



Dirección de Investigación

Subdirección de Programación y Evaluación



Proyecto de Investigación 2018

Unidad:	Saltillo	División:	Ingeniería	Departamento:	Maquinaria Agrícola
Programa de Investigación:	Ingeniería Agrícola				
Línea de investigación:	Sensores e Instrumentos				
Título del proyecto:	DESARROLLO DE EQUIPOS, SENSORES E INSTRUMENTOS PARA AGRICULTURA DE PRECISION Y LABRANZA DE CONSERVACION				
Presupuesto solicitado (Máximo \$100,000):	\$50 000.00	El proyecto es:	Nuevo	Continuación	X
Tipo de investigación:	Básica	X Aplicada	Tecnológica	e-mail del responsable:	camposmsg@hotmail.com
Vinculación:	Si	X No	Fondos concurrentes:	50,000.00 en especie	
Cooperante(s):	Empresa Tecnomec S.A.				
Entidad (es):	Coahuila, Aguascalientes, Nuevo León.	Municipio (s):	Saltillo, Aguascalientes, Galeana		
Localidades:					
A realizar durante el año(s):	2011-2019				
Participantes		Adscripción (Clave Depto.)	Expediente No.	Firma	
Responsable	Dr. Santos Gabriel Campos Magaña	3643	3792		
Colaborador:	Dr. Martín Cadena Zapata	3643	3397		
Colaborador:	Dra Gabriela Ramírez Fuentes	3613	3719		
Colaborador:	MC Genaro Demuner Molina	3643	4023		
Colaborador:	Dr Hugo Gutiérrez Flores	3643			
		Nivel estudios	Matrícula	Firma	
Tesista:	Ronaldo Galindo Castillo	Maestría	41081444		
Programa Docente:	ISP				
Tesista:	Fernando Alonso Cuevas	Maestría			
Programa Docente:	ISP				
Tesista:	Eduardo Vázquez Ortiz	Licenciatura	41137233		
Programa Docente:	Mecánico Agrícola				
Vo. Bo.	Autoriza				
Firma y sello					
Nombre	Ing. Rosendo González Garza	Dr.	Subdirector de Programación y Evaluación		
	Jefe de Departamento				

• Cada Jefe de Departamento deberá dejar copia para su archivo

Protocolo para Proyecto de Investigación 2018

Título del proyecto

DESARROLLO DE EQUIPOS, SENSORES E INSTRUMENTOS PARA AGRICULTURA DE PRECISION Y LABRANZA DE CONSERVACION

Introducción

La Agricultura de precisión o manejo de sitio específico es la utilización de herramientas que permiten la obtención y análisis de datos geo-referenciados, mejorando el diagnóstico, la toma de decisiones y la eficiencia en el uso de insumos, así como una disminución sustantiva en la contaminación. A nivel mundial las oportunidades y riesgos actuales en la producción de alimentos está vinculada con: una alta demanda mundial de alimentos (granos, carne, aceite, proteína, bioenergía), una alta demanda y costo de petróleo y gas natural en todo el mundo (el gas natural es 90% del costo de la producción de amoníaco), un aumento del área fertilizada en el mundo; deficiencias de nutrientes que limitan la producción de cultivos y forrajes, así como altos índices de contaminación ambiental entre otros. Una forma de contrarrestar estos efectos y corregir algunas de sus causas es mediante el manejo óptimo en la aplicación de insumos en la agricultura. Para la aplicación de esta tecnología se requiere de una fase de diagnóstico previo de rendimiento, combinado con muestreo de ambientes a nivel de predio para determinar los factores limitantes de la producción, así como su localización precisa para poder de ahí realizar las prescripciones en tiempo real y sitio específico de insumos. Se requiere para lo anterior contar con sistemas que se integren entre otros por AgDGPS, Sensores, SIG, así como equipos de dosificación variables en 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 cuatro y México con Cero unidades. Actualmente en la UAAAN no se cuenta con maquinaria ni equipos e instrumentos automatizados para docencia e investigación en mecanización para la agricultura de precisión.

En lo que se refiere a equipos e instrumentos integrales para la evaluación de implementos de labranza, pudiésemos decir que actualmente el país se encuentra en proceso de desarrollo de normas y métodos de pruebas en tractores e implementos. Para el caso específico de prueba de implementos, las pruebas que se desarrollan de acuerdo a la norma de evaluación de equipos de labranza son las siguientes (Ochoa, 2002):

1.- Estudio técnico de la estructura. 2.- Evaluación en campo. (Condiciones de la parcela de prueba, Prueba de ajuste, Evaluación de funcionamiento, Fuente de potencia). 3.- Estudio de seguridad y maniobrabilidad. 4.- Prueba continua. 5.- Estudio mediante el desarme. La prueba de potencia tiene como objetivo identificar la potencia necesaria para efectuar la tracción del equipo sujeto a prueba y se realiza de dos maneras: a). Medirla directamente con un equipo especial. Equipo para medir la potencia directamente en los tres puntos de enganche, mediante un transductor de deformación. b). Medirla por medio de dinamómetro de tensión colocado entre dos tractores; donde las variables a medir son: velocidad de desplazamiento y la fuerza necesaria para tracción con y sin el implemento en operación.

Esta propuesta tiene como propósito, el desarrollar algunos sensores para la elaboración de mapas de ambientes de propiedades físicas del suelo, así como desarrollar bancos de pruebas de sembradoras inteligentes y sistemas de simulación de prescripción variable para la agricultura de precisión. Por otro lado, se plantea diseñar un transductor que pueda ser utilizado para la evaluación de implementos integrales de labranza acoplados a tractores de categoría II (40 – 100 Hp).+

Objetivos

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

Hipótesis

- Es factible realizar la simulación en tiempo real de prescripciones de dosificación de semilla de un sistema variable mediante el uso de mapas digitales de prescripción basados en mapas de rendimiento y de diagnóstico reales.
- Es posible desarrollar dosificadores inteligentes de semilla que permitan ser empleados en la agricultura de precisión con sistema de control de bucle cerrado con eficiencia del 100% entre la dosificación real vs la teórica.
- Es posible medir los parámetros de resistencia del suelo a la penetración y al corte, mediante el uso de los sensores de desplazamiento y transductores, combinados con el sistema digital y georeferenciados.
- Es factible desarrollar un sensor que nos permita determinar la conductividad eléctrica de los suelos agrícolas en forma dinámica bajo condiciones de campo sin que exista una diferencia mayor del 10% con respecto a lo instrumentado en laboratorio.
- Mediante el uso del dinamómetro Integral se podrá determinar las fuerzas de reacción del suelo en implementos de labranza integrales

Revisión de Literatura

La introducción a la Agricultura de Precisión, en EEUU, por los años 1991-1993, diseñó un esquema de utilización de las herramientas posicionadas por GPS que terminaba en una aplicación de insumos en forma variable (Aplicación Dosis Variable: ADV) como única alternativa que disponía el productor para recuperar la inversión. En la actualidad se posee mayor conocimiento acerca del aprovechamiento agronómico de los datos de rendimiento grabados espacialmente (mapas de rendimiento) (Daberkow et al., 2002). Anteriormente se decía que la Agricultura de Precisión partía del análisis de los primeros mapas de rendimiento logrados. Luego de años de trabajo, evolución y experiencia se sabe que la variabilidad expresada en el rendimiento de un cultivo en forma espacial depende de una diversidad de factores y que su análisis e interpretación es una tarea compleja, resultando muy difícil extraer conclusiones directas para un manejo sitio específico de insumos (MSEI). Actualmente se sigue avanzando en los conocimientos agronómicos, en la puesta a punto de las herramientas de cosecha de datos georreferenciados, en el diseño de ensayos y en el desarrollo de nuevas herramientas como los sensores remotos de tiempo real; la percepción remota aportará importantes adelantos tecnológicos. También y por otro camino paralelo se está mejorando la precisión, facilidad de utilización, bajando los costos de todo el equipamiento necesario para equipar un tractor, ya sea con una fertilizadora, sembradora o pulverizadora para realizar en forma eficiente la aplicación de insumos variables, a partir de una prescripción, de acuerdo a la necesidad real de cada sitio del lote (Norton, et al., 2001), describe una metodología de manejo integral utilizando herramientas de obtención de datos georreferenciados de rendimiento (mapas anteriores de trigo y maíz del lote), muestreos de suelo dirigidos, análisis y siembra de maíz con densidad y fertilización variable de acuerdo a prescripciones georreferenciadas. Que incluye la Identificación de zonas de rendimientos diferentes dentro del lote a través de mapas anteriores, maíz y trigo; Realización de un muestreo representativo de cada una de las zonas, con muestras compuestas georreferenciadas con submuestras de cada uno de los lugares seleccionados; Análisis de la correlación rendimiento/característica química-físicas de suelo; Priorización de los datos de rendimiento de los mapas anteriores, como dato de peso en la estimación de rendimiento sitio específico del maíz del presente año; Definición de 4 ambientes de rendimiento en maíz (- de 90 qq/ha), (90 a 105), (105 – 120) y (+ de 120), como dato para el cálculo de fertilización. Teniendo como criterio que donde más rindió en los mapas anteriores se estima que se expresará con un mayor potencial de rendimiento y por ende serán necesario mayor necesidad de nutrientes; Análisis de respuestas variables de cada dosis de fertilizante en cada ambiente para luego realizar un análisis económico para determinar la conveniencia o no del uso de este tipo de tecnología de siembra variable con sembradora inteligente donde los ambientes lo justifiquen.

Este tipo de ensayos prueba una metodología en el gran cultivo, donde se cruzan factores, con diferentes ambientes y se analizan los datos de toda la población evaluada en forma georreferenciada, de esta forma ganamos experiencia y disponemos de datos agronómicos que posibiliten adelantar las prácticas de Agricultura de Precisión mejorando los ensayos futuros. Una muestra del típico equipamiento empleado para densidad de semilla y dosis de fertilizante variable es el descrito por (Lowenberg-DeBoer, 1997) que incluye: GPS Trimble 132, DGPS señal Beacon, monitores PF 3000 (para VRT de semilla y para VRT de fertilizante), tarjetas PCMCIA (para cada prescripción confeccionada con programa Farm Works), Consola Accu Rate (con 2 puertos para recibir la información de las prescripciones y enviar la señal a los motores en forma independiente), Motores Rawson (1 para siembra y otro para fertilizante), Radar de velocidad real.

En relación al dinamómetro integral Godwin y Spoor citado por Campos, et al. (2002) se indica que uno de los aspectos más importante en la evaluación de nuevos diseños de herramientas de labranza es el proceso de medición de las magnitudes de las fuerzas que actúan en dichos implementos, la característica de la falla, así como el volumen de disturbación y sección transversal del suelo como producto de la geometría de la herramienta, controlando variables del suelo como son humedad y densidad.

Tradicionalmente se emplean dinamómetros de tiro que representan un 60 % de las fuerzas a medir en la evaluación de herramientas, requiriéndose para estos diseñar elementos que permitan medir tanto la fuerza de penetración (30%) y las parásitas (10%). Esto con la finalidad de contar con un instrumento fundamental para el desarrollo de nuevas formas de implementos que demande menor consumo de energía. Graham et al. (1990) desarrolló como parte de un sistema de monitoreo de variables, un transductor de tipo hidráulico empleado para medir fuerzas de tiro en la evaluación de implementos remolcados. El sistema consistió de un cilindro de simple acción conectado entre el tractor y el implemento. Se empleó un transductor de presión para convertir esta a una señal eléctrica. Una respuesta lineal fue obtenida entre la presión ejercida por el tiro y la salida en mV. El inconveniente de este sistema a pesar de su alta confiabilidad es que solamente mide una componente de la fuerza resultante. Thomson y Shinnors (1989) desarrollaron un sistema para medir fuerzas de reacción de suelo en dos direcciones colocado en una estructura rígida emulando un sistema de enganche rápido a los tres puntos del tractor. El sistema emplea celdas de carga como unidades de medición de las fuerzas de reacción. El arreglo de las celdas de carga indicaron errores de sensibilidad cruzada del orden de +5 por ciento para fuerzas que fluctúan entre 1.5 N y 35kN. El Transductor Octagonal de Anillo Extendido para uso en Estudios de Labranza. (Godwin et al. 1993) se diseñó primeramente para monitorear las dos componentes de fuerzas y el momento en el plano de estas fuerzas de reacción del suelo. El sistema de fuerzas en estudios de labranza donde la falla del suelo es simétrica consiste de dos fuerzas mutuamente perpendiculares, y el momento en el plano de estas dos fuerzas. Thomas Fontain en 1991 evaluó un sistema de transductor de platos flotantes de seis componentes. Estas componentes permiten la medición de la fuerza de reacción en las tres direcciones. Las componentes empleadas en la medición de las fuerzas de reacción fueron celdas de carga. Encontrando en sus resultados sensibilidades cruzadas del orden +5 por ciento. El método de análisis de las vigas en cantiliver empleadas como transductores es explicado ampliamente por Sakurai (1996). En él señala como las fuerzas son determinadas a través de un análisis de suma de momentos en un punto en la viga, mediante el cual son determinadas cada una de las fuerzas y la dirección de la fuerza resultante (F_x , F_y , R y θ). Campos et al. (2002) diseñaron y compararon el funcionamiento de tres transductores de fuerzas basados en el principio de funcionamiento de las galgas extensiométricas, evaluados bajo condiciones de laboratorio y simulando las condiciones de suelo sin labrar en campo. Los transductores diseñados fueron: 1. El octagonal extendido, 2. Placas flotantes y 3. Viga en "U". Los tres transductores fueron diseñados para cubrir los siguientes parámetros de operación: magnitud F_x igual a 5000 N, F_z igual a 2500 N y momento debido a la fuerza resultante igual 7 KNm. Los porcentajes de sensibilidades cruzadas obtenidas para cada uno de los transductores fueron, Octagonal (1.5%), Viga en "U" (2.3%) y Placas flotantes (5.0%). La mejor respuesta fue obtenida con el Transductor Octagonal, seguida por la Viga en "U".

En el caso de implementos acoplados a la barra de tiro del tractor, la medición de solamente una fuerza, la fuerza de tiro, se realiza al insertar un dinamómetro entre las barras de tiro del tractor y del implemento (Ochoa, 2002). Sin embargo para el caso de los implementos montados en el enganche de los tres puntos del tractor, un simple y muy utilizado método para determinar la fuerza de tiro de estos ha sido el de tirar del tractor con el implemento acoplado a este por medio de un segundo tractor y midiendo la fuerza requerida por el primero con un dinamómetro que registra fuerza axial (Arcos, et al. 1997). La fuerza promedio con el implemento en posición de trabajo, menos la fuerza obtenida con el implemento levantado, es tomada como la fuerza de tiro requerida por el implemento; al mismo tiempo se mide la velocidad de operación, con lo que se puede calcular la potencia desarrollada por el tractor al jalar un implemento.

El desarrollo de los implementos montados ha disminuido considerablemente el utilizar un dinamómetro en la barra de tiro para medir el esfuerzo tractivo y el tiro del implemento, particularmente para calcular la capacidad tractiva y la transferencia de peso del tractor en diferentes condiciones de campo. Tomando en cuenta la importancia que tienen las pruebas y evaluación de la maquinaria agrícola, para su correcta selección, de tal forma que se garanticen los mejores índices técnico-económicos durante su explotación bajo condiciones específicas de cada país, y considerando el interés para México, el objetivo fundamental de evaluación técnica de equipos es proveerle al agricultor de escasos recursos económicos equipo confiable que rinda un beneficio neto positivo y atractivo (Garner, et al. 1990).

La mejoría en calidad de las técnicas de evaluación de un programa de pruebas nacional o regional sería de beneficio para varios grupos entre ellos: fabricantes locales de implementos agrícolas; Extensionistas laborando en programas de desarrollo rural; Bancos de crédito rural que toman decisiones acerca de líneas de crédito extendidas a los pequeños productores; Proyectistas y tomadores de decisiones en los sectores agrícolas e industriales. El término

“prueba” se refiere a un análisis del comportamiento de una maquina comparándolo con normas definidas y/o bajo condiciones ideales (Jhonson, 1985). En cambio “evaluación” involucra la medición de su comportamiento bajo condiciones agrícolas reales”, por ejemplo el rendimiento de un arado en suelos de diferentes texturas y contenidos de humedad y con un rango de coberturas vegetativas.

El propósito principal de obtener datos del comportamiento de un equipo es compararlo con el requerimiento para el cual fue diseñado (Crossley y Kilgour 1983). En práctica, la gran mayoría de procedimientos para equipos agrícolas incluyen una parte realizada bajo condiciones ideales y controlables (pruebas), y una parte realizada en condiciones reales de la agricultura.

El proceso de desarrollo y evaluación de herramientas de labranza bajo condiciones de campo requiere de tiempos superiores a los 3 años, debida a que el proceso de incremento en densidad aparente del suelo es lento, además de que es imposible aislar los efectos de humedad, textura sobre el comportamiento de las herramientas de labranza (Campos, et al. 2000).

Procedimiento Experimental

El proyecto está dividido en tres etapas paralelas; los dos primeros son referentes a dos fases de la agricultura de precisión, que incluyen las fases de diagnóstico geo-referenciado de dos ambientes y la de prescripción con dosis variables de semillas, que incorpora también la parte de simulación en base a datos históricos de rendimientos-diagnostico-prescripción. La tercera etapa del proyecto está relacionada con equipos e instrumentos para la determinación de fuerzas que actúan en implementos de labranza.

Para la primera fase, de diagnóstico geo-referenciado de ambientes se desarrollaran e integraran los siguientes componentes:

- Desarrollo de sensores de conductividad eléctrica, índices de cono con velocidad de penetración variable hasta 0.60m de profundidad y capacidad de hasta 4000 KPa y sensores de resistencia al corte con monitoreo dinámico en tiempo real.
- Sistema de adquisición de datos, con muestreos 8 variables a una mínima frecuencia de obtención por dato de 10Hz.
- Sistema de acondicionador de señales, con ganancias mínimas de 10, 000 gains.
- Geo – referenciación, con precisión mínima de un metro.
- Integración de variables
- Generación de mapa de ambientes, mediante sistemas GIS (Arcview e Idrisis).

Para el caso de los datos obtenidos con los sensores dinámicos de conductividad eléctrica bajo condiciones de campos serán comparados con los obtenidos bajo condiciones de laboratorio, evaluándolos en cinco sitios con diferentes condiciones.

Para la segunda fase, de prescripción con dosis variables de semillas, que incorpora la parte de simulación en base a datos de rendimientos-diagnostico-prescripción se desarrollaran e integraran los siguientes componentes:

- Evaluación de dosificadores de precisión
- Evaluación de sensores de velocidad y dosificación
- Registro e integración de variables de velocidad y dosificación
- Control automático del Variador de frecuencias
- Generar los mapas de digitales de prescripción basados en mapas de rendimiento y mapas de ambientes de predios comerciales.
- Generar un sistema de simulación que integre mapas de rendimiento y prescripción para la evaluación de sensores de dosificación de semillas y sensor de velocidad.

Para la primera parte de esta segunda fase se construirá un banco de pruebas con tres mecanismos dosificadores de semillas, instrumentados con sensores para registro en tiempo real de semillas por minuto a la salida del dosificador, sensor de semillas ideales conectado al eje del plato semillero y sensor de velocidad de siembra, el registro de la tres variables se hará en tiempo real hasta una frecuencia de 5000 semillas por minuto, midiendo la eficiencia de dosificación en términos de porcentaje de llenado de celdas semilleras, velocidad y dosificación de siembra variable. Así mismo se implementara el control de dosificación inteligente, midiendo el tiempo de respuesta a los cambios dinámicos de dosificación y la uniformidad de espaciamiento de semillas en el suelo.

La segunda parte de esta segunda fase se desarrollara un sistema de simulación de dosis variables de semillas, basados en mapas de prescripción de otras regiones del mundo, Estados Unidos y Argentina, para lo cual se digitalizarán los mapas geo-referenciados, en coordenadas cartesianas y las dosis de dosificación en rangos y niveles de acuerdo a la prescripción. El sistema será integrado por la parte virtual construida en Matlab e implementado mediante controles virtuales en habiente de LAB View, de National Instruments, utilizando una tarjeta de control NI,

con sensores de semillas reales, semillas ideales y velocidad de siembra. Bajo un sistema de bucle cerrado. La simulación con sensores reales será desplegada en tiempo real y registrado para su análisis espectral, así como para determinar funciones de transferencia y tiempos de respuesta de los controles empleados.

Para la tercera fase, desarrollo de equipos e instrumentos para la determinación de fuerzas que actúan en implementos de labranza, se desarrollaran e integraran los siguientes componentes:

- Dos Transductores octagonales con capacidad de 40 kN de fuerza cada uno. Un transductor para cargas axiales con capacidad de 70 KN. Un sistema de enganche rápido y Una estructura flotante.
- Acondicionamiento del programa realizado en visual Basic a ambiente Matlab para el proceso iterativo del diseño y construcción de transductores octagonales, que facilite la determinación de las dimensiones apropiadas de los transductores.
- Determinación de las dimensiones apropiadas del transductor del anillo octagonal extendido mediante la compilación del programa "Diseño de transductores octagonales" que incluye dimensiones del anillo: radio, ancho y espesor del anillo; esfuerzo de cedencia del material (N/m²), módulo de elasticidad; factores de seguridad, factor de galga, sensibilidad y voltaje de salida esperado.

Para la evaluación del transductor, será hara tanto en condiciones de laboratorio como en condiciones de campo. Para condiciones de laboratorio se medirán su sensibilidad en términos de magnitudes de respuestas de las cuatro variables a medir (kN y kN-m) así como la sensibilidad cruzada y sus curvas de calibración. Para las condiciones de campo se evaluara con dos implementos de labranza para las fuerzas de tiro y transferencia de peso de implementos integrales y se comparara con el sistema tradicional en términos de eficiencia total y tractiva.

Cronograma de Actividades.

Actividad a realizar	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Evaluación de sembradoras de Precisión en banco de pruebas para agricultura de precisión		X	X	X	X	X						
Evaluación de carro porta sensores para la medición de conductividad eléctrica		X	X	X								
		X	X	X	X	X						
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Evaluación en campo de la profundidad de laboreo variable empleando penetrómetro y sensor de energía				X	X	X	X	X	X	X	X	

5.-Productos Esperados

1. Un artículo en congreso nacional
2. Dos tesis de Licenciatura.

6.-Literatura Citada

Arcos, Emilio Sánchez; Laurel, Hipólito Ortiz 1997. Diseño de un dinamómetro para medición de fuerzas en el enganche de tres puntos del tractor. Memorias VII congreso nacional de ingeniería agrícola. Buenavista Saltillo, Coah.

Bongiovanni, R., and J. Lowenberg-DeBoer. 2004. "Precision Agriculture and Sustainability." *Journal of Precision Agriculture* 5, 359-387, 2004 (August 2004). <http://www.wkap.nl/prod/j/1385-2256>. Disponible en: <http://www.agriculturadeprecision.org/articulos/analecon.htm>

Campos, M. S.; Wills, B.; Cadena Z., M; 2002. Consideraciones para el diseño de transductores octagonales y su aplicación en la evaluación de implementos de labranza. Memorias del XI congreso nacional de ingeniería agrícola (AMIA). Irapuato, Gto., México

Daberkow, S.; Fernandez-Cornejo, J. and M. Padgett. 2002. Precision Agriculture Technology Diffusion: Current Status and Future Prospects. Presented at the 6th International Conference on Precision Agriculture, Minneapolis, MN, (USA) July 14-17, 2002. 15 pp.

Ochoa, J. G., 2002. Manual de prueba y evaluación de arados. INIFAP-CENEMA Chapingo, México.

Garner, T.H.; Dodd, R. B.; Wolf Dan; Peiper, U. M. 1988. Force analysis and application of a Three-point Hitch dynamometer. *Transaction of the ASAE*. 31(4):1047-1053.

Godwin, R.J.; Reynolds, A. J.; O'Dogherty; Al-Ghazal, A. A. 1993. A triaxial dynamometer for force and moment measurements on tillage implements. *J. Agric. Engng. Res.* 55:189-205

Hai, Sakurai. 1996. An Application of Strain Gages to the Agricultural Machinery. Edit. Farm Machinery section. 2nd Training Division. Tsukuba Internacional centre (TBIC). Japan Internacional Cooperation Agency (JICA).

Jhonson C. E. and W. B. Voorhees. 1979. A force Dynamometer for Three - Point Hitches. *Transactions of the ASAE*

22(1): 226-229.

Lowenberg-DeBoer, J. 1997. A bumpy road to the adoption of precision agriculture. Purdue Agricultural Economics Report. Nov. 1997. http://www.agecon.purdue.edu/extension/pubs/paer/pre_98/paer1197.pdf

Norton, G.W. and S.M. Swinton. 2001. Precision Agriculture: Global Prospects and Environmental Implications. Forthcoming in G.H. Peters and P. Pingali, eds. Tomorrow's Agriculture: Incentives, Institutions, Infrastructure and Innovations: Proceedings of the 24th International Conference of Agricultural Economists, 2000. London: Ashgate.