 pulsos para cada 1000 pulsos registrados.

Tabla A1 Errores de los pulsos del disco de velocidad vs pulsos del disco de semillas ideales a intervalos de 200 pulsos

TABLA PULSOS VELOCIDAD vs PULSOS SEMILLAS IDEALES (SIN SEMILLA)				
PRUEBA	VELOCIDADES kmh ⁻¹	PULSOS VELOCIDAD	SEMILLAS IDEALES	%ERROR
PA	1	200	200	0,000
		400	402	-0,500
		600	599	0,167
		800	798	0,250
		1000	998	0,200
		1200	1192	0,667
		1400	1391	0,643
		1600	1589	0,688
		1800	1778	1,222
		2000	1973	1,350
		2200	2171	1,318
		2400	2372	1,167
		2600	2571	1,115
		2800	2770	1,071
		3000	2969	1,033
		3200	3169	0,969
		3400	3371	0,853
		3600	3571	0,806

		3800	3772	0,737
		4001	3973	0,700
		4201	4174	0,643
		4400	4374	0,591
	12	4600	4574	0,565
		4800	4775	0,521
		5000	4976	0,480
PB	4	200	201	-0,500
		400	401	-0,250
		600	600	0,000
		800	797	0,375
	6	1000	997	0,300
		1200	1197	0,250
		1400	1394	0,429
		1600	1593	0,438
	8	1800	1788	0,667
		2000	1985	0,750
		2200	2181	0,864
		2400	2380	0,833
	10	2600	2579	0,808
		2800	2780	0,714
		3000	2981	0,633
		3200	3179	0,656
	12	3400	3380	0,588
		3600	3581	0,528
		3801	3782	0,500
		4000	3982	0,450
4	4200	4182	0,429	
	4401	4384	0,386	
	4600	4584	0,348	
	4801	4786	0,312	
6	5000	4985	0,300	
	200	201	-0,500	
	400	401	-0,250	
	600	601	-0,167	
8	800	801	-0,125	
	1000	1001	-0,100	
	1200	1200	0,000	
	1400	1397	0,214	
10	1600	1596	0,250	
	1800	1794	0,333	
	2000	1994	0,300	

		2200	2195	0,227
		2401	2394	0,292
	8	2600	2594	0,231
		2800	2795	0,179
		3000	2995	0,167
		3201	3196	0,156
		3400	3395	0,147
	10	3600	3596	0,111
		3800	3797	0,079
		4000	3997	0,075
		4220	4218	0,047
		4401	4399	0,045
	12	4600	4599	0,022
		4800	4800	0,000
		5000	5000	0,000
		200	201	-0,500
		400	401	-0,250
	4	600	603	-0,500
		800	802	-0,250
		1000	1002	-0,200
		1200	1201	-0,083
		1400	1399	0,071
	6	1600	1599	0,063
		1800	1796	0,222
		2000	1996	0,200
		2200	2196	0,182
		2400	2396	0,167
	8	2600	2597	0,115
		2800	2798	0,071
		3000	2998	0,067
		3201	3200	0,031
		3400	3399	0,029
	10	3601	3601	0,000
		3800	3801	-0,026
		4000	4002	-0,050
		4200	4202	-0,048
		4400	4403	-0,068
	12	4600	4604	-0,087
		4801	4805	-0,083
		5001	5006	-0,100
PD				

ANEXO B

B1.- Comparación de semillas reales contra semillas ideales.

Las gráficas muestran el comportamiento de dosificación de semillas reales contra semillas ideales del sistema. Se realizaron 5 réplicas con un conteo de 5000 datos por replica, con velocidades de 4kmh^{-1} a 12kmh^{-1} en intervalos de cambio de velocidad 2kmh^{-1} , para cada cambio de velocidad se realizó a intervalos de 1000 semillas hasta llegar a las 5000 semillas requeridas, figuras B1, B2, B3, B4.

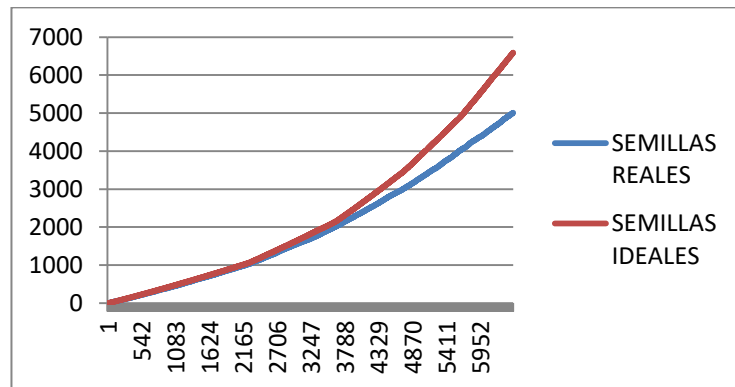


Figura B1 Gráfica de comparación de semillas reales vs semillas ideales

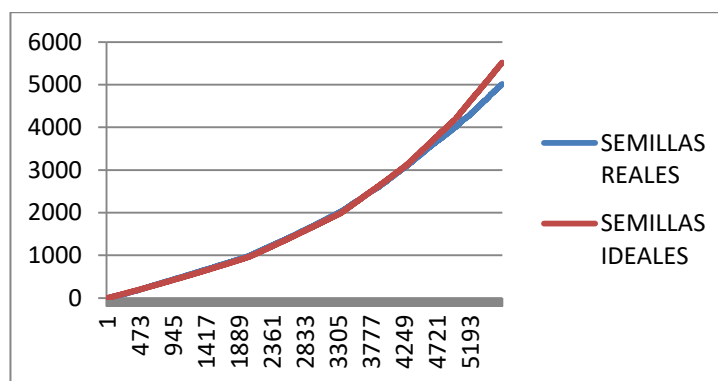


Figura B2 Gráfica de comparación de semillas reales vs semillas ideales

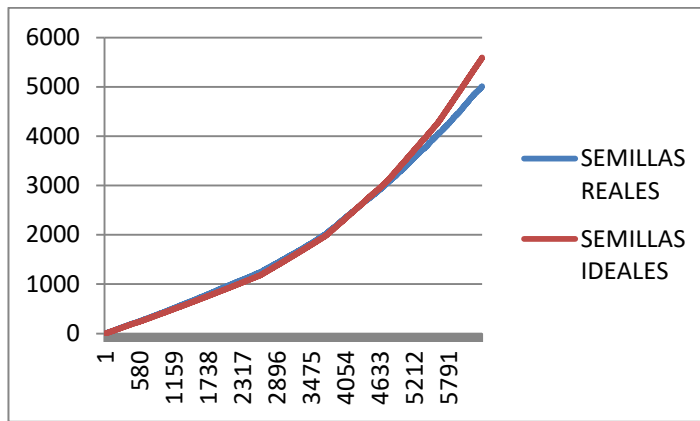


Figura B3 Gráfica de comparación de semillas reales vs semillas ideales

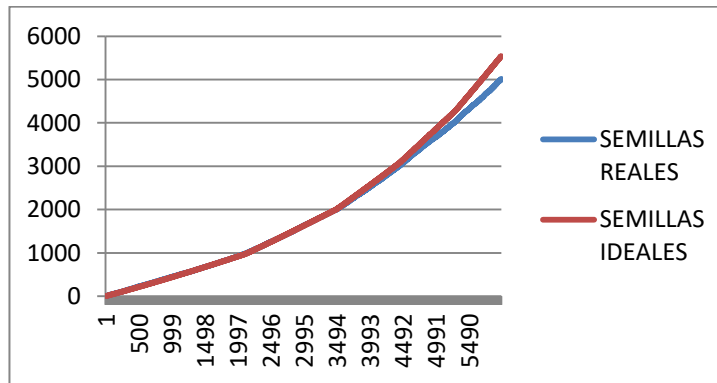


Figura B4 Gráfica de comparación de semillas reales vs semillas ideales

La tabla B1 muestra los errores de las semillas reales contra las semillas ideales de cada replica a intervalos de 200 datos por velocidad.

Tabla B1 Errores de las réplicas semillas reales vs semillas ideales a intervalos de 200 datos

TABLA SEMILLAS REALES VS SEMILLAS IDEALES (MAX EMERGE)				
PRUEBA	VELOCIDADES kmh ⁻¹	SEMILLAS REALES	SEMILLAS IDEALES	%ERROR
P1	4	200	198	1,000
		401	386	3,741
		600	584	2,667
		800	775	3,125
		1000	980	2,000

		1200	1177	1,917
		1400	1374	1,857
	6	1600	1577	1,438
		1800	1779	1,167
		2000	1981	0,950
		2200	2197	0,136
		2400	2408	-0,333
	8	2601	2622	-0,807
		2800	2842	-1,500
		3000	3053	-1,767
		3201	3271	-2,187
		3400	3513	-3,324
	10	3601	3752	-4,193
		3801	3982	-4,762
		4000	4205	-5,125
		4200	4447	-5,881
		4400	4708	-7,000
	12	4601	4959	-7,781
		4800	5218	-8,708
		5001	5505	-10,078
		200	211	-5,500
		401	425	-5,985
	4	600	622	-3,667
		800	829	-3,625
		1001	1034	-3,297
		1200	1252	-4,333
		1400	1466	-4,714
	6	1600	1703	-6,438
		1800	1934	-7,444
		2000	2131	-6,550
		2200	2386	-8,455
		2400	2652	-10,500
	8	2600	2918	-12,231
		2800	3165	-13,036
		3000	3448	-14,933
		3201	3748	-17,088
		3400	4038	-18,765
	10	3600	4328	-20,222
		3800	4609	-21,289
		4000	4865	-21,625
		4200	5196	-23,714
	12	4400	5580	-26,818

P2

		4600	5910	-28,478
		4800	6237	-29,938
		5001	6577	-31,514
		200	203	-1,500
		400	391	2,250
	4	600	581	3,167
		800	779	2,625
		1000	980	2,000
		1200	1177	1,917
		1401	1381	1,428
	6	1600	1581	1,188
		1800	1778	1,222
		2000	1967	1,650
		2201	2182	0,863
		2400	2397	0,125
		2600	2621	-0,808
		2800	2818	-0,643
		3000	3017	-0,567
		3201	3241	-1,250
		3400	3471	-2,088
		3600	3699	-2,750
		3801	3950	-3,920
		4000	4193	-4,825
		4201	4465	-6,284
		4401	4739	-7,680
		4600	4989	-8,457
		4800	5245	-9,271
		5000	5506	-10,120
		200	194	3,000
		400	387	3,250
		600	575	4,167
		800	763	4,625
		1000	947	5,300
		1200	1139	5,083
		1400	1346	3,857
		1600	1560	2,500
		1800	1770	1,667
		2000	1964	1,800
		2200	2185	0,682
		2400	2390	0,417
		2600	2605	-0,192
		2800	2830	-1,071

P3

P4

		3000	3041	-1,367
		3200	3288	-2,750
	10	3400	3531	-3,853
		3600	3759	-4,417
		3801	4004	-5,341
		4000	4229	-5,725
		4200	4512	-7,429
	12	4400	4772	-8,455
		4601	5040	-9,541
		4801	5294	-10,269
		5000	5580	-11,600
		200	191	4,500
		400	391	2,250
	4	600	601	-0,167
		800	800	0,000
		1000	991	0,900
		1200	1198	0,167
	6	1400	1399	0,071
		1600	1597	0,188
		1800	1795	0,278
		2000	2008	-0,400
		2200	2223	-1,045
		2400	2440	-1,667
P5	8	2600	2649	-1,885
		2800	2858	-2,071
		3000	3066	-2,200
		3201	3292	-2,843
	10	3401	3523	-3,587
		3600	3757	-4,361
		3801	4012	-5,551
		4000	4244	-6,100
		4201	4480	-6,641
		4400	4749	-7,932
	12	4601	5029	-9,302
		4801	5288	-10,144
		5000	5528	-10,560

ANEXO C

C1.- Comparación de semillas reales contra semillas ideales prueba Precision Planting.

Las gráficas muestran los comportamientos de las curvas de dosificación semillas reales contra semillas ideales del sistema. Se realizaron 10 réplicas a un conteo de 5000 datos en un rango de velocidades de 4 kmh⁻¹ a 12 kmh⁻¹ en intervalos de cambio de 2 kmh⁻¹ para el aumento de los cambios de velocidad se realizaron en intervalo de 1000 datos registrados hasta llegar a los 5000 datos requeridos por replica, figuras C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9.

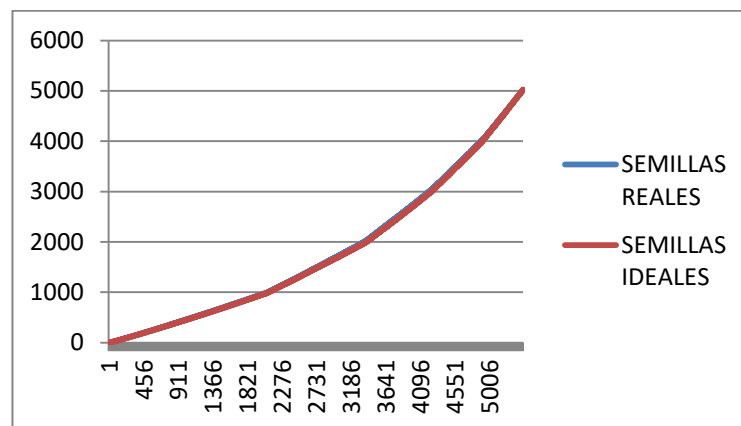


Figura C1 Comparación de semillas reales vs semillas ideales

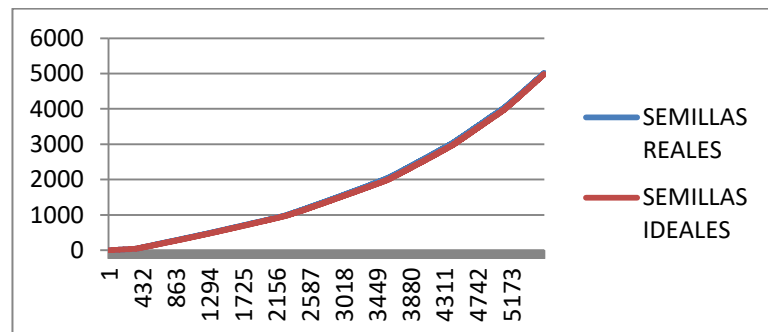


Figura C2 Comparación de semillas reales vs semillas ideales

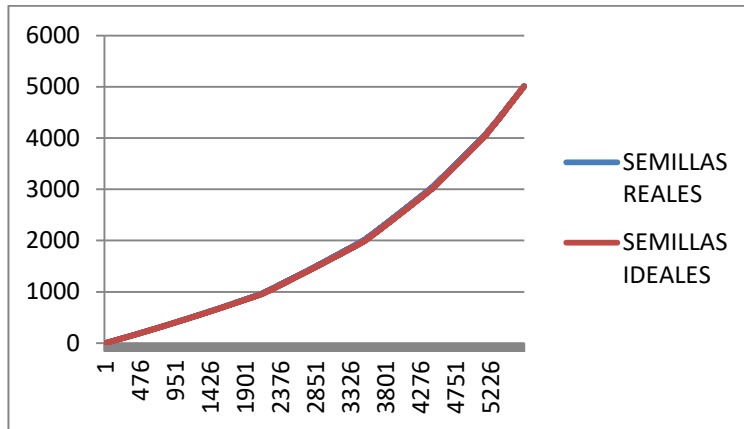


Figura C3 Comparación de semillas reales vs semillas ideales

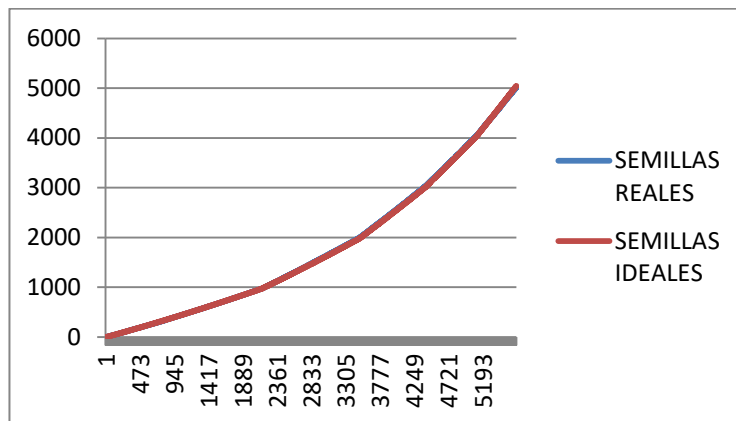


Figura C4 Comparación de semillas reales vs semillas ideales

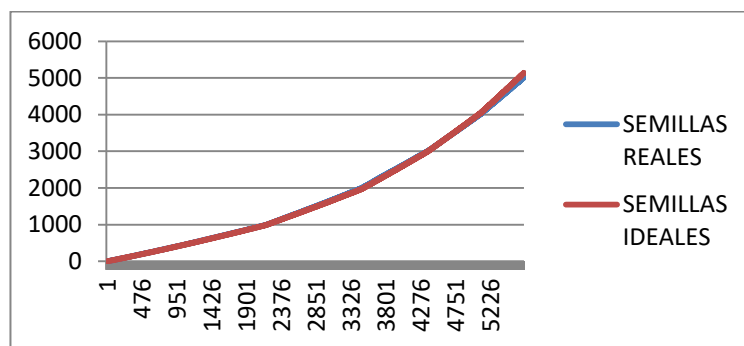


Figura C5 Comparación de semillas reales vs semillas ideales

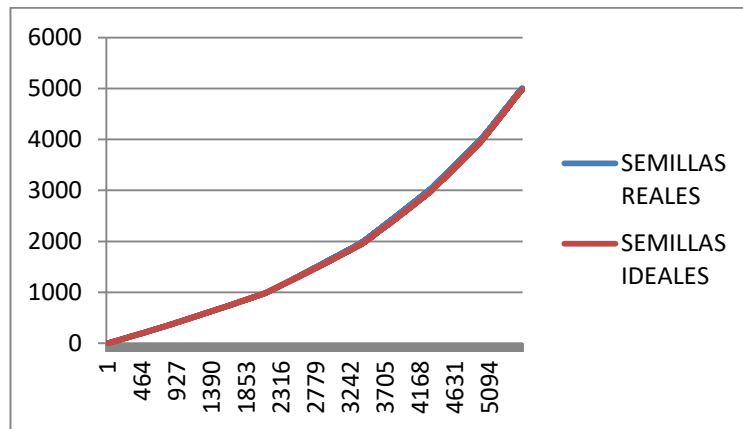


Figura C6 Comparación de semillas reales vs semillas ideales

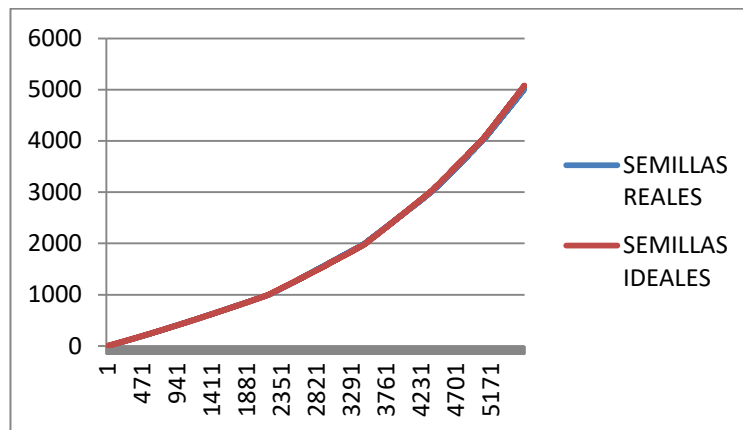


Figura C7 Comparación de semillas reales vs semillas ideales

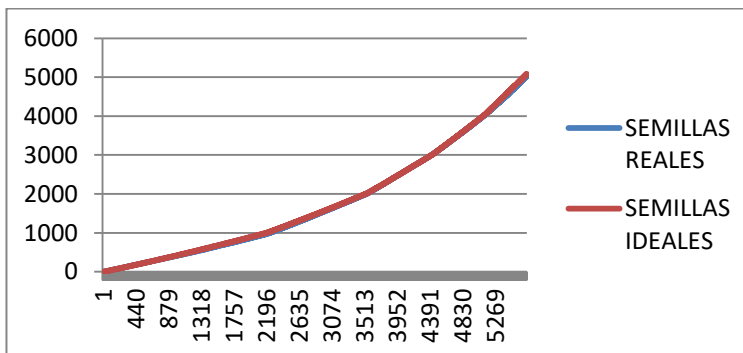


Figura C8 Comparación de semillas reales vs semillas ideales

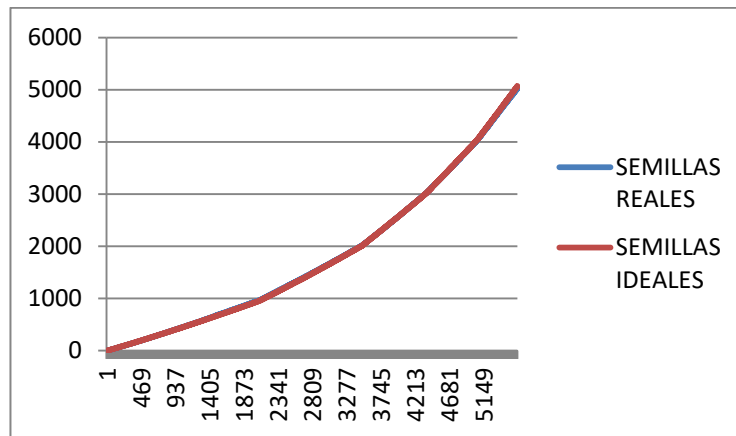


Figura C9 Comparación de semillas reales vs semillas ideales

La tabla C1 muestra los errores de las réplicas de semillas reales contra semillas ideales a intervalos de 200 datos de cada cambio de velocidad por cada 1000 datos.

Tabla C1 Errores de las réplicas de semillas reales vs semillas ideales a intervalos de 200 datos por cada 1000 datos

TABLA SEMILLAS REALES vs SEMILLAS IDEALES (PRECISION PLANTING)				
PRUEBA	VELOCIDADES kmh ⁻¹	SEMILLAS REALES	SEMILLAS IDEALES	%ERROR
P1	4	200	199	0,500
		400	399	0,250
		601	597	0,666
		800	795	0,625
		1000	992	0,800
	6	1200	1187	1,083
		1400	1378	1,571
		1600	1569	1,938
		1800	1764	2,000
		2000	1958	2,100
	8	2200	2158	1,909
		2401	2350	2,124
		2600	2546	2,077
		2800	2741	2,107
		3001	2935	2,199
	10	3201	3137	1,999
		3400	3336	1,882

		3600	3540	1,667
		3800	3740	1,579
		4000	3940	1,500
		4201	4144	1,357
		4401	4351	1,136
	12	4600	4556	0,957
		4801	4773	0,583
		5001	4976	0,500
P2	4	200	197	1,500
		400	392	2,000
		600	592	1,333
		800	790	1,250
		1000	990	1,000
	6	1200	1187	1,083
		1400	1383	1,214
		1600	1581	1,188
		1800	1773	1,500
		2000	1968	1,600
	8	2201	2166	1,590
		2400	2360	1,667
		2600	2560	1,538
		2800	2759	1,464
		3000	2960	1,333
	10	3200	3161	1,219
		3400	3365	1,029
		3600	3567	0,917
		3800	3771	0,763
		4001	3975	0,650
	12	4201	4183	0,428
		4401	4381	0,454
		4600	4590	0,217
		4800	4793	0,146
5000		4996	0,080	
P3	4	200	193	3,500
		400	390	2,500
		600	589	1,833
		800	790	1,250
		1000	986	1,400
	6	1200	1176	2,000
		1400	1374	1,857
		1600	1569	1,938
		1800	1764	2,000

		2000	1952	2,400
		2200	2151	2,227
		2400	2350	2,083
	8	2600	2546	2,077
		2800	2743	2,036
		3000	2942	1,933
		3200	3145	1,719
		3400	3345	1,618
	10	3600	3546	1,500
		3800	3744	1,474
		4000	3948	1,300
		4200	4152	1,143
		4401	4359	0,954
	12	4601	4564	0,804
		4801	4764	0,771
		5000	4965	0,700
P4		200	198	1,000
		400	396	1,000
		600	597	0,500
		800	792	1,000
		1000	990	1,000
		1200	1189	0,917
		1400	1387	0,929
		1600	1584	1,000
		1800	1780	1,111
		2000	1975	1,250
		2200	2175	1,136
		2400	2375	1,042
		2600	2575	0,962
		2800	2773	0,964
		3000	2973	0,900
		3200	3169	0,969
		3400	3372	0,824
		3600	3579	0,583
		3800	3777	0,605
		4000	3975	0,625
		4201	4183	0,428
		4401	4387	0,318
	12	4600	4593	0,152
		4800	4796	0,083
		5001	4998	0,060
P5	4	200	200	0,000

		400	401	-0,250
		600	601	-0,167
		800	800	0,000
		1000	1000	0,000
	6	1200	1195	0,417
		1400	1393	0,500
		1600	1587	0,813
		1800	1786	0,778
		2000	1983	0,850
		2200	2183	0,773
	8	2400	2383	0,708
		2600	2583	0,654
		2800	2780	0,714
		3000	2979	0,700
	10	3200	3181	0,594
		3400	3385	0,441
		3600	3588	0,333
		3801	3788	0,342
		4001	3990	0,275
		4201	4192	0,214
	12	4400	4404	-0,091
		4600	4613	-0,283
		4800	4818	-0,375
		5000	5029	-0,580
P6		4	200	198
	400		397	0,750
	600		595	0,833
	800		795	0,625
	1000		996	0,400
	6	1200	1191	0,750
		1400	1387	0,929
		1600	1581	1,188
		1800	1780	1,111
		2000	1972	1,400
	8	2203	2172	1,407
		2400	2370	1,250
		2600	2578	0,846
		2800	2782	0,643
		3000	2989	0,367
		10	3200	3198
	3400		3403	-0,088
	3601		3612	-0,305

		3801	3819	-0,474
		4000	4029	-0,725
		4220	4268	-1,137
		4400	4468	-1,545
	12	4600	4687	-1,891
		4801	4908	-2,229
		5000	5123	-2,460
		200	200	0,000
		400	398	0,500
	4	600	598	0,333
		800	797	0,375
		1000	999	0,100
		1200	1196	0,333
		1400	1384	1,143
	6	1600	1577	1,438
		1800	1777	1,278
		2000	1967	1,650
		2200	2162	1,727
		2400	2352	2,000
		2600	2553	1,808
	8	2800	2752	1,714
		3000	2948	1,733
		3200	3150	1,563
		3401	3350	1,500
	10	3601	3550	1,416
		3801	3751	1,315
		4001	3953	1,200
		4200	4159	0,976
		4401	4364	0,841
	12	4601	4563	0,826
		4801	4774	0,562
		5001	4979	0,440
		200	203	-1,500
		400	400	0,000
	4	600	599	0,167
		800	798	0,250
		1000	1002	-0,200
		1200	1201	-0,083
		1400	1396	0,286
	6	1600	1591	0,563
		1800	1789	0,611
		2000	1988	0,600

		2200	2193	0,318
		2400	2398	0,083
	8	2600	2604	-0,154
		2800	2812	-0,429
		3000	3012	-0,400
		3200	3223	-0,719
	10	3400	3428	-0,824
		3600	3626	-0,722
		3800	3826	-0,684
		4001	4025	-0,600
		4200	4236	-0,857
	12	4400	4440	-0,909
		4601	4652	-1,108
		4800	4860	-1,250
		5001	5065	-1,280
		200	199	0,500
		400	408	-2,000
	4	600	619	-3,167
		800	827	-3,375
		1000	1034	-3,400
		1200	1230	-2,500
	6	1400	1424	-1,714
		1600	1618	-1,125
		1800	1813	-0,722
		2000	2010	-0,500
		2201	2207	-0,273
		2400	2402	-0,083
P9	8	2600	2599	0,038
		2800	2798	0,071
		3000	2997	0,100
		3201	3207	-0,187
	10	3400	3405	-0,147
		3601	3611	-0,278
		3801	3812	-0,289
		4000	4010	-0,250
		4200	4230	-0,714
	12	4400	4449	-1,114
		4600	4658	-1,261
		4800	4860	-1,250
		5000	5060	-1,200
P10	4	200	201	-0,500
		400	397	0,750

		600	595	0,833
		800	788	1,500
		1000	990	1,000
		1200	1189	0,917
	6	1400	1389	0,786
		1600	1591	0,563
		1800	1793	0,389
		2000	1993	0,350
		2200	2198	0,091
	8	2400	2403	-0,125
		2600	2601	-0,038
		2800	2798	0,071
		3000	2997	0,100
		3201	3199	0,062
	10	3400	3406	-0,176
		3601	3609	-0,222
		3801	3807	-0,158
		4001	4008	-0,175
		4200	4216	-0,381
	12	4401	4420	-0,432
		4601	4625	-0,522
		4801	4835	-0,708
		5001	5049	-0,960

ANEXO D

D1.- Análisis factorial.

En la figura D.1 nos muestra el análisis de comparación de medias. En tabla de medias de A dentro de B se muestra la comparación de las 3 pruebas con respecto a la velocidad, el análisis nos indica que las pruebas 1 y 3 mantienen una uniformidad en las velocidades 1, 2, 3, 4 y 5, con un error de 0.269 a 1.668% de uniformidad en la dosificación de semilla. Mientras que la prueba 2 en sus velocidades 4 y 5, hay una fluctuación de error de 7.775 a 13.451% lo que nos permite saber que estas velocidades no son óptimas para una dosificación uniforme.

La tabla de comparación de medias de B dentro de A, nos indica que la prueba 1 y 3 tiene una mayor confiabilidad para una mayor uniformidad de dosificación, mientras que la prueba 2 nos dice que a partir de la velocidad 4 y 5 no son recomendables para una defecación eficiente.

Comparaciones de medias de A dentro de B											
AB	Media	0.05	AB	Media	0.05	AB	Media	0.05	AB	Media	0.05
2 1	3,325	a	2 2	2,956	a	2 3	3,522	a	2 4	7,775	a
3 1	1,245	a	3 2	1,534	a	3 3	1,668	a	3 4	1,220	b
1 1	0,269	a	1 2	0,442	a	1 3	0,563	a	1 4	0,375	b
		3,292									

Comparaciones de medias de B dentro de A								
AB	Media	0.05	AB	Media	0.05	AB	Media	0.05
1 3	0,563	a	2 5	13,451	a	3 3	1,668	a
1 2	0,442	a	2 4	7,775	b	3 2	1,534	a
1 4	0,375	a	2 3	3,522	c	3 1	1,245	a
1 1	0,269	a	2 1	3,325	c	3 4	1,220	a
1 5	0,254	a	2 2	2,956	c	3 5	0,591	a
		3,292						

o de B											
Media	0.05	AB	Media	0.05	AB	Media	0.05	AB	Media	0.05	
2,956	a	2 3	3,522	a	2 4	7,775	a	2 5	13,451	a	
1,534	a	3 3	1,668	a	3 4	1,220	b	3 5	0,591	b	
0,442	a	1 3	0,563	a	1 4	0,375	b	1 5	0,254	b	

o de A				
Media	0.05	AB	Media	0.05
13,451	a	3 3	1,668	a
7,775	b	3 2	1,534	a
3,522	c	3 1	1,245	a
3,325	c	3 4	1,220	a
2,956	c	3 5	0,591	a

Figura D.1 Comparación de medias A dentro de B y B dentro de A.