

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”



DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Rediseño de prototipo para labranza de precisión

Por:

ULBER VELÁZQUEZ JIMÉNEZ

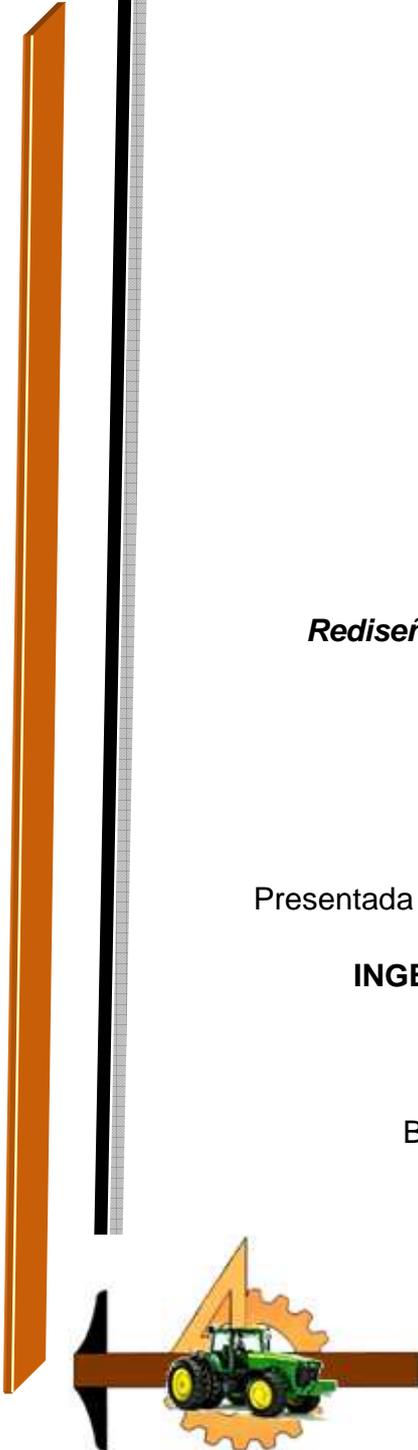
Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Agosto de 2011



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA

REDISEÑO DE PROTOTIPO PARA LABRANZA DE PRECISIÓN

Por:

ULBER VELÁZQUEZ JIMÉNEZ

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



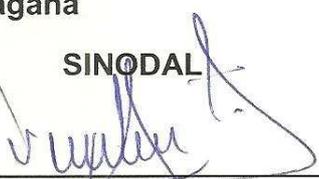
Dr. Santos G. Campos Magaña

CO-DIRECTOR

SINODAL



Dr. Martín Cadena Zapata



Dr. Jesús R. Valenzuela García

Coordinador de la División de Ingeniería



M.C. LUIS RODRÍGUEZ GUTIÉRREZ

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. AGOSTO DE 2011

AGRADECIMIENTOS

A **DIOS** primero que nada por darme la vida y la oportunidad de vivir una etapa tan importante en ella, por permitirme culminar con éxito mis estudios y darme la dicha de cumplir este sueño.

A mi **ALMA MATER** por darme los conocimientos necesarios para enfrentar la vida y albergarme durante estos años de licenciatura siempre te recordare.

Al **Dr. Santos Gabriel Campos Magaña** por sus consejos, conocimientos y amistad brindados, además de sus asesoramientos y facilidades prestadas para la realización de la presente tesis.

Al **M.C. Héctor Uriel Serna Fernández** primero que nada por la amistad que me brindo durante todo este tiempo, sus conocimientos brindados, las asesorías que me dio en materias que se me complicaban, por ser un gran maestro y un gran amigo... por todo eso y más **GRACIAS**.

A todos los **maestros** de la universidad que me brindaron sus conocimientos a través de las clases, en especial a los del departamento de Maquinaria Agrícola que siempre me apoyaron, en especial al **M.C. Juan Arredondo Valdez** por ser mi tutor, profesor y sobre todo por la amistad que me dio durante todos estos años. Al **Dr. Jesús R. Valenzuela García** y **Dr. Martín Cadena Zapata** por la gran amistad y enseñanza.

A mis **compañeros y amigos de la generación CX** por los momentos que pasamos juntos, en fiestas, desvelos, estudios, reuniones y sobre todo en los salones de clases durante estos años, por brindarme su confianza y apoyo pero sobre todo por su amistad.

Estimados compañeros, siempre seguiremos siendo, de otra forma, alumnos de esta carrera, porque parte de nuestras vidas han quedado plasmadas dentro de cada una de sus aulas, en cada uno de sus rincones, y será testigo de que podremos afrontar con responsabilidad y capacidad los retos que nos ponga la vida...

¡GRACIAS!

DEDICATORIAS

A mis padres:

Segundo Velázquez Hernández y Erodita Jiménez González.

Cuando se trata de agradecer el amor, los valores, el impulso, la motivación, el cuidado, la protección, los desvelos, y el sacrificio que han tenido para mí, las palabras se evaporan, el nudo que me atraviesa la garganta me impide hablar, solo siento una gran emoción y un profundo agradecimiento de tenerlos a ustedes como padres, no hay manera... Ni una sola palabra que pueda expresar el infinito agradecimiento que tengo hacía ustedes por todo lo hermoso que me han dado.

En este momento los recuerdos tocan mi corazón, recuerdos hermosos de mi niñez, y ustedes siempre ahí, junto a mí, impulsándome para lograr cualquier cosa que me propusiera, no hay día que no agradezca a Dios la oportunidad que me dio de tener unos padres como ustedes, que me han ayudado tanto a realizar mi sueños, y lograr mis más grandes metas, la vida sigue... Y aún es largo el camino, me faltan muchas más metas por cumplir, sueños que realizar, y que no les quedé duda que lo haré, que todo lo que me han enseñado en cada segundo de mi vida lo aplicaré para ser mejor...

Con la preparación que he obtenido a lo largo de mi carrera profesional que hoy finaliza, el día de mañana les recompensaré el esfuerzo el amor y el sacrificio que me han brindado, y cuando su pelo blanco aparezca en sus cabecitas señal de los años dorados, seguiré a su lado para seguirlos amando y venerando por siempre, gracias por tanto y tanto amor.

Su hijo que los adora...

“DIOS LOS BENDIGA SIEMPRE”.

A mis hermanos:

✚ Mateo Velázquez Jiménez (†)

✚ Hugo Martín Velázquez Jiménez (†)

✚ Livi Dilmar Velázquez Jiménez.

✚ Neydel Velázquez Jiménez.

✚ Santiago de Jesús Velázquez Jiménez.

✚ Adelina Yanci Velázquez Jiménez.

Por todo el apoyo que me brindaron en cada momento de mi vida, en cada etapa de mis estudios, por la motivación y el ejemplo que me dieron para seguir adelante, no olviden que los QUIERO MUCHO y a mis hermanos que ya no están con nosotros quiero que sepan que siempre estarán en mi mente y corazón (DEP).

A la futura madre de mis hijos y amor de mi vida:

María de los Ángeles Díaz Arriaga

por brindarme el apoyo durante toda mi carrera y por estar siempre allí conmigo en las buenas y en las malas, en mis triunfos y tropiezos, pero sobre todo por darme la dicha de sentir el gran orgullo de ser papa, en hora buena gracias por los niños que me vas a dar y quiero que sepas que te amo.

A todos mis familiares y amigos:

Por sus palabras de aliento que me impulsaban a seguir adelante y por el apoyo brindado gracias...

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	ii
INDICE DE FIGURAS	v
INDICE DE CUADROS	vi
RESUMEN	vii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES	5
1.2. PROPOSITODEL PROYECTO	5
1.3. OBJETIVO GENERAL.....	6
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	6
1.5. HIPÓTESIS	6
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
2.1. SISTEMAS DE LABRANZA VERTICAL	11
2.2. EVALUACION DE IMPLEMENTOS DE LABRANZA.....	14
2.3. MEDICIÓN DE FUERZA Y ENERGÍA.....	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
3.1. DATOS GENERALES DE LOS IMPLEMENTOS A REDISEÑAR	18
3.2. MATERIALES.....	19
3.3. DISEÑO DE PROTOTIPO.....	19
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
VI. BIBLIOGRAFÍA.....	26
VII. ANEXOS	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 Aflojamiento del suelo con subsolador bajo condiciones húmedas y secas.....	13
Fig. 2.2. Tipos de brazos del subsolador.....	13
Fig. 2.3. Representación de las relaciones entre la profundidad de trabajo del subsolador, el ancho de aflojamiento, y el espaciamiento entre brazos.....	14
fig. 3.1 Multicultivador MC 3/5/7 modificado.....	18
Fig. 4.1. Prototipo de labranza de precisión.....	20
Fig. 4.2. Chasis.....	21
Fig. 4.3. Gato de tornillo sin-fin.....	21
Fig. 4.4. Timón.....	22
Fig. 4.5. Porta timón.....	22
Fig. 4.6. Chasis trasero.....	23
Fig. 4.7. Ensamble del articulado.....	23
Fig. 4.8. Ensamble del gato hidráulico.....	24

INDICE DE CUADROS

Cuadro (3.1) Especificación del implemento	18
Cuadro (4.1) Listado de materiales del prototipo de labranza de precisión.....	20
Cuadro (4.3) Listado de materiales del gato de tornillo sin-fin	22
Cuadro (4.4) Listado de materiales del sistema articulado.....	24

RESUMEN

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

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 sistemas inteligentes de labranza y sistemas de simulación de prescripción variable para la labranza de precisión.

Para obtener lo anterior se elaboró un diseño de equipo de labranza vertical con un sistema de articulación trasera mediante un mecanismo de paralelogramo para el control inteligente de profundidad. El equipo propuesto está integrado por 9 subensambles que comprenden: chasis, ensamble del gato sin-fín, timón, cajón de timón, chasis trasero, ensamble del articulado, ensamble del gato hidráulico y soporte frontal.

Palabras claves: labranza inteligente, sistema de geoposicionamiento, cinceles.

I. INTRODUCCIÓN

La labranza primaria adquiere importancia en la preparación del suelo debido a que la remoción es alta y que esta labor afecta en gran medida sus propiedades físicas, y directa e indirectamente las propiedades químicas y biológicas. Los cambios promovidos por la labranza deben favorecer la producción de los cultivos y mantener la calidad física del suelo, pero debido al uso inadecuado de los implementos de labranza se provoca la erosión y degradación física de éste. La degradación física del suelo puede ser definida como la pérdida de la calidad de la estructura del suelo FAO (2003).

Esa degradación estructural puede ser observada tanto en la superficie con el surgimiento de finas costras, por debajo de la capa arada, donde surgen capas compactadas. Con esa degradación Cabeda (1984) menciona que las tasas de infiltración de agua en el suelo se reducen, mientras las tasas de escorrentía y de erosión aumentan.

Las principales causas de la degradación de las características físicas del suelo son Cabeda (1984):

Cobertura inadecuada de la superficie del suelo, que expone los agregados de la superficie del suelo a la acción de lluvias; como consecuencia ocurre el colapso estructural de estos agregados, formándose costras con espesor medio de un milímetro, que reducen drásticamente la infiltración de agua.

Excesiva labranza y/o labranza con humedad inadecuada: la labranza en exceso y superficial lleva a la rotura de los agregados, favoreciendo la formación de costras, escurrimiento y el transporte de partículas (erosión). La reducción de la rugosidad provocada por la labranza.

La búsqueda de soluciones a esta problemática ha conducido al estudio e implementación de la labranza de conservación, con el fin de disminuir el impacto sobre el medio ambiente y especialmente sobre el suelo. Por lo anterior, es importante conocer diferentes parámetros operativos de los implementos de labranza y su incidencia en el suelo FAO (2003).

Por otro lado el alto costo en las labores debido a un gran número de pasos de implemento y por lo tanto gran consumo de energía en forma de combustible es un factor que puede limitar la actividad agrícola pues reduce el costo beneficio del sistema de producción. Steiner (1998) menciona que para muchos agricultores, antes de una conciencia conservacionista, la principal razón de adopción de los sistemas de labranza de conservación es la posibilidad de reducción de costos.

Para Derspch (2007) la reducción del uso de energía en los sistemas de producción agrícolas es un tema de gran importancia pues contribuye al éxito financiero de los mismos y con la disminución de subsidios y una gran competencia en el mercado globalizado, los agricultores consideran actualmente opciones de reducción de labores y gasto de energía para bajar los costos.

Teniendo en cuenta lo anterior investigadores señalan que el método de labranza escogido debe ser capaz de ajustarse ampliamente al sistema de manejo del suelo y desarrollo radicular de los cultivos pensando siempre en conservar los recursos suelo y agua (Brown et al, 1985; Harman et al, 1989, Bravo, 1995).

En esta investigación se obtendrán los mejores arreglos para cinceles de labranza vertical y de esta manera obtener una mayor eficiencia en la calidad de trabajo reduciendo el consumo de energía y aumentando el índice de demanda de fuerza por unidad de sección transversal, así como también generar información para el método de evaluación de implementos de labranza vertical, así como generar información de arreglos espaciales de cuerpos de cinceles que permitan obtener una mejor eficiencia en términos de consumo de energía y calidad de trabajo.

Existe confusión en la literatura acerca de la terminología de la labranza, porque muchos de los términos utilizados son muy generales, y porque además existe un gran número de diferentes sistemas que varían en los implementos, las combinaciones de los implementos y las intensidades de laboreo (FAO, 2000).

En la actualidad, la labranza de conservación se utiliza extensivamente en la agricultura de México. Por lo que los complejos mecanizados revisten de gran importancia en las condiciones modernas de desarrollo y crecimiento de la economía agrícola. No obstante, la productividad y eficiencia de los nuevos implementos juegan un papel determinante en el proceso de la producción de alimentos. Para lograrlas, es necesario “buscar” reservas que permitan al productor incrementar sus cosechas y disminuir los costos mediante el uso racional de los recursos suelo y agua (Gutiérrez et al., 2004).

La labranza convencional es un programa de labranza completa que consta de operaciones primarias secundarias. Involucra la inversión del suelo, normalmente con el arado de vertedera o el arado de discos como labranza primaria, seguida por labranzas secundarias con la rastra de discos. El propósito principal de la labranza primaria es controlar las malezas por medio de su enterramiento, y el objetivo principal de la labranza secundaria es desmenuzar los agregados y crear una cama de siembra. El control de malezas siguiente se puede hacer por medio de cultivaciones o herbicidas. La característica negativa de este sistema es que al suelo le falta una protección de rastros y queda casi desnudo, por lo tanto es susceptible a las pérdidas de suelo y agua debido a los procesos de erosión (FAO, 2000).

La labranza reducida se refiere al cultivo de toda el área del suelo pero con la eliminación de uno o más laboreos en comparación con los sistemas convencionales de labranza. Esto se refiere a un rango amplio de sistemas distintos, como por ejemplo:

Rastra de discos o cultivadora, luego sembrar;

Arado de cinceles o cultivadora, luego sembrar;

Rotocultor, luego sembrar.

Dependiendo de los implementos utilizados y el número de pasadas, la labranza reducida puede ser clasificada como un sistema conservacionista o no conservacionista según la cobertura de rastrojos que queda al momento de la siembra. Por lo tanto, no todos los sistemas de labranza reducida son sistemas conservacionistas. De los tres ejemplos citados anteriormente, es probable que solamente el arado de cinceles o cultivadora luego de sembrar, pudiera ser clasificado como un sistema conservacionista (FAO, 2000).

La labranza conservacionista es un término general que ha sido definido como "cualquier secuencia de labranzas que reduce las pérdidas de suelo y agua, en comparación con las de la labranza convencional" (Lal, 1995). Normalmente se refiere a un sistema de labranza que no invierte el suelo y que retiene rastrojos sobre la superficie.

Otra definición de labranza conservacionista utilizada es "cualquier sistema de labranza o siembra que mantenga al menos 30% de la superficie del suelo cubierta con residuos después de la siembra, para reducir la erosión hídrica" (Unger et al., 1995).

La configuración de los tractores e implementos es un factor importante para el ahorro de energía en la preparación del suelo, para ahorrar energía se deben realizar una configuración del equipo de manera que la potencia requerida por la herramienta este cerca de la potencia nominal del tractor. Si el tractor se opera a un nivel de potencia nominal mientras que el motor opera a su velocidad nominal, la eficiencia se reduce y el consumo de combustible será más alto de lo necesario. (Hughes, 1981).

Para las labores de establecimiento de cultivos, se requiere un gran consumo de energía en forma de combustible, esto es un factor que puede limitar la actividad agrícola pues reduce el costo beneficio del sistema de producción (Kichler et al., 2007). Para muchos agricultores, antes que una conciencia conservacionista, la principal razón de la adopción de los sistemas de labranza de conservación es la posibilidad de reducción de costos (Steiner, 1998).

La reducción del uso de energía en los sistemas de producción agrícolas es un tema de gran importancia pues contribuye al éxito financiero de los mismos y con la disminución de subsidios y una gran competencia en el mercado globalizado, los agricultores consideran actualmente opciones de reducción de labores y gasto de energía para bajar costos (Derspach, 2007).

La eficiencia global con la que se aplica esta energía a la tierra es cerca de 0.25 por ciento, principalmente debido a problemas en la fabricación de implementos de labranza eficaz para romper el suelo. Debido a que los insumos de energía a otros aspectos de la producción agrícola, particularmente en la agricultura de regadío, tienden a demandar insumos de labranza de la energía, cambios en los insumos de energía labranza debe ser visto en términos de la eficiencia energética global del sistema de producción de los cultivos. Generalmente, esto significa que los cambios para hacer más eficiente la energía de labranza deben ser aquellos que no reducen los rendimientos.

Tomando en cuenta lo anterior, un problema a resolver en los sistemas actuales de producción incluyendo los de conservación, es reducir al mínimo el uso de energía, por lo que se debe desarrollar tecnología de implementos que cada vez sean más eficientes. En México de acuerdo al SIAP (2006) se sembraron 15, 486 121 ha de cultivos cíclicos que son en los cuales se realiza una labranza de mayor intensidad es decir con una alta aplicación de energía. Las necesidades de reducción de aplicación de energía y de conservación de los recursos suelo y agua se dan con mayor prioridad en la superficie antes mencionada; ya que por ejemplo estudios de las labores en los sistemas de producción de cultivos cíclicos como sorgo y maíz, señalan que la labranza puede representar hasta el 60 % de los costos de producción debido a la alta demanda de energía de la misma (Báez, 2001).

En la labranza de conservación, los mejores implementos son los llamados de labranza vertical, sin embargo aun demandan una alta potencia (Hoogmoed 1999). Para poder proponer el desarrollo de implementos más eficientes, con menor demanda de potencia, es necesario conocer con mayor detalle cuales son los factores inherentes a la geometría y diseño de los mismos que interactúan con los factores ambientales como tipo de suelo, contenido de humedad, y con los factores operativos como la velocidad, profundidad para obtener el resultado esperado en uso de energía. Se debe generar la información anterior para en forma racional y eficiente establecer los diseños futuros de implementos de labranza.

Las practicas de manejo de suelo entre estas la labranza de conservación, son herramientas disponibles para mitigar el efecto de eventos climáticos extremos: son efectivas para el control de la erosión, promueven la infiltración y almacenamiento de agua, reducen escurrimiento y evaporación desde la superficie del suelo (Triplett y Dick, 2008, Endaleet al., 2009).

1.1. ANTECEDENTES

En los últimos años se ha incrementado el interés por el uso eficiente de la energía y la conservación de los recursos del suelo y agua principalmente donde se escasea, lo que ha traído un cambio de actitudes con respecto a las prácticas de manejo del suelo y los residuos. Cada año se da más énfasis al uso de las labranzas mínimas y a la preparación de la cama de siembra en la agricultura de temporal. La determinación de las fuerzas que los implementos agrícolas requieren de la fuente de potencia ha sido de suma importancia e interés, ya que se encuentra involucrado en numerosas investigaciones realizadas a través de muchos años (FAO, 2000).

Es de sumo interés la evaluación de los implementos agrícolas por que a través de ello se adquiere un buen conocimiento sobre el manejo de las prácticas de laboreo del suelo, el cual se traduce en términos de disminución de los costos de la reparación, conservación de la humedad del perfil, y principalmente provee un conocimiento para prevenir la erosión hídrica y eólica, pero sobre todo para demostrar las ventajas y así fomentar la adopción de nuevas tecnologías por los agricultores (Uribe et al., 2002).

En los sistemas que ahorran energía se usan arados de cinceles que requieren menos tracción, generalmente un tractor capaz de tirar un arado de vertederas de 4 cuerpos, y 40 cm de ancho puede también tirar un cultivador de cobertura de rastrojo de 3.30 m o mayor, a una velocidad igual o un poco más rápido, de esta manera se puede trabajar mayor terreno en el mismo periodo de tiempo (Buckingham, 1976).

La función básica del arado de cincel ha cambiado poco desde la época en que los hombres primitivos empujaban palos de horquilla a través del suelo, hace miles de años. Las aleaciones de acero han reemplazado la madera y los tractores han reemplazado la fuerza muscular de hombres y animales, pero el propósito sigue siendo el de remover y airear el suelo con una inversión mínima (FAO, 2000).

1.2. PROPOSITO DEL PROYECTO

Desarrollar un equipo de labranza vertical mediante el empleo de satélites, sistemas de información geográfica y el control automático de profundidad ge posicionado de herramientas de estallamiento de suelo en base a diagnostico de sitio específico. El cual esta acotado mediante dos sistemas para control de profundidad tanto en timones delanteros y traseros, los timones delanteros serán controlados por gatos de tornillos sin-fin con ruedas de control de profundidad. Los timones traseros se controlaran con un sistema articulado de paralelogramo el cual controlara a profundidades de 30, 35 y 40 cm.

1.3. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un equipo de labranza vertical mediante el empleo de satélites, sistemas de información geográfica y el control automático de profundidad geoposicionado de herramientas de estallamiento de suelo en base a diagnóstico de sitio específico.

1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir un modelo de simulación de control de profundidad de herramientas de labranza a bases de datos de diagnósticos de sitio específico.

- Construir un prototipo de herramienta de labranza vertical con control automático de profundidad mediante el uso de satélite y basado en mapas de diagnóstico de los niveles de energía por predio específico.

1.5. HIPÓTESIS

Es posible desarrollar equipos inteligentes de labranza vertical que permitan ser empleados en la agricultura de sitio específico con sistema de control de bucle cerrado con mayor eficiencia que el sistema tradicional de aplicación total de energía en el laboreo de suelos agrícolas.

II. 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 de 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 geo referenciados, 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 geo referenciados de rendimiento (mapas de trigo y maíz del lote), muestreos de suelo dirigidos, análisis y siembra de maíz con densidad y fertilización variable de acuerdo a prescripciones geo referenciadas, 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 geo referenciadas con sub muestras 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 donde 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 geo referenciada, de esta forma ganamos experiencia y disponemos de datos agronómicos que permitan 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 AccuRate (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 a los sensores para el monitoreo de fuerzas en la labranza Godwin y Spoor citado por Campos, et al. (2002) indican 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.

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. 2002). En relación a la producción de alimentos, el incremento en la densidad de población, implica un aumento en el uso de energía de combustibles fósiles y un mayor impacto ambiental (Conforti y Giampietro, 1997). Para las labores de establecimiento de cultivos, actualmente se requiere un gran consumo de energía en forma de combustible, esto, es un factor que puede limitar la actividad agrícola pues reduce el costo beneficio del sistema de producción (Kichler et al., 2007), no obstante, si se implementan cambios tecnológicos apropiados en los sistemas de producción de alimentos, se estima que se puede reducir hasta 50% el uso de energía fósil en los mismos (Pimentel et al., 2008).

La reducción del uso de energía en los sistemas de producción agrícolas es un tema actual de gran importancia pues contribuye al éxito financiero de los mismos y con la disminución de subsidios y una gran competencia en el mercado globalizado, los agricultores consideran actualmente opciones de reducción de labores y gasto de energía para bajar costos, como el uso de sistemas de labranza de conservación (Derspach, 2007). Para muchos agricultores, antes que una conciencia conservacionista, la principal razón de la adopción de los sistemas de labranza de conservación es la posibilidad de reducción de costos (Steiner 1998).

Tomando en cuenta lo anterior, un problema a resolver en los sistemas actuales de producción de cultivos es reducir al mínimo el uso de energía, por lo que se debe desarrollar tecnología de implementos cada vez más eficientes. Actualmente en algunos cultivos como trigo, la energía utilizada en labranza convencional representa hasta el 35% del total invertido en el sistema de producción, disminuyendo el número de labores este porcentaje se reduce hasta 19% en cero labranza (Tabatabaeefar et al., 2009). Sin embargo se debe tener cuidado en la reducción de la intensidad de la labranza pues en algunos cultivos esto puede resultar en la reducción del rendimiento (Agbede, 2006), en este aspecto, la labranza vertical es una buena alternativa como sistema de conservación ya aun cuando puede presentarse una pequeña reducción del rendimiento, el ahorro de energía es considerable (Cavalaris y Gemptos, 2002).

Los implementos labranza vertical tipo cincel, demandan una menor cantidad de energía que los sistemas de labranza convencional (Hoogmoed 1999; Camacho y Tamayo, 2007). De acuerdo con Raper y Bergtold (2007), se puede hacer mucho para disminuir el costo de operaciones con labranza vertical vía reducción de uso de energía, seleccionando la adecuada geometría de los implementos, la adecuada profundidad de trabajo y humedad en el perfil del suelo.

Entre los factores que inciden para que una herramienta de labranza requiera una menor o mayor fuerza de arrastre están, la humedad en el suelo al momento de la labor, el ángulo de inclinación entre la punta de la herramienta y el plano horizontal del suelo, el filo de la punta, el tipo de suelo, la profundidad y la velocidad de trabajo así como la geometría de las partes y aditamentos del implemento y la configuración cuando se trata de una combinación de herramientas como en la siembra directa (Spoor y Godwin 1990, Fielke 1996, Tong y Ballel 2006, Godwin y O'Dogherty, 2007).

El contenido de humedad es tal vez el factor más importante que determina la calidad de labor que se obtendrá (Spoor y Godwin, 1990), realizar labores en los extremos del contenido de humedad por lo general resulta en inconvenientes, en un suelo demasiado húmedo se puede incluso dañar la estructura, pero si la labor se realiza en un suelo demasiado seco la cantidad de energía a utilizar será bastante grande (Dexter y Bird, 2001).

El resultado de la labranza será óptimo a un contenido particular de humedad y como resultado, un menor número de labores será requerido, disminuyendo la energía aplicada en un sistema de labranza (Keller et al., 2007). Sin embargo, determinar el contenido óptimo de humedad para una labor específica no es tan fácil o directo y el valor cambiará de acuerdo al tipo de implemento y suelo (Hoogmoed et al., 2003), por eso es necesario determinar cuál es el resultado de la interacción entre los factores humedad del suelo y geometría o forma del implemento en el resultado tecnológico de la labranza y la demanda de energía.

La reducción de las fuerzas de arrastre y por lo tanto de la energía para las labores podría disminuirse incorporando elementos vibratorios que minimizan las fuerzas cohesivas del suelo y su resistencia (Szabo et al., 1998), se puede reducir la demanda de energía trabajando dentro de los límites de laborabilidad del suelo entre los cuales se encuentra el rango óptimo de contenido de humedad para un determinado tipo de implemento (Cadena et al., 2003). Otra posibilidad es determinar la mejor configuración de espaciamiento de cuerpos y profundidades de trabajo para optimizar el uso de energía (Kasisira y du Plessis, 2006).

Ashraf y Kushwaha (2003) realizaron una extensa revisión de modelos que tratan de predecir las fuerzas que requieren los implementos de labranza considerando una gran cantidad de factores, sin embargo al igual que Tong y Ballel (2006) señalan que se deben hacer mediciones o cuantificaciones en campo bajo diferentes condiciones para validar los modelos y/o verificar su confiabilidad para realizar aplicaciones en condiciones particulares.

El estudio de la demanda de energía en las operaciones requeridas por los cultivos, es una herramienta de planeación al considerar el costo-beneficio de cada uno, en este aspecto estudios del costo de la labranza basado en energía requerida es muy importante pues se puede determinar cuál es la más eficiente combinación entre tractor implemento (Serrano et al., 2007).

El ahorro de energía utilizando labranza vertical con cinceles en comparación con sistemas convencionales ha sido documentado en varios estudios (Hoogmoed y Derspich, 1985; Cadena, et al., 2004; Camacho y Tamayo 2007). Otros investigadores han observado que dentro del mismo sistema de labranza vertical puede haber una reducción del uso de energía por efecto de arreglos espaciales de los elementos y profundidades de trabajo (Hamza et al., 2006; Kasisira y du Plessis, 2006).

La fuerza requerida para jalar un implemento depende de la resistencia específica y de su profundidad de trabajo, de la densidad del suelo y la humedad al momento de la labor; el espaciamiento entre los cuerpos o cinceles en combinación con la profundidad de trabajo resultará en diferentes requerimientos de fuerza aun en una misma condición de textura y humedad de suelo (Arvidsson et al., 2004; Manuwa, 2009).

2.1. SISTEMAS DE LABRANZA VERTICAL

Los sistemas de labranza constituyen un elemento principal dentro de los sistemas agrícolas de producción, donde muchas de las actividades posteriores afectan de forma directa al cultivo ya establecido y que dependen en gran medida del sistema de labranza aplicado a la preparación del terreno (Martínez, 1999).

Dentro de los sistemas de labranza están aquellos que hacen una remoción completa del suelo y en ocasiones una fragmentación excesiva de las partículas y no consideran la compactación del suelo, y que se conoce comúnmente como labranza tradicional. Por otro lado existe también el sistema de labranza de conservación, que se define como cualquier secuencia de labranzas que reduce las pérdidas de suelo y agua, en comparación con las de labranza convencional (Lal, 1995).

La labranza vertical se refiere a un sistema donde toda la tierra está preparada con implementos que no invierten el suelo y causan poca compactación. Por lo tanto, el suelo queda normalmente con una buena cobertura de rastrojo de más de 30% sobre la superficie (FAO, 2000).

La labranza vertical es un sistema ventajoso en un amplio rango de tipos de suelo, inclusive en los que tienen problemas de drenaje y que son susceptibles a la compactación. La eficacia operativa del sistema de labranza vertical es más alta que la de labranza convencional, sobre todo debido a que el vibrocultivador trabaja con mayor velocidad y tiene mayor ancho de trabajo que la rastra de discos. Por consiguiente es posible preparar entre 50 hasta 80% más de superficie por día con labranza vertical, si se la compara con labranza convencional (Baber et al, 1993).

La principal característica de la labranza vertical es que utiliza brazos o flejes equipados con puntas en lugar de discos para aflojar el suelo sin invertirlo, dejando en la superficie una cobertura protectora formada por los residuos del cultivo anterior y por las malezas arrancadas (Baber et al, 1993).

Los implementos de labranza vertical causan poca compactación, es decir no forman una capa dura en el subsuelo (piso de arado) que limita la profundización de las raíces. En cambio los discos de labranza convencional ocasionan capas duras. Los implementos más comúnmente utilizados son el arado de cincel, la cultivadora de campo y el vibrocultivador (FAO, 2000).

Los arados de cincel son implementos en los sistemas de captación de humedad, cuyo diseño le permite penetrar en suelos firmes y romper capas compactas. La superficie se deja partida y abierta para atrapar y mantener el agua de la lluvia y resistir la erosión del viento. La experiencia ha demostrado que la tracción mínima de estas herramientas tales como los arados de cincel y los subsoladores, ocurre cuando el ángulo de elevación es de 20° entre la superficie de la herramienta y la horizontal. El desmenuzamiento ocurre con el menor esfuerzo cuando la herramienta está aplicando fuerza de elevación, que

cuando se corta horizontalmente o empuja verticalmente contra el suelo (Buckingham, 1984).

Las fuerzas que actúan sobre un cincel en el suelo dependen mucho de la forma y sobre todo del ángulo de ataque. Un ángulo de ataque agudo mejora la penetración y reduce la fuerza de tracción. Además mejora el efecto de la roturación y la mezcla del suelo porque lleva una parte del material del suelo de horizontes inferiores hacia arriba (FAO, 2000).

El cuerpo de un cincel corta verticalmente a través del suelo. El suelo se mueve hacia arriba y a lo largo de la curva del cincel y es detallado por la fuerzas de empuje hacia arriba. Los resultados del efecto de la vibración lateral (comienzan a ser pronunciados hacia la superficie) aflojan completamente la parte baja del suelo. Un aflojamiento y mezcla satisfactoria se asegura cuando el suelo se encuentra relativamente seco, el cual es roto hacia arriba en forma perpendicular a la dirección del corte en un ángulo aproximado de 50° desde la superficie (Krause et al, 1984).

La movilización del suelo es causada por cizallamiento, donde las partículas se someten a compresión-tensión, situación en que el suelo se agrieta, y por deformación plástica, situación indeseada ya que el suelo sólo se deforma en la superficie de contacto con la herramienta, lo cual puede llevar a la compactación (Aluko y Seig, 2000).

Los subsoladores trabajan mejor en el suelo firme y en estado friable donde capas más duras impiden la penetración adecuada de la humedad y el desarrollo de las raíces. La inclinación de los cuerpos y puntas del subsolador afectan a tracción, penetración, y fragmentación del suelo; cuando los soportes se inclinan hacia adelante, levantan y fragmentan el suelo mejor que cuando están casi o totalmente verticales (Buckingham, 1984).

La subsolación se puede hacer solamente cuando el suelo está seco hasta ligeramente húmedo lo cual es más difícil en suelos arcillosos. La subsolación en el estado seco requiere mucha potencia y frecuentemente deja agregados y vacíos grandes entre ellos o sea, condiciones no favorables para la germinación y crecimiento inicial de las plántulas. La subsolación de suelos arcillosos en estado húmedo crea un hueco donde pasa la punta del subsolador sin aflojar el perfil o romper la capa compactada. (Ver Fig. 2.1.) que muestra la diferencia en el grado de aflojamiento del suelo con subsolador bajo condiciones húmedas y secas (Baber et al., 1993).

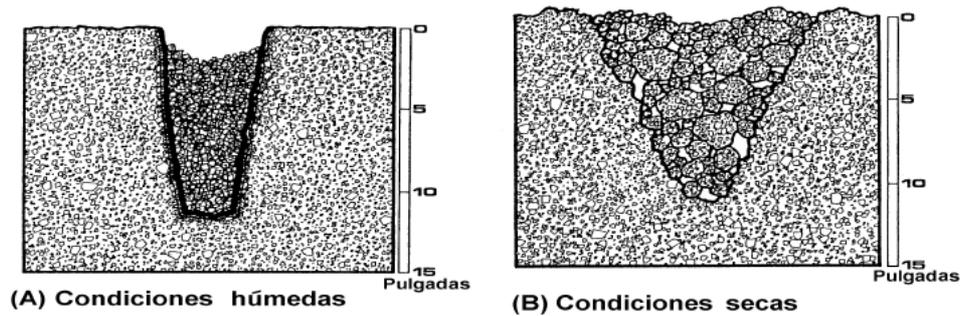


Fig. 2.1 Aflojamiento del suelo con subsolador bajo condiciones húmedas y secas.

Para cinceles existe una profundidad de trabajo crítica, en la cual no existe remoción lateral de suelo, y que ésta depende del ancho del implemento y de su ángulo de ataque, así como de la densidad y contenido de humedad del suelo. Para trabajar en profundidades mayores a la crítica, es recomendable el uso de aletas laterales en la punta del cincel, lo cual reduce también la resistencia específica, favorece el ancho de trabajo y la eficiencia de campo (McKyes, 1985).

El subsolador consta de tres o más brazos montados sobre una barra de herramientas. Los brazos deberían tener una inclinación vertical mayor de 25-30°, preferentemente de 45°, y es aconsejable que la altura sea regulable. (Ver Fig. 2.2. para ejemplos de los diferentes tipos de brazos). Las puntas de los brazos normalmente son de 1.5 pulgadas de ancho, y deben ser de fácil recalzado. La condición de la punta es muy importante y muchas veces la subsolación no da buenos resultados debido a la mala condición de las mismas (Baber et al, 1993).

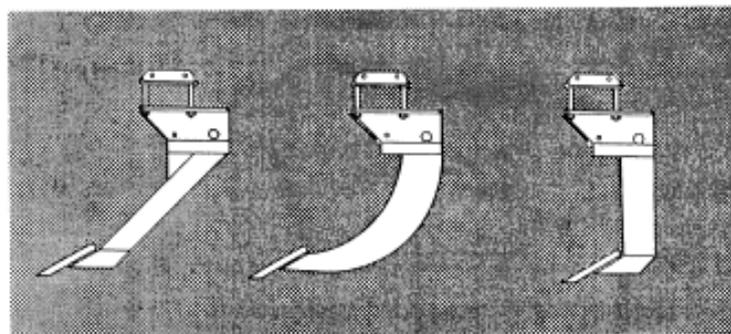


Fig. 2.2. Tipos de brazos del subsolador.

El número de brazos y el espaciado entre ellos dependerán de la potencia del tractor y de la profundidad de penetración deseada. Cuando el brazo del subsolador pasa a través del suelo, afloja un volumen de suelo que tiene una sección triangular (Fig. 2.3).

El ancho del área de aflojamiento en la superficie se aproxima a la profundidad de penetración; para asegurar que la capa compactada esté bien aflojada, la profundidad de penetración de los brazos debería igualar 1.5 veces la profundidad del límite inferior de la capa compactada. Para asegurar una buena superposición del aflojamiento en la parte superior y en la parte inferior, el espaciamiento entre los brazos no debe ser mayor que la profundidad de trabajo. La potencia requerida por cada brazo varía con el estado de compactación del suelo, con el tipo de subsolador y especialmente con el estado de la punta. Por lo general se requieren 20-30 HP/brazo (Baber et al, 1993).

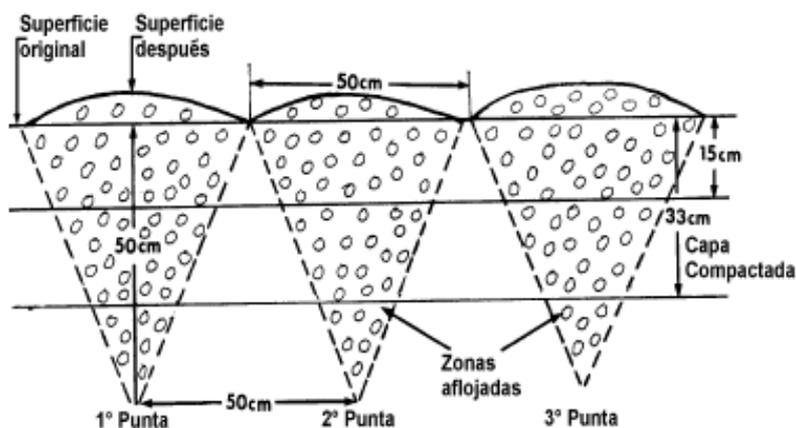


Fig. 2.3. Representación de las relaciones entre la profundidad de trabajo del subsolador, el ancho de aflojamiento, y el espaciamiento entre brazos.

2.2. EVALUACION DE IMPLEMENTOS DE LABRANZA

Es trascendental conocer los diferentes parámetros operativos de los implementos de labranza y su incidencia en el suelo con el fin de disminuir su impacto sobre el medio ambiente y especialmente sobre el suelo, con objeto de obtener cambios en la producción de los cultivos y mantener la calidad del suelo, he aquí la importancia de la evaluación de los implementos (Camacho et al, 2007).

El objetivo principal de las evaluaciones en los implementos es conocer los efectos que ocasionan los diferentes métodos de labranza sobre las propiedades físicas del suelo (densidad aparente, porosidad, resistencia a la penetración, entre otras) para saber los resultados favorables o no favorables mostrando efectos beneficiosos no beneficiosos para los cuales se ven reflejados directamente en el desarrollo del cultivo (Ohep et al., 1998).

Una evaluación involucra la medición del comportamiento de una maquina bajo condiciones agrícolas reales; 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), ya que las pruebas realizadas sobre condiciones ideales a veces no permite conseguir datos directamente relevantes a las condiciones agrícolas y dada la gran variedad de condiciones de trabajo y niveles de sofisticación de los implementos agrícolas, se ha dificultado la compilación de procedimientos de prueba de estos (Smith y Sims, 1990).

En una comparación que hicieron (Cadena et al., 2004) la labranza vertical (multiarado y vibrocultivador) con la labranza convencional (arado de discos y rastra de discos) en términos de la calidad y consumo de energía que los implementos desarrollan al labrar el suelo. Consideran que la labranza vertical son de menor costo para la preparación del suelo; pues el multiarado puede sustituir al arado de discos (labranza primaria) y para la labranza secundaria el vibrocultivador a la rastra de discos puesto que realiza las mismas labores pero de una mejor calidad traducidos en menor consumo de combustible por área, reducción en la densidad aparente, un mayor ancho de trabajo, menor esfuerzo unitario y distribución energética, tamaño de agregados óptimos y una menor inversión del suelo.

Chichester et al. (1985) evaluando sistemas de fertilización localizada mediante combinaciones de discos y cinceles, a velocidades de 4, 7 y 10 km h⁻¹, encontraron que la mayor remoción de suelo se presentó a una velocidad de 7 km h⁻¹, siendo tres veces mayor a 0,10 m de profundidad que a 0,05 m. Sin embargo, otros autores encontraron que la remoción del suelo y la fuerza horizontal son poco afectadas por variaciones de la velocidad, principalmente dentro del intervalo de operación en que normalmente se utilizan los cinceles y subsoladores (Lanças y Benez, 1988; Coelho, 1998; Rahman y Chen, 2001). Spoor y Godwin (1978) afirmaron que la movilización del suelo depende de la profundidad de trabajo, del tamaño del cincel (largo y ancho), además de la humedad y densidad del suelo.

La combinación de discos dobles y de cinceles escarificadores, se presentan como alternativas para prácticas de cultivo, ya que el comportamiento de la fuerza vertical facilitaría el corte de residuos en la superficie, además de permitir el manejo de capas compactadas a una mayor profundidad sin aumentar los requerimientos de potencia (Camacho y Magalhães, 2002).

Al evaluar 3 implementos de labranza primaria en sus resultados muestran que el arado de cincel rígido es energéticamente más eficiente para preparar el suelo, con una resistencia específica baja y una mayor área transversal de suelo disturbado (Camacho y Rodríguez, 2007).

Al estudiar diferentes conformaciones de herramientas de labranza profunda, determinaron un incremento del 47% de la área disturbada al agregar alas en la parte inferior de un subsolador convencional, y un incremento de sólo 17% de la área disturbada al trabajar con un subsolador convencional sin alas combinado con método previo de dientes rígidos y encontraron menor densidad aparente del suelo que la lograda con el equipo con alas (Di Prinzio et al. 1997).

2.3. MEDICIÓN DE FUERZA Y ENERGÍA

Para desarrollar tecnología de implementos que cada vez demanden una menor fuerza de las fuentes de potencia, es necesario estudiar ahora en forma integral todos los factores que se conoce influyen en la mencionada demanda. Entre los factores que inciden para que una herramienta de labranza requiera una menor o mayor fuerza de arrastre están, la humedad en el suelo al momento de la labor, el ángulo de inclinación entre la punta de la herramienta y el plano horizontal del suelo, el filo de la punta, el tipo de suelo, la profundidad y la velocidad de trabajo así como la geometría de las partes y aditamentos del implemento y la configuración cuando se trata de una combinación de herramientas como en la siembra directa (Spoor y Godwin 1990, Fielke 1996, Tong y Ballel 2006, Godwin y O'Dogherty, 2007).

El estudio de la demanda de energía en las operaciones requeridas por los cultivos, es una herramienta de planeación al considerar el costo-beneficio de cada uno, en este aspecto estudios del costo de la labranza basado en energía requerida es muy importante pues se puede determinar cuál es la más eficiente combinación entre tractor implemento (Serrano et al 2007).

El contenido de agua del suelo afecta los requerimientos de fuerza de tracción, el área de suelo disturbada, la profundidad de trabajo, el ancho de trabajo y la resistencia específica para todos los implementos estudiados (Camacho y Rodríguez, 2007).

La humedad del suelo es un factor que incide directamente en la fuerza de tracción y requerimiento de potencia en la preparación del suelo. Suelos secos presentan agregados con alta cohesión, siendo más alta en suelos arcillosos, requiriendo mayor fuerza de tracción para ser disturbados. La cohesión disminuye a medida que el contenido de agua aumenta, incrementándose entonces la adhesión de las partículas del suelo sobre la superficie de la herramienta y afectando la fuerza de tracción (Mouazen y Ramón, 2002).

La evaluación energética es un procedimiento de análisis que consiste en la identificación y medida de las cantidades de energía asociada a los productos y equipos que intervienen en la producción de un determinado bien (Chapman, 1974) y (Pimentel, 1980).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

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 la cantidad de energía requerida en función de la resistencia específica del suelo., que incorpora también la parte de simulación en base a datos históricos de rendimientos-diagnóstico-prescripción. La tercera etapa del proyecto está relacionada con equipos e instrumentos para la evaluación de un prototipo inteligente de labranza vertical bajo condiciones de campo, controlando la demanda de energía por el geo-posicionador en base a tres niveles de prescripción.

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

- Desarrollo de sensores de resistencia específica del suelo, 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 de 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 (GS+).
- Para el caso de los datos obtenidos con los sensores dinámicos de resistencia específica a la falla serán comparados con los obtenidos bajo condiciones de laboratorio, evaluándolos en dos sitios con diferentes condiciones.

Para la segunda fase, se construirá un banco de pruebas con actuadores de posición, instrumentados con sensores para registro en tiempo real de posición. Así mismo se implementara el control de posición inteligente, midiendo el tiempo de respuesta a los cambios dinámicos de posición. En esta fase también se construirá un prototipo de equipo de labranza vertical que permita variar en función de la resistencia específica del suelo y de la localización de las capas demandantes de energía, las profundidades de trabajo en forma independiente de los tandems de cinceles. El sistema será integrado por la parte virtual construida en Matlab e implementada mediante controles virtuales en ambiente de LAB View, de National Instruments, utilizando una tarjeta de control NI, con sensores de posición y geo posicionador.

Para la tercera fase, será la evaluación bajo condiciones de campo en dos sitios de alta productividad, registrando la aplicación de energía real en base a los mapas de prescripción y contratándolos con los datos históricos. Así como una validación de mapas de rendimiento bajo los dos sistemas. Para esta etapa se instrumentara un tractor,

con sistema de adquisición de datos, geo posicionador agrícola diferencial, sistema inteligente de control y registro de consumo de combustible.

3.1. DATOS GENERALES DEL IMPLEMENTO A REDISEÑAR

El prototipo a rediseñar es de tipo integral marca “BISON” de la empresa TECNOMECA AGRICOLA (ubicada en Aguascalientes), utilizando como referencia el modelo: MCC3/5/7, (fig. 3.1) con sus respectivos timones. Los datos de dimensiones se muestran en el cuadro (3.1)

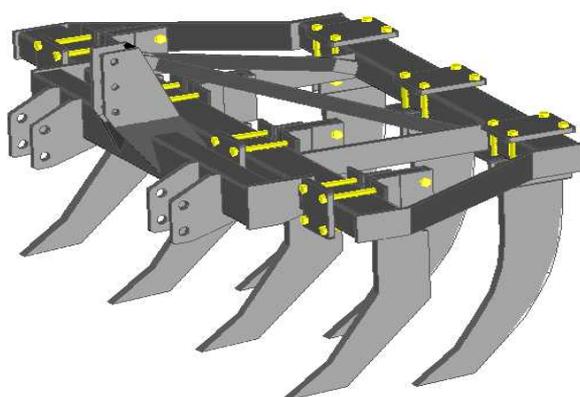


Fig. 3.1 Multicultivador MCC3/5/7 modificado.

CUADRO 3.1 ESPECIFICACIÓN DEL IMPLEMENTO

ESPECIFICACIONES											
Implemento	Ancho máximo de trabajo (m)	Ancho de trabajo (m)						Altura max. (punta al cuadro) (m)	ancho cuerpo (m)	ancho punta (m)	Ángulo en la punta
		Arreglo 1	Arreglo 2	Arreglo 3	Arreglo 4	Arreglo 7	Arreglo 8				
		a 30 (cm)	a 20 y 30 (cm)	a 30 (cm)	a20 y30 (cm)	a 30 (cm)	a20 y30 (cm)				
MCC	2.00	1.79	1.68	1.68	1.48	2.07	2.26	0.70	2.33	0.056	33°

3.2. MATERIALES

- ✓ Equipo de medición.
- ✓ Programa de diseño Solid Works.
- ✓ Subsolador MCC 3/5/7 modificado.

3.3. DISEÑO DE PROTOTIPO

El prototipo se diseño bajo los siguientes pasos:

- Se tomaron medidas de cada pieza en cada sub-ensamble del MCC 3/5/7 modificado.
- Se diseño la pieza en el softwork Solid Works.
- Ya terminado el diseño de cada pieza se hicieron los ensambles de cada sub-ensamble del prototipo.
- Posteriormente ya teniendo cada sub-ensamble se ensamblaron para tener nuestro prototipo final.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El prototipo rediseñado del MCC 3/5/7 cuenta con dos reguladores de profundidad, de los timones delanteros y traseros. Los timones delanteros son regulados mediante un sistema de gato de tornillo sin-fin; los timones traseros serán regulados mediante el sistema de paralelogramo, mediante actuadores hidráulicos, los cuales trabajaran en tres posiciones (30, 35 y 40 cm.).

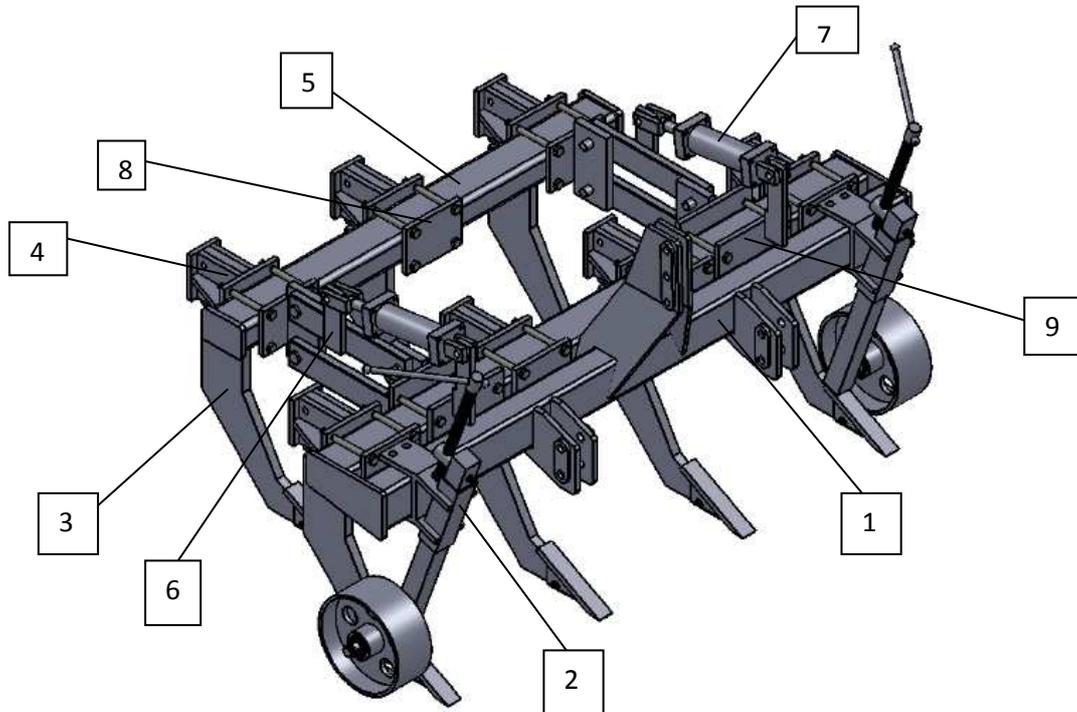


Fig. 4.1. Prototipo de labranza de precisión.

CUADRO 4.1 LISTADO DE MATERIALES DEL PROTOTIPO DE LABRANZA DE PRECISIÓN

PUNTO	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES	CANTIDAD
1	Chasis		1
2	Ensamble del gato sin-fín		2
3	Timón	Mismo al MCC 3/5/7	7
4	Cajón de timón	Mismo al MCC 3/5/7	7
5	Chasis trasero		1
6	Ensamble del articulado		2
7	Ensamble del gato hidráulico		2
8	Soporte frontal	Mismo al MCC 3/5/7	7
9	Soporte frontal del gato H		4

Ensamble del chasis delantero, el cual esta acotado a los puntos de enganche para el tractor, con sus soleras de refuerzo.

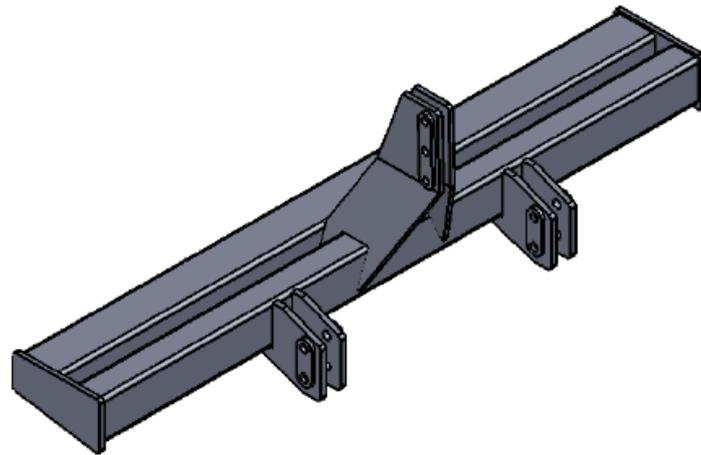


Fig. 4.2.Chasis.

Gato de tornillo sin-fin acoplado al prototipo con el propósito de regular la profundidad de los timones delanteros. Cuenta con un tornillo sin-fin para regular la altura de la barra principal y con ello permitir subir o bajar los timones delanteros a la profundidad de trabajo deseada.

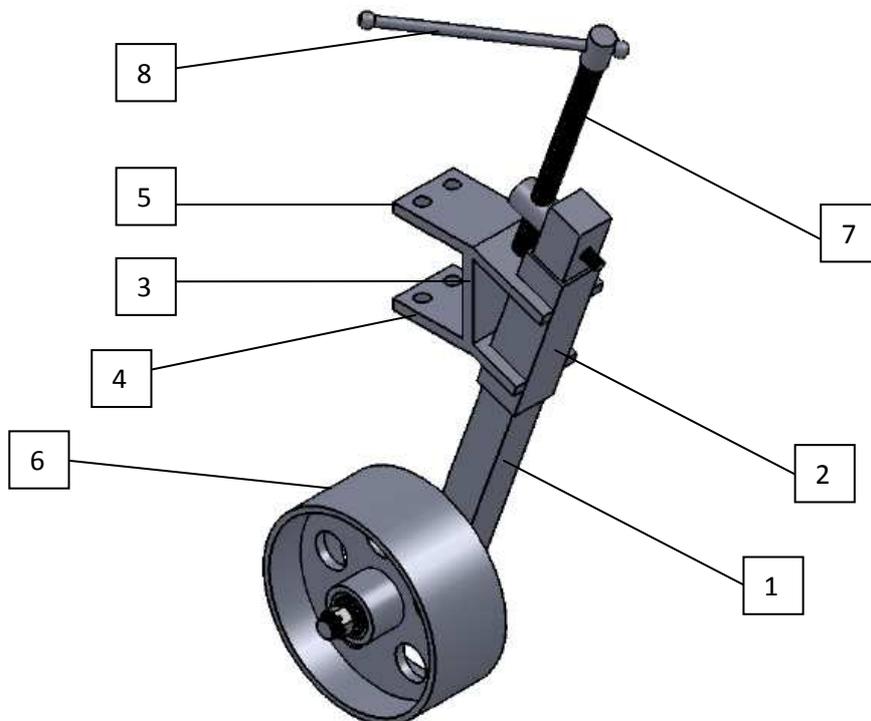


Fig. 4.3. Gato de tornillo sin-fin.

CUADRO (4.3) LISTADO DE MATERIALES DEL GATO DE TORNILLO SIN-FIN.

PUNTO	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES	CANTIDAD
1	Barra principal	De acuerdo al diseño Bison	2
2	Tubular	De acuerdo al diseño Bison	2
3	Placa central		2
4	Placa inferior		2
5	Placa superior		2
6	Rueda	De acuerdo al diseño Bison	2
7	Tornillo sin fin	De acuerdo al diseño Bison	2
8	Bastón	De acuerdo al diseño Bison	2

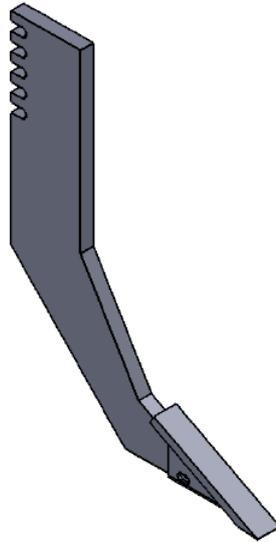


Fig. 4.4. Timón

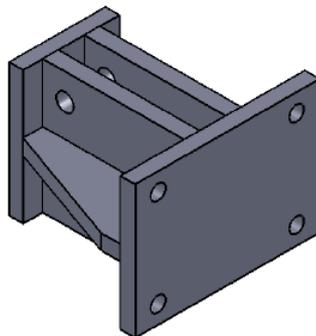


Fig. 4.5. Porta timón.

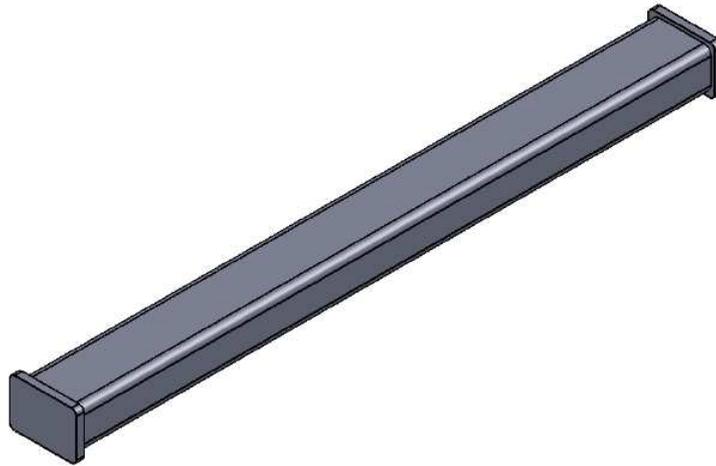


Fig. 4.6. Chasis trasero.

Sistema de articulado. El cual permitirá al prototipo a controlar las profundidades de los timones traseros las cuales se manejaran a 30, 35 y 40 cm. Este sistema se aplico para evitar que el ángulo de inclinación de los timones afectara para la penetración y ruptura del suelo.

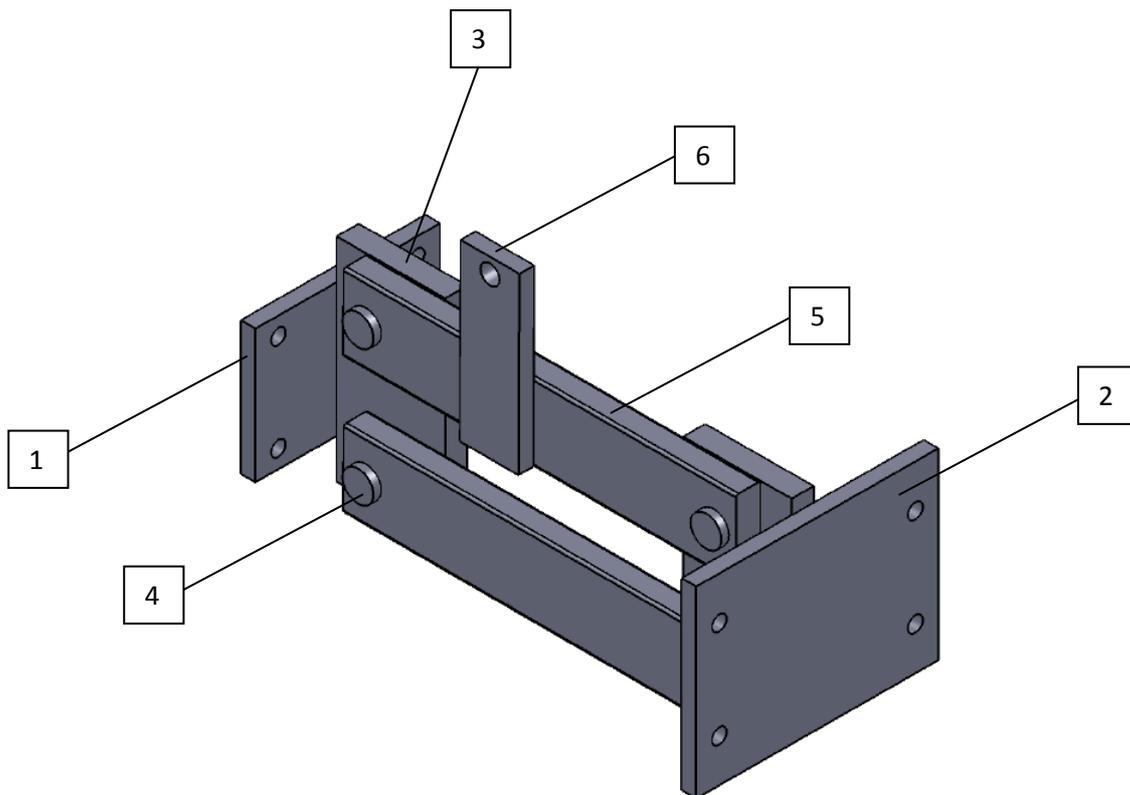


Fig. 4.7. Ensamble del articulado.

CUADRO (4.4) LISTADO DE MATERIALES DEL SISTEMA ARTICULADO.

PUNTO	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES	CANTIDAD
1	Placa de soporte 1	Ya incluido en el dibujo 8	
2	Placa de soporte 2	Incluidas en el ensamble 9	4
3	Placa principal		4
4	Pernos		8
5	Barra lateral		4
6	Barra de sosten		2

El sistema del gato hidráulico está ensamblado al sistema del articulado con el cual nos permite controlar la profundidad de trabajo deseado (30, 35 y 40 cm) de los timones traseros.

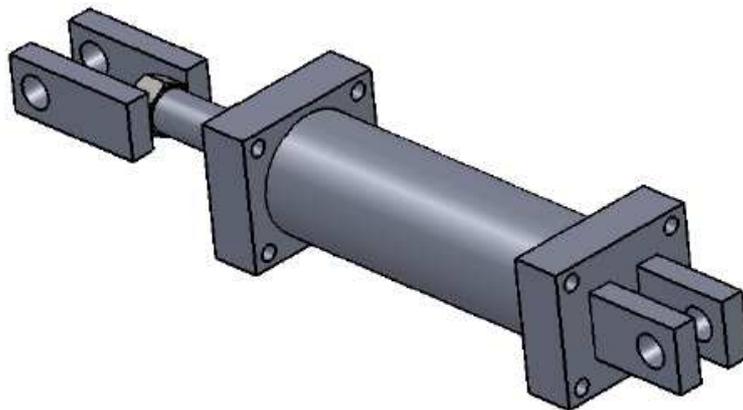


Fig. 4.8. Ensamble del gato hidráulico.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo al objetivo planteado se rediseñó un multicultivador (tomando de referencia el prototipo MCC 3/5/7) con control de profundidad en los cinces traseros y delanteros:

Los cinces delanteros se controlaran con gatos de tornillo sin-fin el cual nos permitirá regular la profundidad de trabajo.

Los cinces traseros se regularan con el sistema integrado bajo paralelogramos el cual está controlado por actuadores hidráulicos, este mecanismo nos permitirá regular la profundidad de trabajo a 30, 35 y 40 cm de profundidad.

Como recomendaciones para este trabajo, es necesario llevar a cabo la construcción de dicho diseño para probar en campo y obtener resultados.

VI. BIBLIOGRAFÍA

1. Agbede, T.M. 2006. Effect of tillage on soil properties and yam yield on an Alfisol in southwestern Nigeria. *Soil and Tillage Research* 86: 1-8.
2. Arvidsson, J., T. Keller, and K. Gustafsson. 2004. Specific draught for mouldboard plough, chisel plough and disc harrow at different water contents. *Soil and Tillage Research* 79: 221-231.
3. Ashrafizadeh, S.R and R.L, Kushwaha. 2003. Soil model in front of a tillage tool action –a review. CSAE/SCGR. Paper No. 03-210 Canadian Society of Agricultural Engineers, Meeting, 2003 Montreal, Quebec. Canada.
4. Cadena Zapata, M. W.B. Hoogmoed, U.D. Perdok. 2003. Field studies to assess the workable range of soils in the tropical zone of Veracruz, Mexico. *Soil&Tillage Research* 68: 83-92.
5. Cadena Zapata, M., T. Gaytán Muñoz y A. Zermeño González. 2004. Desempeño de implementos de labranza en términos de consumo de energía y calidad de trabajo. *Revista Agraria - Nueva Epoca*, 1(1): 58-65.
6. Camacho-Tamayo, J.H. y G.A. Rodríguez B. 2007. Evaluación de implementos de labranza a diferentes velocidades de operación y contenidos de agua en el suelo. *Agricultura Técnica* 67: 60-67.
7. Campos-Magaña Santos Gabriel, Martin Cadena Zapata, Sergio Jácome-Maldonado, Antonio Reynolds Chávez y Sergio Uribe Gómez 2004 Sistema integral de simulación de fuerza aplicado al desarrollo de herramientas de labranza de conservación. 2004. *terra* 22(2): 161-168. México.
8. 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

9. Cavalaris, C.K. y T.A. Gemptos.2002. Evaluation of four conservation tillage methods in the sugar beet crop. The CIGR E-Journal of Scientific Research and Development. Volume 4 Cornell University Library. ECommons@Cornell.
10. Comforti, P. y M. Giampietro. 1997. Fossil energy use in agriculture: an international comparison. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 65(3): 231-234.
11. Daberkow, S.; Fernandez-Cornejo, J. and M. Padgitt. 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.
12. Derspch, R. 2007. The no tillage revolution in South America. *FarmTechProceedings* 54-68
13. Dexter, A.R., N.R.A. Bird.2001. Methods for predicting the optimum and the range of water contents for tillage based on the water retention curve. *Soil&TillageResearch*. 57: 203-212
14. Fielke, J.M. 1996. Interactions of the cutting edge of tillage implements with soil. *Journal of AgriculturalEngineeringResearch* 63 (1): 61-71
15. Godwin, R.J.; Reynolds, A. J.; O'Dogherty; Al-Ghazal, A. A. 1993. A triaxialdinamometer for force and moment measurements on tillage implements. *J. Agric. Engng. Res.* 55:189-205Hai,
16. Godwin, R.J. and M.J. O`Dogherty, 2007. Integrated soil tillage prediction models. *Journal of Terramechanics*. 44(1): 3-14
17. Hamza, M.A., G.P. Riethmuller and W.K. Anderson. 2006. A new generation ripper to reduce the cost of removing soil compaction. *Proceedings of the 13th Agronomy Conference, 10-14 September 2006. Perth. Western Australia.*
18. Hoogmoed W.B, and R. Derspch. 1985. Chisel Ploughing as an alternative tillage system in Paraná Barzil. *Soil and TillageResearch* 6: 53-67

19. Hoogmoed, W.B. 1999 Tillage for soil and water conservation in the semiarid tropic. Wageningen Agricultural University. The Netherlands.
20. Hoogmoed, W.B., M. Cadena Zapata, U.D. Perdok. 2003. Laboratory assessment of the workable range of soils in the tropical zone of Veracruz, Mexico. *Soil & Tillage Research* 74: 169-178.
21. Kasisira, L.L. and H.L.M. du Plessis. 2006. Energy optimization for subsoilers in tandem in a sandy clay loam soil. *Soil and Tillage Research*, 86: 185-198.
22. Keller, T. J. Arvidsson, A.R. Dexter. 2007. Soil structure produced by tillage as affected by soil water content and the physical quality of soils. *Soil & Tillage Research* 92: 45-52.
23. Kichler, C.M. J.P. Fulton, R.L. Raper, W.C. Zech, T.P. McDonald, C.J. Brodbeck. 2007. Spatially Monitoring Tractor Performance to Evaluate Energy Requirements of Variable Depth Tillage and Implement Selection ASABE annual meeting 2007 paper 071028.
24. 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.
25. Manawa, S.I. 2009. Performance evaluation of tillage tines operating under different depths in a sandy clay loam soil. *Soil and Tillage Research* 103: 399-405.
26. 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.
27. Pimentel, D., S. Williamson, C.E. Alexander, O. Gonzalez-Pagan, C. Kontak, S.E. Mulkey. 2008. Reducing energy inputs in the US food system. *Hum Ecol* 36: 459-471

28. Serrano J.M., J.O. Peça, J. Marques da Silva, A. Pinheiro, M. Carvalho. 2007. Tractor energy requirements in disc harrow systems. *Biosystems Engineering*, 98(3): 286-296
29. Spoor, G. and R.J. Godwin 1990. Soil loosening requirements, implements and techniques. HGCA Research Review. No.19 London U.K.
30. Steiner, K.G. 1998 Conserving Natural Resources and Enhancing food security by adopting no tillage. TÖB Publication No. F-5/e GTZ. Echborn. Germany.
31. Szabo, B., F. Barnes, S. Sture, H.-Y. Ko. 1998. Effectiveness of Vibrating Bulldozer And Plow Blades On Draft Force Reduction. *Transactions of the ASAE* 41(2):283-290
32. Tabatabaeefar, A., H. Emamzadeh, M. GhasemiVarnamkhasti, R. Rahimizadeh and M. Karimi. 2009. Comparison of energy of tillage systems on wheat production. *Energy* 34 (1): 41-45
33. Tong, J and Z.M. Ballel 2006. Effect of the rake angle of chisel plough on soil cutting factors and power requirements: a computer simulation. *Soil and Tillage Research* 88: 55-64

vii. ANEXOS

