

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”



División de Ingeniería
Departamento de Maquinaria Agrícola

**DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA
DE TRES SISTEMAS DE LABRANZA EN UN SUELO
FRANCO-ARCILLOSO**

Por:

JORGE ASÍS ESTEVES

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Enero de 2013

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA

**DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA DE TRES
SISTEMAS DE LABRANZA EN UN SUELO FRANCO-ARCILLOSO**

POR:

JORGE ASÍS ESTEVES

TESIS

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

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Aprobado por el comité de tesis

Asesor principal



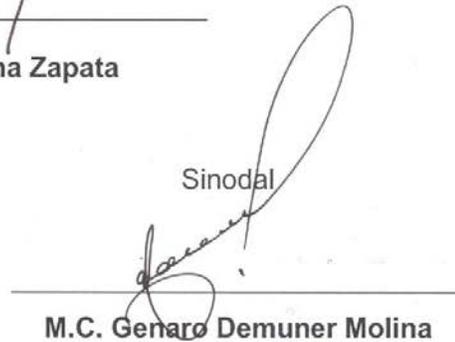
Dr. Martín Cadena Zapata

Sinodal



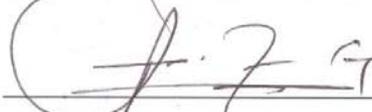
Dr. Santos G. Campos Magaña

Sinodal



M.C. Genaro Demuner Molina

Coordinador de la División de Ingeniería



MC. Luis Rodríguez Gutiérrez



Buenavista, Saltillo, Coahuila, Enero de 2013

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	vi
DEDICATORIAS.....	x
RESUMEN.....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes y descripción del problema	5
1.2 Objetivo.....	7
1.3 Hipótesis	7
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	8
2.1 Manejo de suelo con implementos para labranza.....	8
2.1.1 Funciones de la labranza	8
2.1.2 Tipos de labranza	9
2.2 Consumo de energía por los equipos de labranza.....	14
2.3 Determinación de fuerza y energía	16
2.4 Cálculo de energía y calidad de trabajo en la labranza	17
2.5 Importancia de los mejoradores de suelo	24
III. MATERIALES Y MÉTODOS	29
3.1 Descripción del área de estudio.....	29
3.2 Caracterización inicial del sitio experimental.....	29
3.2.1 Especificación del proyecto.....	30
3.3 Desempeño de la configuración tractor-implemento.....	30
3.3.1 Ancho de trabajo	30
3.3.2 Medición de la fuerza de tiro	31
3.3.3 Transductor	32
3.3.4 Amplificador y acondicionador de señal	32
3.3.5 Convertidor analógico.....	32
3.3.6 Computadora personal.....	33
3.3.7 Software	33
3.3.8 Equipo adicional	33

3.3.9 Procedimiento para registro de datos.....	33
3.4 Procesamiento y análisis de la información	35
3.5 Calibración octagonal verde (OV), octagonal amarillo (OA), octagonal rojo (OR) y dinamómetro de tiro (Axial)	36
3.5.1. Calibración del Octagonal de Energía (OE)	37
3.5.2 Calibración del sensor Octagonal Amarillo (OA)	39
3.5.3. Calibración del sensor Octagonal Rojo (OR).....	41
3.6 Equipos e instrumentos para evaluación en campo.....	43
3.6.1 Adquisición de datos	44
3.7 Análisis de datos.....	46
3.8 Análisis estadístico	46
3.8.1 El modelo lineal.....	47
IV. RESULTADOS.....	48
4.1 Pruebas de laboratorio con el marco de prueba integral	48
4.1.1 Pruebas integrales a 0.59 m de profundidad con cuatro sensores octagonales (OV, OA, OR y Energía).....	48
4.2 Resultados de la Fuerza Real empleada en los diferentes sistemas de labranza	51
4.2.1 Datos de labranza convencional L1 (arado) con tratamiento testigo (M0).....	51
4.2.2 Datos de labranza convencional L1 (arado) usando Micorriza (M1) como tratamiento.....	52
4.2.3 Datos de labranza convencional L1 (arado) utilizando Composta (M2) como tratamiento.....	53
4.2.4 Datos de labranza convencional L1 (arado) utilizando Algaenzimas (M3) como tratamiento	54
4.2.5 Datos de labranza convencional L1 (rastra) con tratamiento testigo (M0).....	55
4.2.6 Datos de labranza convencional L1 (rastra) usando Micorriza (M1) como tratamiento.....	56
4.2.7 Datos de labranza convencional L1 (rastra) utilizando Composta (M2) como tratamiento.....	57

4.2.8 Datos de labranza convencional L1 (rastra) utilizando Algaenzimas (M3) como tratamiento	58
4.2.9 Datos de labranza vertical L2 con tratamiento testigo (M0).....	59
4.2.10 Datos de labranza vertical L2 usando Micorriza (M1) como tratamiento	60
4.2.11 Datos de labranza vertical L2, utilizando Composta (M2) como tratamiento	61
4.2.12 Datos de labranza vertical L2, utilizando Algaenzimas (M3) como tratamiento	62
4.2.13 Datos de labranza mínima o cero L3 (sembradora de cuatro unidades) con tratamiento testigo (M0)	63
4.3 Resultados estadísticos para los sistemas de labranza utilizados y mejoradores	64
4.3.1 Análisis de varianza con respecto a sistemas de labranza	64
4.3.2 Prueba de diferencia media significativa (DMS)	65
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
VI. LITERATURA CITADA	68
VII. ANEXOS	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Labranza convencional.....	10
Figura 2. Labranza vertical con un arado de cuatro cinceles.....	11
Figura 3. Labranza cero o siembra directa.	13
Figura 4. Área típica de suelo disturbado con arado de cincel (izquierda) y arado de discos (derecha).	18
Figura 5. Representación gráfica de la transferencia de peso y fuerza de tiro respectivamente.....	20
Figura 6. Disposición del anillo octagonal para la medición de fuerzas en herramientas.....	22
Figura 7. Mejorador de suelo.....	25
Figura 8. Composta Miyaorganic®.....	26
Figura 9. Algaenzimas.....	27
Figura 10. Esquema del arreglo experimental.....	30
Figura 11. Medición del ancho de trabajo.....	31
Figura 12. Fuerza de arrastre del implemento (rastra de discos) acoplado al tractor.....	31
Figura 13. Tripié con plataforma para la suspensión de pesos.....	37
Figura 14. Calibración del sensor octagonal de energía, capacidad de 10 kN.	38
Figura 15. Línea ajustada del sensor octagonal de energía (OE) y su constante de calibración.....	39
Figura 16. Gráfica escalonada de calibración en serie de OA F_x y dinamómetro Axial en mV	39
Figura 17. Línea ajustada del sensor (OA) F_x y su constante de calibración.	41
Figura 18. Gráfica escalonada de calibración en serie del (OR) F_x y dinamómetro Axial en mV	41
Figura 19. Línea ajustada del sensor (OR) F_x y su constante de calibración.	43
Figura 20. Posición de los sensores para la prueba en campo.	48
Figura 21. Gráfica escalonada en respuesta a la fuerza aplicada al sensor de energía y el comportamiento de los demás sensores en el marco integral.	49
Figura 22. Constante de proporción entre las fuerzas promedio de los octogonales y la fuerza aplicada a 0.59 m de profundidad.....	51
Figura 23. Tres corridas con el arreglo L1M0 en el arado.....	52
Figura 24. Tres corridas con el arreglo L1M1 en el arado.....	53
Figura 25. Tres corridas con el arreglo L1M2 en el arado.....	54
Figura 26. Tres corridas con el arreglo L1M3 en el arado.....	55
Figura 27. Tres corridas con el arreglo L1M0 en la rastra.....	56
Figura 28. Tres corridas con el arreglo L1M1 en la rastra.....	57

Figura 29. Tres corridas con el arreglo L1M2 en la rastra.	58
Figura 30. Tres corridas con el arreglo L1M3 en la rastra.	59
Figura 31. Tres corridas con el arreglo L2M0 en los cinceles.	60
Figura 32. Tres corridas con el arreglo L2M1 en los cinceles.	61
Figura 33. Tres corridas con el arreglo L2M2 en los cinceles.	62
Figura 34. Tres corridas con el arreglo L2M3 en los cinceles.	63
Figura 35. Tres corridas con el arreglo L3M0 en la sembradora.	64

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Desempeño del tractor en el laboratorio bajo diferente porcentaje de carga.....	15
Cuadro 2. Resultados de fuerzas de tiro y transferencia de peso.....	20
Cuadro 3. Datos de fuerzas y momentos, realizadas con dinamómetro de enganche a los tres puntos del tractor.....	21
Cuadro 4. Comparación de medias de los parámetros estudiados; ensayo discos dobles y cinceles.	23
Cuadro 5. Datos de respuesta de los sensores octagonal de energía (mV).....	38
Cuadro 6. Datos de respuesta en <i>mV</i> de los sensores (OA) y Axial, además de la fuerza total aplicada.	40
Cuadro 7. Datos de respuesta en <i>mV</i> del (OR) <i>F_x</i> y dinamómetro Axial.	42
Cuadro 8. Valores de ajuste de las ganancias y voltaje de excitación antes de la obtención de datos para el DBK-43 ^a	45
Cuadro 9. Datos concentrados de las fuerzas obtenidas por los octagonales a una profundidad de 0.59 <i>m</i>	50
Cuadro 10. Fuerza Real empleado con el arreglo L1M0, con un arado de discos.	52
Cuadro 11. Fuerza Real empleado con el arreglo L1M1, con un arado de discos.	53
Cuadro 12. Fuerza Real empleado con el arreglo L1M2, con un arado de discos.	54
Cuadro 13. Fuerza Real empleado con el arreglo L1M3, con un arado de discos.	55
Cuadro 14. Fuerza Real empleado con el arreglo L1M0, con una rastra de discos.....	56
Cuadro 15. Fuerza Real empleado con el arreglo L1M1, con una rastra de discos.....	57
Cuadro 16. Fuerza Real empleado con el arreglo L1M2, con una rastra de discos.....	58
Cuadro 17. Fuerza Real empleado con el arreglo L1M3, con una rastra de discos.....	59
Cuadro 18. Fuerza Real empleado con el arreglo L2M0, con arado de subsuelo.	60
Cuadro 19. Fuerza Real empleado con el arreglo L2M1, con arado de subsuelo.	61
Cuadro 20. Fuerza Real empleado con el arreglo L2M2, con arado de subsuelo.	62
Cuadro 21. Fuerza Real empleado con el arreglo L2M3, con arado de subsuelo.	63
Cuadro 22. Fuerza Real empleado con el arreglo L3M0, con una sembradora.....	64
Cuadro 23. ANVA para energía entre sistemas de labranza y mejoradores orgánicos.	65
Cuadro 24. Medias de energía requerida por sistema de labranza.	65

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”** por brindarme la oportunidad de formarme como profesionalista y forjarme de maravillosos conocimientos que me fueron transmitidos por sus profesores.

Al **Dr. Martín Cadena Zapata**, quien me asesoró en esta proyecto de investigación, muchas gracias por su dedicación, confianza, enseñanza y amistad brindada a lo largo de mi estancia en esta maravillosa Universidad, mismos que me permitieron culminar con éxito esta tesis.

Al **Dr. Santos G. Campos Magaña**, por sus consejos y enseñanzas que me inculco a lo largo de la carrera y que me sirvieron de mucho para crecer como profesionalista.

Al **M.C. Genaro Demuner** por su asesoría, atención y observaciones brindadas durante la realización de este proyecto de tesis.

Al **M.C. Héctor Uriel Serna Fernández** por las observaciones que me hizo en clase y en este proyecto, que sirvieron para tener una buena superación.

Al **M.C. Tomás Gaytán Muñiz** por ofrecerme su gran amistad y apoyo incondicional a lo largo de mi estancia en esta Alma Mater.

A los diversos **maestros del Departamento de Maquinaria Agrícola**: Dr. Jesús R. Valenzuela García, M.C. Juan A. Guerrero Hernández, Ing. Juan Arredondo Valdez, Ing. Rosendo González Garza, Ing. Jorge A. Flores Berrueto, M.C. Mario A. Méndez Dorado, por todos sus conocimientos y enseñanzas que me transmitieron durante toda la carrera.

DEDICATORIAS

Esta tesis está dedicada de manera muy especial a aquellas personas que sin ellas no podría estar aquí y ser quien soy, cuando digo esto me refiero:

A mis **Padres:**

Sr. Luciano Asís García

Sra. Juana Esteves Cholula

Gracias señores padres por darme la vida, por traerme a este vida maravillosa, por aquellos regaños y consejos que me servirán para toda la vida, por ser mis guías, es por eso que hoy siento una gran satisfacción al escribirles estas sencillas palabras como una pequeña muestra del cariño y amor que les tengo.

A mis **Hermanos:**

Reyna Asís Esteves

Luciano Asís Esteves

Víctor M. Almaraz Asís

Sin su apoyo hubiera sido difícil terminar mis estudios, siempre estaré muy agradecido de ustedes, de antemano gracias por sus consejos que me transmitieron.

A mis **Abuelos:**

Eustolio Asís Martínez (q.e.p.d)

Toribia García Panzo

Por todo su cariño que han brindado y por ser un ejemplo de vida a seguir.

A :

Remedios Dorantes Jardón

Argelia Valero

Gracias por apoyarme en todo durante mis estudios.

RESUMEN

Se presentan los resultados de uso de energía en tres sistemas de labranza (Convencional (**LC**), Vertical (**LV**) y Cero (**NL**)) en un suelo franco arcilloso al que se agregaron tres mejoradores de suelo (Micorrizas, Algaenzimas, Composta Miyaorganic). Lo anterior con la finalidad de conocer en el corto, mediano y largo plazo, la forma en que influyen los sistemas de labranza en conjunto con los mejoradores de suelo en el requerimiento de energía. El arreglo experimental utilizado es de parcelas divididas.

Para la fuerza demandada por los implementos utilizados en la labranza, se utilizaron sensores integrales para medir las fuerzas de reacción del suelo (identificados como: rojo, amarillo y verde) previamente calibrados en laboratorio y sometidos a pruebas de campo para comparar el índice de confiabilidad dando un resultado del 99.8 %. El equipo utilizado para la adquisición de datos fue un Daq View 7. 11. 08 de la compañía IOtech, los datos obtenidos fueron analizados por medio del software Matlab 2012.

En base a los datos obtenidos en el estudio en un suelo franco-arcilloso, entre la L1 (labranza convencional) y L2 (labranza vertical) existe mínima diferencia de energía neta requerida para realizar una labor, registrando L1 una media de 365.7 MJ/ha, y L2 308.08 MJ/ha, mientras que la labranza cero presenta una media de 47.5 MJ/ha. Siendo la labranza convencional la que demanda mayor consumo de energía.

Palabras clave: *Consumo de energía, Sistemas de labranza, Mejoradores de suelo, Sensores octagonales, Daq View.*

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de labranza son importantes para la producción de los cultivos ya que buscan crear condiciones favorables para el buen desarrollo de los mismos, es decir, para la germinación de las semillas, el crecimiento de las raíces y de la planta, lo que al final se refleja en un buen rendimiento (FAO, 2000).

En los últimos años en los países desarrollados se ha incrementando el interés por el uso eficiente de la energía y la conservación de los recursos del suelo y agua, principalmente donde es escasa, lo anterior ha traído un cambio en actitudes con respecto a las prácticas de manejo de suelo y los residuos. Cada año se da más énfasis al uso de las labranzas mínima y a la preparación de la cama de siembra en la agricultura de secano. Los agricultores al utilizar labranzas mínimas o secundarias alteran las propiedades físicas del suelo en un intento por crear condiciones óptimas para la siembra, la germinación, el desarrollo y rendimiento del cultivo (FAO, 2000).

En la actualidad debido al uso excesivo e inadecuado de los implementos de labranza, se provoca la degradación de suelo y genera la baja rentabilidad de los cultivos; la búsqueda de soluciones a esta problemática ha conducido al estudio e implantación de sistemas de labranza de tipo conservacionista (no inversión del suelo), incluyendo a la labranza vertical, 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 (Camacho y Rodríguez, 2007).

Para disminuir tales impactos y para un ahorro adecuado de energía se implementa la labranza vertical, que es parte de la labranza de conservación y

ésta se puede realizar con implementos tales como los arados de cinceles, la cultivadora de campo, el vibro-cultivador y el multiarado. Utilizando un sistema de cinceles y subsoladores, es importante considerar el ángulo de ataque para así obtener bajos valores de fuerza de tracción y en consecuencia bajos valores en consumo de energía (Aluko y Seig, 2000), así como la menor resistencia específica (Magalhaes y Souza, 1990; Chaudhuri, 2001). Por otra parte, McKyes (1985) describe que para el trabajo con cinceles existe una profundidad crítica, en la cual no existe remoción lateral de suelo, y que esta depende del ancho de trabajo del implemento y de su ángulo de ataque, así como de la densidad y contenido de humedad del suelo. Para trabajar a profundidades mayores a la profundidad crítica, es recomendable el uso de alas laterales acopladas a los cinceles en la punta de ellos, lo cual reduce también la resistencia específica y favorece el ancho de trabajo y la eficiencia de campo.

Para los análisis anteriores, hasta el momento en nuestro país, no se cuenta con información acerca del desempeño, en términos de eficiencia de la demanda de fuerza de tiro de implementos agrícolas de labranza vertical. Por otra parte se desconoce la maquinaria e implementos más apropiados para los diferentes sistemas de siembra y tipos de suelo y cómo estos pueden incrementar la producción agrícola, a su vez, reducir los costos de producción y energía, optimizando sistemas de labranza de conservación y/o convencionales (Campos, 2000).

La labranza cero y vertical, han resultado ser las técnicas conservacionistas más utilizadas y difundidas, por lo que es necesario probar sus ventajas en cuanto a su retención de humedad lo que conlleva a un aumento entre la relación rendimiento-agua utilizado durante el ciclo de un cultivo (Hook y Gascho, 1998).

En México los registros del uso de los sistemas de labranza de conservación son muy escasos debido a que la mayoría de la superficie destinada a la agricultura se sigue preparando tradicionalmente con el sistema de labranza convencional; que consta en remover el suelo con un arado de discos, rastreo y siembra; lo que lleva a una degradación del suelo e inclusive bajos rendimientos en los cultivos (Mora-Gutiérrez *et al.*, 2001).

Las investigaciones con diferentes niveles de labranza realizados en el país se han limitado a evaluar la respuesta y comparación de resultados tecnológicos con diferentes implementos como lo son arado, rastra cinceles, discos cortadores de residuos, utilización de mejoradores de suelo orgánicos y/o la combinación de estos, midiendo algunos parámetros como el tamaño de estructura final, demanda de combustible, demanda de potencia, etc., (Cadena *et al.*, 2004).

En relación a la interacción de labranza y mejoradores de suelo, López *et al.*, (2000), menciona que las propiedades físicas del suelo se ven afectadas por diferentes coberturas de abonos orgánicos y labranza reducida pero sin afectar la densidad aparente y la humedad, los valores obtenidos para el rendimiento superan a los obtenidos en labranza convencional.

La combinación de prácticas de manejo de suelo como sistemas de labranza de conservación y fertilización orgánica ha incrementado los indicadores de calidad biológica del suelo en un corto tiempo, siendo esto una opción para su manejo sostenible (Miganjos *et al.*, 2006).

La labranza primaria es importante 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).

La labranza puede favorecer o disminuir el riesgo de degradación por erosión, con una alta proporción de agregados estables al agua y buena permeabilidad, la perturbación mecánica de los suelos para el establecimiento de los cultivos es probable que incremente el riesgo de erosión. Cuando la superficie del suelo es suave, sin rugosidad, con capas inferiores compactas, estructura masiva y no porosa, la labranza mecánica es probable que disminuya el riesgo de erosión del suelo (Hoogmoed, 1999).

Para las labores de establecimientos de cultivos, se requiere un gran consumo de energía en forma de combustible, este 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 costos (Steiner, 1998).

La reducción del uso de energía en los sistemas de producción agrícola 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 gastos de energía para bajar costos (Derspch, 2007).

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).

1.1 Antecedentes y descripción del problema

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 integral para el desarrollo de nuevas formas de implementos que demande menor consumo de energía (Campos 2000).

El transductor octagonal de anillo extendido para uso en estudios de labranza (Cook and Rabinowicz, 1954) se diseñó primeramente para monitorear las dos componentes de fuerzas y el momento en el plano de estas fuerzas de reacción del suelo. Backer y Col. (1981) utilizó seis celdas de carga montados en diferentes puntos dentro de un marco, una forma de medir las fuerzas horizontales, verticales y laterales. Otro caso, (Thomas Fontain 1991, citado por Bonifaz, 2012) 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. Sakurai (1996), 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.*, (2000) 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.

En el caso de implementos acoplados a la barra de tiro del tractor, la medición de 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 tres puntos del tractor, se utiliza un método sencillo para determinar la fuerza de tiro de estos, la cual consiste en tirar del tractor con el implemento, utilizando un segundo tractor y midiendo la fuerza requerida con un dinamómetro de tiro axial (Arcos, 1997).

La fuerza promedio con el implemento en posición de trabajo, menos la fuerza obtenida con el implemento levantado, es igual a 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.

Al-Jalil *et al.*, (2001), diseñaron y fabricaron un enganche de tres puntos capaz de medir tres fuerzas que actúan en el tractor-implemento en tres dimensiones, que ayudaría a diseñar herramientas de labranza y evaluar el funcionamiento del tractor.

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 (evaluaciones). El proceso de desarrollo y evaluación de herramientas de labranza bajo

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

Consumo de energía (kW-h Ha⁻¹): Con el aumento de la velocidad de labranza hay un aumento exponencial de la fuerza de tiro y por lo tanto de la energía necesaria. Esto se refleja en el consumo de combustible del tractor y así en los costos operativos. Por esta razón el aumento de velocidad no es la manera adecuada para aumentar el rendimiento de una operación de labranza (FAO, 2003).

1.2 Objetivo

Cuantificar el gasto de energía requerido en los sistemas de labranza convencional, vertical y cero, en un suelo franco arcilloso tratado con mejoradores orgánicos.

1.3 Hipótesis

Los sistemas de labranza de conservación (labranza vertical y labranza cero) requieren menor cantidad de energía para las labores; en combinación con la aplicación de mejoradores orgánicos ayuda a reducir el consumo de energía empleado en la labranza.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Manejo de suelo con implementos para labranza

2.1.1 Funciones de la labranza

La labranza es una actividad que modifica la estructura de la capa superior del suelo, por lo tanto existen efectos directos e indirectos que se logran con esta actividad, entre los cuales se encuentran el facilitar la producción de los cultivos, control de malezas, acondicionar la superficie del suelo para permitir una buena irrigación y una cosecha más fácil; además de facilitar la incorporación de materia orgánica, fertilizantes y plaguicidas entre otros (Hoogmoed, 1999).

Olson y Senjem (1996), definen a la labranza como la manipulación del suelo mediante la utilización de aperos que permiten la inversión del mismo con el fin de lograr las condiciones óptimas para el desarrollo de los cultivos.

La labranza de suelos en los climas semiáridos debe tener alta infiltración y capacidad de retención de agua, reducción de la evaporación, control de malezas, reducción de la velocidad de descomposición de la materia orgánica y control de la erosión del suelo. Los métodos requeridos para alcanzar estos objetivos difieren en algún grado para regiones con lluvias en invierno y verano (Krause *et al.*, 1984).

La labranza del suelo se hace con el propósito de alterar sus propiedades físicas, principalmente la densidad aparente; el hombre incorpora la labranza

cuando intenta controlar la vegetación natural con el fin de desarrollar especies de su interés (FAO^b, 2003).

Figuroa y Morales (1992) definen a la labranza como cualquier manipulación mecánica del suelo, que permita proporcionar y mantener condiciones óptimas para la germinación de la semilla y desarrollo de los cultivos.

Para Ortiz (1995) el laboreo del terreno es el conjunto de operaciones realizadas con equipos mecánicos, encaminadas a conseguir un mejor desarrollo de las semillas y de las plantas cultivadas.

Por su parte FIRA (1999), define a la labranza como una manipulación física del suelo para optimizar la germinación, emergencia de la semilla y establecimiento de las plantas.

2.1.2 Tipos de labranza

La labranza convencional o tradicional (Figura 1) es el laboreo del suelo anterior a la siembra con maquinas (arados) que cortan e invierten total o parcialmente los primeros 35 centímetros de suelo, el cual se afloja, aerea y mezcla, lo que facilita el ingreso de agua, la fijación de nutrientes, la reducción de plagas y la cobertura de superficie acelerando los procesos de degradación de la materia orgánica y aumentan los riesgos de erosión (CIENCIA, 2006).



Figura 1. Labranza convencional.

En general se asocia al término labranza convencional con la realización de laboreos agresivos, que mal utilizados por plazos no demasiado prolongados pueden afectar la estructura del suelo, especialmente en suelos de baja estabilidad y/o pendiente (INTA, 2001).

El laboreo convencional es una buena forma de lograr algunos objetivos de manejo, como por ejemplo control de malezas, control de algunas plagas y la mineralización de nutrientes (INTA, 2001).

Cuando ejercemos una labranza agresiva sobre el suelo incorporamos los residuos de cosecha se agiliza su descomposición y la absorción de la materia orgánica con la consecuente liberación de nitrógeno, nutrientes importantes y dióxido de carbono, que es uno de los gases responsables del efecto invernadero (INTA, 2001).

INTA (2001), manifiesta que las ventajas fundamentales de la labranza convencional son el control de malezas y algunas plagas, liberación de nutrientes, garantizar una rápida y uniforme emergencia del cultivo.

La característica negativa de la labranza primaria es que al suelo le falta una protección de rastrojos y queda casi desnudo, por lo tanto es susceptible a las pérdidas del suelo y agua debido a los procesos de erosión (FAO^a, 2003).

En este sistema de labranza la secuencia de operaciones desarrollada para producir una cosecha se puede separar en labranza primaria y labranza secundaria (New Holland, 2001).

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 cobertura de residuos de cosecha de más de 30 % sobre la superficie (FAO^b, 2000).

La principal característica de la labranza vertical (Figura 2) es que utiliza brazos equipados con puntas en lugar de discos cóncavos 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 (Baver *et al.*, 1993).



Figura 2. Labranza vertical con un arado de cuatro cinceles.

La labranza vertical sostiene mejor la productividad de los suelos debido a la presencia de los rastrojos en la superficie que protegen el suelo contra los procesos de erosión. Esta cobertura de rastrojos también impide la formación de costras superficiales que pueden provocar una baja emergencia de las plantas (FAO^b, 2003).

Los implementos de labranza vertical causan poca compactación, es decir, no forman una capa dura en el sub-suelo (piso de arado) que limite la profundización de las raíces. En cambio los discos de labranza convencional ocasionan capas duras (FAO^b, 2003).

En la labranza vertical no se invierte el suelo, se presenta menos descomposición de la materia orgánica y menos pérdida de humedad, que es muy importante antes de la siembra. La eficacia operativa del sistema de labranza vertical es más alta que la de labranza convencional, sobre todo debido a que los implementos trabajan a una mayor velocidad y tienen mayor ancho de trabajo (FAO^b, 2003).

En la labranza cero o siembra directa (Figura 3) no se laborea el suelo sino que se siembra directamente depositando la semilla en un corte vertical de pocos centímetros que se realiza con una cuchilla circular o zapata de corte. Una rueda compacta la semilla en el surco de siembra para permitir su contacto con el suelo húmedo. Esta técnica exige controlar las malezas con herbicidas antes de la siembra. Es el mejor sistema para evitar la erosión del suelo. Su mayor restricción radica en el uso de sustancias químicas que pueden contaminar los mantos freáticos (CIENCIA, 2006).



Figura 3. Labranza cero o siembra directa.

FAO (2004) manifiesta que la labranza cero es un conjunto de técnicas utilizadas en la agricultura de conservación con el fin de mejorar y hacer sostenible la producción agrícola. Básicamente consiste en mantener una cubierta orgánica permanente o semipermanente del suelo para protegerlo de las inclemencias del tiempo y permitir que los microorganismos se ocupen de mantener el equilibrio de los elementos nutritivos, procesos naturales que el arado mecánico perjudica. Aparte de la labranza cero, otros elementos importantes de la agricultura de conservación son la siembra directa, así como una rotación de cultivos para evitar enfermedades y plagas.

MEDIO AMBIENTE (2005), manifiesta que labranza cero es no remover el suelo en ningún momento; solamente, mediante sembradoras especiales las cuales preparan una mínima capa para la semilla en la línea de siembra. En la misma operación, se pueden incorporar fertilizantes. El control de malezas se realiza mediante herbicidas.

Al no remover el suelo este recupera sus propiedades naturales de ir descomponiendo los restos orgánicos de arriba hacia abajo; por lo que mejora

significativamente sus condiciones físicas, químicas y biológicas; reduciendo a niveles mínimos la erosión (MEDIO AMBIENTE, 2005).

MEDIO AMBIENTE (2005) manifiesta que las ventajas de la labranza cero son que se mantienen altos niveles de materia orgánica en el suelo, disminuye la erosión por lluvia o viento, reduce la pérdida y mejora la infiltración del agua, y modera las temperaturas, disminuye la compactación por el paso de maquinaria. Las desventajas son que al comienzo de su implementación el suelo requiere de dos o tres años para adaptarse; por lo que los rendimientos suelen disminuir en ese periodo e incrementar los costos de control con herbicidas.

2.2 Consumo de energía por los equipos de labranza

Estudios relacionados con el uso de energía señalan la ubicación de puntos óptimos de referencia del estado de humedad en el suelo en los cuales las labores de aradura y rastreo demandaron una menor inversión de energía. La relevancia de éstos puntos estriba en que conociendo la curva de retención de humedad de suelos arcillosos y francos, se puede ubicar los rangos de contenido de humedad a la cual se obtendrá una mejor calidad de labor con mínimo de aplicación de energía asumiendo una correcta calibración y ajuste de la configuración tractor-implemento (Cadena, 2000).

Bell y Willcocks (1982), señalan que se pueden lograr ahorros sustanciales en el consumo de combustible en operaciones de campo que pueden ser ganadas tan solo por un buen manejo y organización.

Las labores de preparación de suelos son la que más demandan energía. Los estudios encaminados a encontrar propuestas al uso eficiente de la aplicación de la misma en los sistemas agrícolas consideran principalmente el uso de energía en labores para establecer los cultivos. Con el aumento de la velocidad de labranza hay un aumento exponencial de la fuerza de tiro y por lo tanto de la energía necesaria. Esto se refleja en el consumo de combustible del tractor y así en los costos operativos. (FAO^b, 2003).

Hughes (1981), menciona que para un ahorro de energía en la labor se debe realizar una configuración del equipo de manera que la potencia requerida por la herramienta sea cercana a la potencia nominal del tractor. Si el tractor se opera a un nivel de potencia por debajo de su potencia nominal, la eficiencia se reduce y el consumo de combustible será más alto como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Desempeño del tractor en el laboratorio bajo diferente porcentaje de carga.

Fracción de la carga	Velocidad del motor (rpm)	kW (hp)	Velocidad Km h ⁻¹ (mph)	Combustible lt hr ⁻¹ (gal h ⁻¹)	kW hr ⁻¹ (hp gal ⁻¹)
100 %	2100	116	9	43.8	2.65
		(155.6)	(5.56)	(11.58)	(13.44)
75 %	2100	94	9.3	37.6	2.5
		(125.7)	(5.8)	(9.94)	(12.64)
50 %	2100	63	9.6	29.9	2.1
		(84.8)	(5.92)	(7.9)	(10.72)
50 %	1420	63	9.5	23.2	2.7
		(84.2)	(5.9)	(6.14)	(13.71)

La selección del implemento para labranza tiene un efecto directo sobre energía requerida por hectárea, esta depende y varía con las condiciones locales del suelo y clima. Los arados de vertedera estorban más suelo que la mayoría de las herramientas de labranza, por lo general requieren más combustible por

hectárea. Los arados de cinceles requieren solamente de un 30 % y 40 % del combustible por hectárea que los arados de vertedera, dependiendo de la profundidad y velocidad (Hughes, 1981).

El tipo y las condiciones de suelo también tienen un efecto importante en la energía requerida para el laboreo. El tiro para la aradura puede variar de 14 a 140 kPa (2 a 20 psi) de corte de surco en suelos arenosos a arcillosos respectivamente. Las condiciones de suelo que afectan la energía requerida para la labranza incluyen el contenido de humedad, tratamientos anteriores y siembra de protección del suelo (Hughes, 1981).

2.3 Determinación de fuerza y energía

Las labores de preparación de suelos son los que demandan más energía, los estudios encaminados a encontrar propuestas al uso eficiente de la aplicación de la misma en los sistemas agrícolas consideran principalmente el uso de energía en labores para establecer cultivos (Hernández, 1995).

Ortiz (1990), en estudios recientes menciona que el consumo de combustible correspondiente a la agricultura alcanza entre el 30 y 45 % del total.

Otro aspecto referente al consumo de energía es la configuración de los tractores e implementos ya que es un factor importante para el ahorro de esta en la preparación del suelo; que estos sean ahorrativos o de bajo consumo no es una consecuencia exclusiva del diseño, el resultado también dependerá de la forma en que sea utilizado (FAO^b, 2003).

Según Renius (1994), menciona que la estrategia de un cambio adelante y el acelerador atrás para ahorrar combustible, es útil desde el punto de vista del motor y de la transmisión. Si el tractor se opera a un nivel de potencia debajo de su potencia, la eficiencia se reduce y el consumo de combustible será más alto de lo necesario.

Pacheco (2012) encontró que al utilizar cinceles frontales a cualquier profundidad ayudan a disminuir la fuerza demandada en la labranza vertical, esto cuando empleaba un arreglo de un cincel trasero más dos cinceles frontales a la misma profundidad.

2.4 Cálculo de energía y calidad de trabajo en la labranza

La producción agrícola depende en gran medida del consumo de energía, la aradura o rotura representa un consumo cerca del 30 al 35 % de los costos de producción y aproximadamente el 40 % de los gastos energéticos de los trabajos agrícolas. La aradura debe realizarse con la máxima calidad, con un estricto cumplimiento de las exigencias agro-técnicas y con el propósito de optimizar los gastos económicos y energéticos, debido a su gran influencia en los rendimientos y los costos de producción (González *et al.*, 2009).

Antes de realizar las pruebas en campo, se debe determinar la caracterización del sitio de evaluación, el porcentaje de las fracciones minerales (arcilla, limo, arena) que determinan la textura, por ciento de humedad con base a peso, densidad aparente (g cm^{-3}), porcentaje de cobertura vegetal, índice de rugosidad (cm), y resistencia a la penetración o cono (kPa). Éstas mediciones se hacen para determinar las condiciones en las que se encontraba antes de establecer el experimento (Cadena *et al.*, 2004).

Leiva y Hansen (1984) determinan que la siembra directa produce una mayor compactación del suelo. Este efecto se nota en mayor medida en el estrato de 5 a 20 centímetros (hasta 2.7 MPa). A su vez la labranza con reja compacta en orden medio (1.75 MPa) y en el estrato de 20 a 25 cm, mientras que la labranza con cincel no produce compactación (1.2 MPa).

Posteriormente se determina la configuración tractor-implemento donde las variables a medir son: (**Ad**) área de suelo disturbada (m^2), (**At**) el ancho de trabajo (m), (**Pt**) la profundidad de trabajo (m), (**Vt**) velocidad de trabajo ($km\ h^{-1}$), porcentaje de patinaje de las ruedas de tracción, consumo de combustible ($1\ ha^{-1}$), fuerza de tiro requerido (kN) por el implemento (Cadena *et al.*, 2004).

En la Figura 4 se muestra un claro ejemplo de la comparación del área de suelo disturbado para dos sistemas de labranza, determinado mediante un perfilometro de 30 varillas, distanciadas 50 mm entre una y otra.

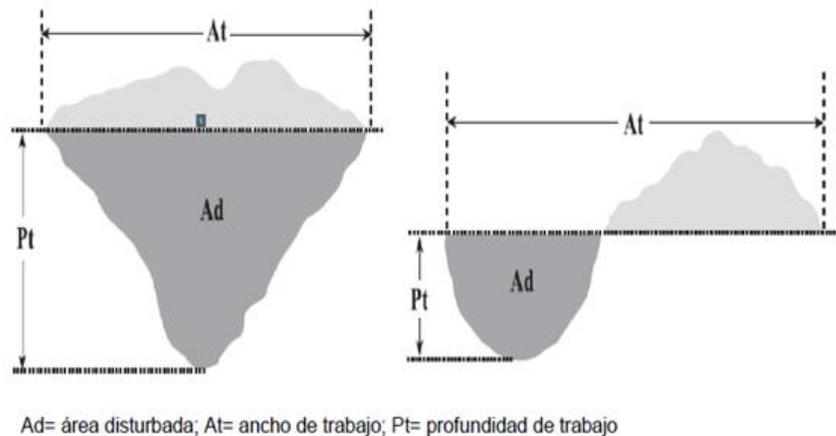


Figura 4. Área típica de suelo disturbado con arado de cincel (izquierda) y arado de discos (derecha).

Lickso y Harrison (1988), Campos (1995), describen la necesidad de un sistema de alta velocidad de muestreo para la reproducción de la fuerza de reacción del

suelo que incluye transductores de magnitudes de fuerzas y su localización, acondicionadores de señales y convertidores analógicos digitales. Lo que permite reproducir en términos de energía lo que sucede en la interacción suelo-herramienta.

Por su parte 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, al igual que Tong y Ballel (2006), señalan que se deben de hacer mediciones o cuantificaciones en campo para validar los modelos y/o verificar su confiabilidad para realizar aplicaciones en condiciones particulares.

Mojica (2000), describe que un transductor es un dispositivo que ha sido diseñado para reaccionar ante un estímulo físico y proporcionar una salida que puede ser un desplazamiento o por lo regular un voltaje, que posteriormente puede ser comparado o analizado dependiendo de los requerimientos del sistema donde se utiliza.

Hinojosa (2003), desarrollo dos transductores empleando galgas extensiométricas capaces de medir la fuerza requerida al evaluar diferentes implementos con un sistema de adquisición de datos en tiempo real, el cual podía graficar el comportamiento de las fuerzas durante la labor (Figura 5), para interpretarlas, analizarlas y poder llegar a los resultados de la prueba como se muestra en el Cuadro 2.

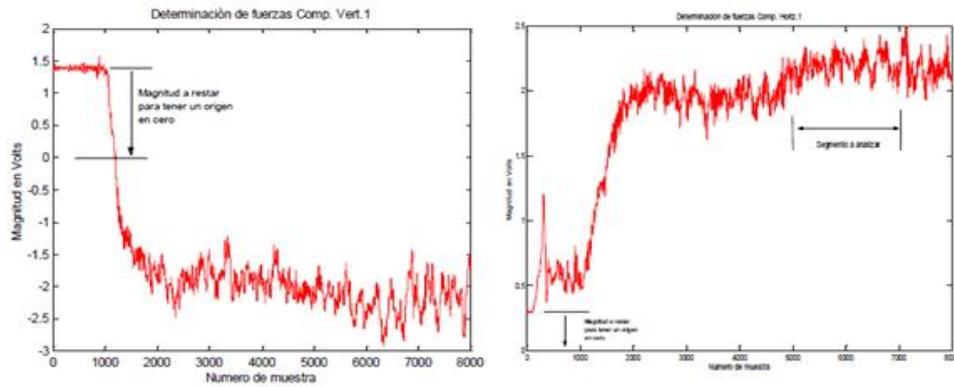


Figura 5. Representación gráfica de la transferencia de peso y fuerza de tiro respectivamente.

Cuadro 2. Resultados de fuerzas de tiro y transferencia de peso.

Implementos	Prof. (cm)	Fuerza de tiro (kN)	Prof. (cm)	Transferencia de peso (kN)
Arado	30	168.826	30	232.147
Multiarado (1 cuerpo)	17	220.602	34	308.251
Multiarado (2 cuerpos)	15	235.965	21	385.213
Rastra	-	5.387	-	17.046
Cultivadora	-	4.76	-	4.837
vibrocultivador	-	9.845	-	16.458

Fuente: Hinoiosa. 2003

Mientras que investigaciones realizadas por Garner *et al.*, (1988), con pruebas realizadas utilizando un dinamómetro integrado al tractor tirando de un arado de cinceles, determinaron las magnitudes de las fuerzas y momentos a 30 y 43 cm de profundidad Cuadro 3.

Cuadro 3. Datos de fuerzas y momentos, realizadas con dinamómetro de enganche a los tres puntos del tractor.

Profundidad	Fuerza de tiro (kN)	Fuerza Y (kN)	Momento(kN m)
0.3 m	14.3	-3.175	7.805
0.43 m	27.675	-9.125	15.99

Fuente: Garner et al. (1988)

Por otra parte Camacho y Magalhaes (2002) para el análisis de las fuerzas horizontal (F_h) y vertical (F_v), utilizaron un anillo octagonal extendido, diseñado y construido por Magalhaes y Souza (1990).

Este anillo octagonal consta de ocho galgas extenciométricas y la medición de las fuerzas se realiza en forma directa a través del momento resultante que actúa sobre el anillo octagonal, considerando que tanto las fuerzas horizontal y vertical actúan en un punto dado de la herramienta (Figura 6).

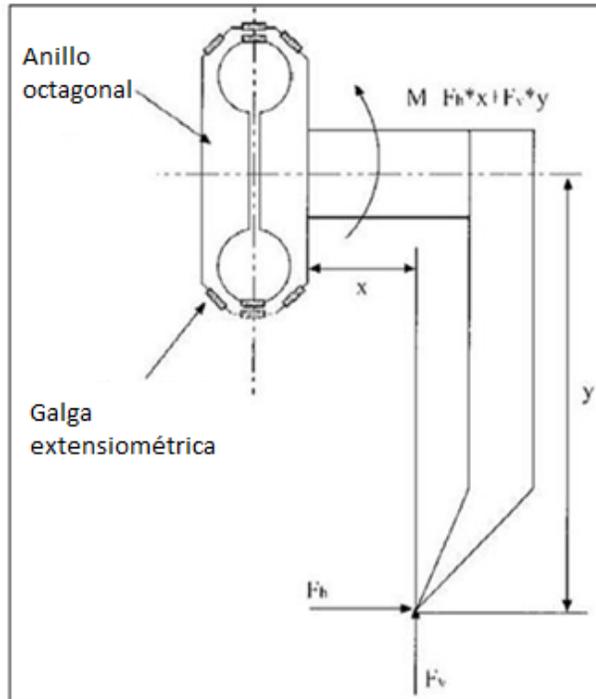


Figura 6. Disposición del anillo octogonal para la medición de fuerzas en herramientas.

El anillo octogonal se encontraba conectado al acondicionador de señales (Spider8, Hottinger Baldwin, Messtechnik, Dinamarca), para realizar la adquisición de datos a una tasa de 400 Hertz.

En el Cuadro 4 se muestran los resultados medios obtenidos para los parámetros evaluados en cada tratamiento del estudio realizado por Camacho y Magalhaes (2002).

Cuadro 4. Comparación de medias de los parámetros estudiados; ensayo discos dobles y cincelos.

Tratamiento	Parámetro				
	F _h , kN	F _v , kN	A _m , m ²	P _t , m	R _E , kPa
Dd	0,73 d	1,17 a	0,0046 c	0,078 c	166,39 a
Cc	1,30 cd	-0,99 bc	0,0385ab	0,200 b	34,06 b
Ce	2,35 ab	-1,69 cd	0,0545 a	0,266 a	44,50 b
DdCc	1,83 bc	0,45 a	0,0290 b	0,184 b	67,87 b
DdCe	2,09 abc	0,05 ab	0,0515 a	0,281 a	41,61 b
DdCcCe	2,39 ab	-0,03 ab	0,0491 a	0,288 a	49,18 b
CcCe	2,99 a	-2,82 d	0,0473 a	0,276 a	64,02 b
CV, %	21,3	-98,9	19,3	10,9	38,3

Fuente: Camacho y Magalhães, 2002

Valores seguidos de letras distintas en cada columna indican diferencias significativas, según prueba de Tukey ($P < 0.05$). **Dd**: disco doble; **Cc**: cincel corto; **Ce**: cincel escarificador; **DdCc**: disco doble y cincel corto; **DdCe**: disco doble y cincel escarificador; **DdCcCe**: disco doble, cincel corto, y cincel escarificador; **CcCe**: cincel corto y cincel escarificador. **F_h**: fuerza horizontal; **F_v**: fuerza vertical; **A_m**: área disturbada; **P_t**: profundidad de trabajo; **R_E**: resistencia específica; **CV**: coeficiente de variación.

Cadena *et al.*, (2004), menciona que lo que no se debe dejar pasar es la relación consumo de combustible y potencia que como indicadores de energía son esenciales. Una relación polinomial de segundo orden predice la potencia a la toma de fuerza obtenida con el consumo de combustible. La relación está representada por: ($y = -15.8 + 9.6x - 0.5x^2$), con un coeficiente $r = 0.99$ para una velocidad del motor de 1500 rpm y por: ($y = -20.3 + 11x - 0.6x^2$), con un

coeficiente $r = 0.99$, para una velocidad de 1600 rpm. Estas relaciones se utilizaron para controlar la potencia total entregada por el tractor en campo de acuerdo con el consumo de combustible, como se describió anteriormente.

Se debe tomar en cuenta la calidad y energía en la operación de los implementos, éstos se determina, para evaluar la calidad de los resultados de las labores analizando las variables de densidad del suelo después de la labor (g cm^{-3}), diámetro medio de agregados (mm) e índice de rugosidad del suelo (cm). Asimismo se incluyeron el índice energético (ml m^{-3}) para el manejo de suelo y esfuerzo unitario a la falla (kPa), lo que permitió comparar los implementos en términos de energía por volumen de suelo labrado (Cadena *et al.*, 2004).

2.5 Importancia de los mejoradores de suelo

Díaz y Col (2001), en estudios realizados obtuvieron que la inoculación combinada de micorrizas vesículo arbusculares del Género *Glomus* con *Azospirillum sp* en dos aplicaciones (en siembra y a los 30 días) manifestó los mejores resultados en cuanto a rendimiento en el cultivo de la habichuela en condiciones de organopónico.

El uso de los mejoradores de suelo mantiene una buena estabilidad de agregados que permiten la retención del carbono por más tiempo en el suelo, disminuyendo estas emisiones a la atmósfera. También los agregados estables mantienen una buena estructura y porosidad (Cooperband, 2002; Bronick y Lal, 2005). El uso de mejoradores de suelo puede ser una buena alternativa para disminuir el uso de energía o sustituir el laboreo mecánico para obtener una buena estructura del suelo, capturar y mantener carbono en el mismo por más tiempo evitando el aumento de su flujo a la atmósfera (Figura 7).



Figura 7. Mejorador de suelo.

La bibliografía en general considera al *Azospirillum* como uno de los géneros de rizo-bacterias promotoras del crecimiento vegetal más estudiados en la actualidad debido a su capacidad de mejorar significativamente el crecimiento y desarrollo, así como el rendimiento de numerosas especies vegetales de interés agrícola (Bashan *et al.*, 2004).

El interés agronómico de las micorrizas radica en la capacidad de las hifas externas de las raíces infectadas para absorber nutrientes del suelo y trasportarlos a la parte aérea de las plantas, su efecto repercute tanto en nutrientes móviles y de baja movilidad como cobre y zinc (Alarcón y Ferrara-Cerrato, 2000).

El beneficio que brinda la asociación hongo-planta es en el crecimiento e incremento de las posibilidades de la toma de nutrientes por las plantas en los bajos niveles de fósforo asimilable o alta capacidad de fijación de este elemento en el suelo, la alta velocidad en los procesos de fijación en el suelo y sus respectivas pérdidas (Alarcón *et al.*, 1988).

Hernández (2005), reporta que los estudios realizados en el rancho “La Providencia”, localizado en el municipio de San Nicolás Buenos Aires en el

estado de Puebla, concluye que con la aplicación de composta Miyaorganic[®] cambian las características físico-químicas del suelo; disminuyéndose la densidad aparente (Da) y la conductividad eléctrica (CE), en algunos casos se incrementaron algunas propiedades como la conductividad hidráulica, pH, nitrógeno y capacidad de intercambio Catiónico (CIC).

Martill (2005), en investigaciones realizadas en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro concluyó que no se puede asegurar que la incorporación de la composta Miyaorganic[®] contribuye o no al acondicionamiento del suelo durante el desarrollo del experimento para la reducción de la labranza. Para el caso de la densidad aparente (Da) determinó que se presentó una disminución por efecto de la aplicación de la composta de manera superficial. Además de considerar que el producto es fuente de energía orgánica con alto grado de descomposición que permite ver efectos inmediatos (Figura 8).



Figura 8. Composta Miyaorganic[®].

Nieto *et al.*, (2002), concluye que la aplicación de composta en una dosis de 50 ton ha⁻¹ para fines de bio-remediación de suelos agrícolas, resulta ser la más adecuada debido a que mejora las condiciones físicas del suelo, principalmente en la retención de humedad; una de las variables de mayor importancia en las zonas áridas.

Canales (1998), reporta que de los estudios realizados en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y de las pruebas de campo llevadas a cabo con agricultores cooperantes, concluye que se han alcanzado rendimientos extras de 1 a 3 ton ha⁻¹ de maíz, trigo y arroz, cuando se le han aplicado de 1 a 3 litros de Algaenzimas[®] que es un extracto de algas marinas hecho en México (Figura 9).



Figura 9. Algaenzimas.

Según Villareal (2001), de los extractos de algas (Algaenzimas), ha separado cuatro grupos de microorganismos, tales como fijadores de nitrógenos, halófilos, hongos, levaduras y mesofílicos, mismos que han logrado propagar y están en estudio, así como su acción-efectos en el suelo y planta; probablemente los microorganismos halófilos tomen las sales de sodio y disminuyan la cantidad de sodio en la solución del área que ocupan las raíces. Aitken y Senn (1965), Blaine *et al.*, (1990), Blunden (1973) y Burns (1978), mencionan que los derivados de algas mejoran el suelo. Nicolás (1995), reporta incremento en la materia orgánica.

Canales (1997 y 1998) considera que el pH del suelo se ajusta, esto es debido a que las enzimas de las algas provocan en el suelo reacciones de hidrólisis enzimáticas catalíticas reversibles. Al descomponer la materia orgánica y los carbonatos, libera el anhídrido carbónico formando poros, mismos, que se forman también al coagular las arcillas sílicas, descompactándolo por completo.

Es así como se logra el mejoramiento físico, químico y biológico del suelo, haciendo del mismo un medio propicio para que los micro-organismos, lombrices y demás fauna pequeña se desarrollen mejor.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

El presente trabajo es un proyecto a largo plazo (al menos 6 años) en cuál se está llevando a cabo dentro del campo experimental conocido como “El Bajío” ubicado en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), la cual se encuentra situado en la ex-hacienda de Buenavista, localizada a siete kilómetros al sur de la ciudad de Saltillo, Coahuila, México. Las coordenadas geográficas que la delimitan son: 25° 23' 42" de latitud Norte y 100° 59' 57" de longitud Oeste con una altitud de 1743 metros sobre el nivel del mar (msnm). De acuerdo a la clasificación climática de Koppen, modificada por García (1973), el clima de Buenavista se expresa bajo la fórmula: $BS_0kx'(w)(e')$, que significa seco-árido, templado con verano fresco largo, con régimen de lluvias escasas todo el año tendiendo a llover más en el verano y clima extremo. La temperatura media anual es de 16.9 °C, con una precipitación media anual de 435 mm, la evaporación media anual oscila entre los 1956 mm. Los vientos predominantes tienen una dirección noreste, con velocidades de 25.5 km h⁻¹ (Servicio Meteorológico Nacional 2012).

3.2 Caracterización inicial del sitio experimental

Previo al establecimiento del experimento, se determinaron las condiciones iniciales para referencia en cuanto a sus propiedades físicas tanto en la superficie como en el perfil del suelo midiendo y calculando varios factores, los cuales se pretenden que en un largo plazo lleguen a modificarse para que puedan influenciar en las variables de estudio (la cantidad de energía que se emplea para cada sistema de labranza y ver donde existe ahorro de la misma).

3.2.1 Especificación del proyecto

La distribución de parcelas experimentales utilizada se definió como bloques al azar con arreglo factorial A y B, haciendo interactuar tres sistemas de labranza (convencional, vertical y cero), mejoradores orgánicos de suelo (Composta, Micorriza, Algaenzimas y un Testigo); se utilizó un cultivo de avena forrajera (*Avena Sativa*) durante el ciclo otoño-invierno 2011-2012.

Sistema de labranza, mediciones y análisis

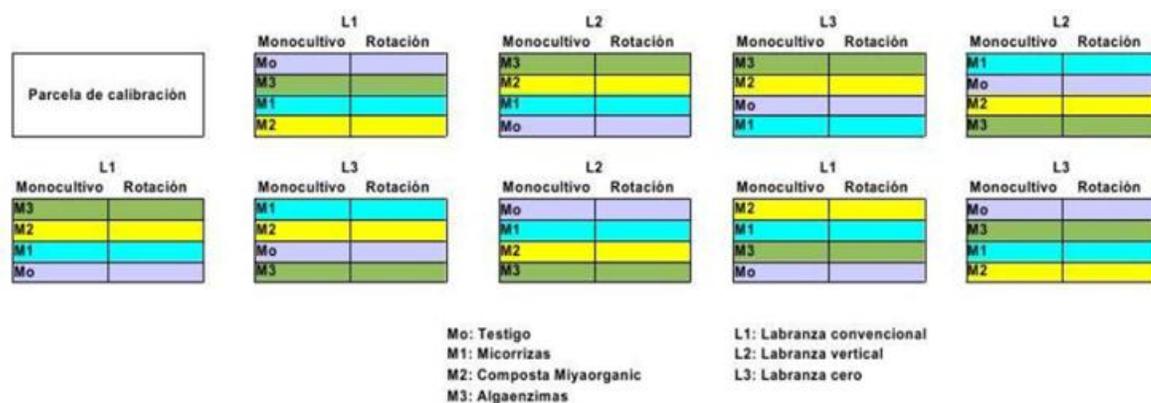


Figura 10. Esquema del arreglo experimental.

3.3 Desempeño de la configuración tractor-implemento

3.3.1 Ancho de trabajo

El ancho de trabajo (metros) se determinó al final de cada operación del equipo, midiendo el ancho del área trabajada durante la prueba y dividiendo entre el número de corridas del implemento (Figura 11).



Figura 11. Medición del ancho de trabajo.

3.3.2 Medición de la fuerza de tiro

Para determinar la fuerza de arrastre que demandan los implementos se utilizó un dinamómetro de tiro con capacidad de 40 kN, acoplado a la parte delantera del tractor en el cual va montado el implemento, otro tractor debe jalar al primero junto con el implemento a través del dinamómetro como se observa en la Figura 12.



Figura 12. Fuerza de arrastre del implemento (rastra de discos) acoplado al tractor.

El tractor con el implemento no debe ejercer fuerza (transmisión en neutral) solo el que va al frente, esta operación se realiza con el implemento en la posición de trabajo y con el implemento arriba. Se toman las lecturas de la fuerza de tiro y el tiempo requerido para cubrir una distancia de la parcela. Para la obtención de los datos se empleó un sistema de conversión analógica digital (Moo, 1999).

3.3.3 Transductor

El transductor se utiliza para determinar la fuerza de tiro del implemento, su propósito es convertir una señal física en una señal eléctrica.

1. Transductor dinamómetro axial
2. Transductor dinamómetro de tensión
3. Amplificador- acondicionador (DBK-16)
4. Convertidos analógico digital
5. Computadora personal

3.3.4 Amplificador y acondicionador de señal

Este elemento consiste en una tarjeta DBK-16 con una ganancia de 10x a 1250x, fabricado por logitech, Inc., usada para amplificar la señal del transductor y proporcionar una salida estandarizada de voltaje para así poder enviarla a un convertidor analógico-digital. Provee además el voltaje de excitación al transductor en un rango de 1-10 V y 100 mA.

3.3.5 Convertidor analógico

Se utilizó la unidad Daq-Book/200 de IOtech, Inc.; el cual es un módulo que se conecta al puerto paralelo de una computadora y que convierte los valores de voltaje en valores digitales para que puedan ser procesados por la computadora. Este módulo se compone de dos partes, la parte que procesa la información y un banco de baterías que alimenta a este. Este módulo tiene la capacidad de instrumentar 16 canales analógicos con una frecuencia de muestreo de 100 kHz.

3.3.6 Computadora personal

Una computadora de escritorio (Dell con un procesador Genuine Intel, memoria RAM de 512 MB, capacidad en Disco Duro de 34.1 GB).

3.3.7 Software

Se utilizó el programa Daq View 7.11.08 IOtech., programa para MS Windows, para la adquisición de datos a través del Daq View 200 y donde posteriormente se guardan en un archivo por medio de la computadora para después ser analizados. Los datos que se obtuvieron durante el proceso fueron analizados con los paquetes de MATLAB 2012, utilizando un programa de ANALISIS que contiene la transformada de Fourier para el análisis espectral de los datos.

3.3.8 Equipo adicional

Se utilizaron cables para realizar las conexiones entre los componentes electrónicos, así como fuentes de voltajes, reguladores de voltaje para realizar las prácticas en laboratorio; así también cargadores, pilas, convertidores de corrientes, entre otros.

3.3.9 Procedimiento para registro de datos

El procedimiento para el registro de la información en campo después del ajuste de sensores es la siguiente:

- i.* Al abrir el software DaqView, como se mencionó anteriormente, se le da nombre al archivo y carpeta destino, además de la frecuencia (30 datos por segundo y 7000 datos totales) de muestreo. Posteriormente en el menú “Data” dar un click seguido de “acquire”, lo que abre una ventana para empezar a adquirir los datos en *mV* enviados por los sensores.

- ii.* Antes de ejecutar “Manual trigger” tendremos que alinearnos con el tractor, implementos y transductor integral. Si se usa el dinamómetro Axial se deberá alinear los dos tractores que se requieren (norma para evaluación de arados NMX-O-182-SCFI-2003).

- iii.* Si se utiliza el dinamómetro Axial, se deberá iniciar con la puesta en marcha del primer tractor, considerando que el primero arrancará en la velocidad de segunda baja (o primera baja según se requiera y el segundo tractor deberá estar posicionado en neutral.

- iv.* Al poner en movimiento los dos tractores o uno (si el otro no es requerido) para la medición de fuerza de tiro, se espera a que el programa corra en promedio 400 datos para poder bajar el levante hidráulico del tractor en conjunto con el transductor integral y el implemento (cinceles), al transcurrir los 5000 datos de prueba o los que se requieran para la distancia de 100 m en estado dinámico. Es necesario considerar 500 datos antes de terminar los datos totales, para hacer el levante del hidráulico y que el sistema de adquisición concluya sin interrupciones hasta finalizar los registros de prueba. Esto se realizó en ocho repeticiones para cada arreglo espacial de cinceles.

- v.* Al término de cada repetición (100 metros de recorrido) el programa automáticamente guarda el archivo en la carpeta destino asignado. Se recomienda que al término de cada repetición se grafiquen los datos para corroborar la autenticidad de los datos grabados y el buen funcionamiento de los sensores.

3.4 Procesamiento y análisis de la información

La disposición de un equipo de adquisición de datos que registren los valores que se obtienen por medio de un transductor de fuerza y que éste los envíe a una computadora, hace posible almacenar en un archivo en disco los valores registrados durante la operación de la herramienta de labranza. Los datos obtenidos se descargan directamente en el archivo nombrado con anticipación y en la carpeta destino, se ejecutan con Excel, se grafican los datos.

Para datos de calibración se toma una lectura promedio por cada escalón de la gráfica, cada lectura por escalón en *mili Volts* corresponde a la suma de pesos aplicados cada 1000 lecturas programadas. Los *mili Volts* son proporcionales al peso. El peso multiplicado por la fuerza de gravedad obtenemos Newtons. Se procede en llevar los datos al programa de Minitab 2012 y se realiza una regresión lineal entre *mili Volts* obtenidos contra Newtons aplicados por escalón en ascenso y descenso y así obtenemos una ecuación lineal con una constante de calibración por cada sensor. La constante permite transformar directamente a unidades de fuerza (N), los datos obtenidos en laboratorio o en campo en *mili Volts* (Bonifaz, 2012).

Para datos de campo se abren los archivos en Excel (2007) y se grafican. Estos valores son absolutos en *mili Volts*. Los valores iniciales de la gráfica se llevan a valor cero, esto se hace, restando el primer valor de la columna a todos los valores de la misma columna y así tener una mayor percepción del comportamiento del transductor integral en su estado dinámico. Posteriormente se multiplican todos estos valores llevados a cero por la constante de calibración correspondiente.

Se realizó un programa por Mojica (2007) en el ambiente MATLAB 2012 que permite procesar toda la información a través de un análisis espectral en donde se puede conocer las fuerzas que se presentan durante la operación del implemento. Para poder procesar la información en este ambiente de MATLAB

2012 se guardan todos los archivos generados en cada una de las pruebas (ocho archivos por prueba) con la extensión .DAT, entre comillas y delimitado por tabulaciones, por ejemplo: "1CTACH.dat" y de esta manera poder "llamar" el archivo en nuestro programa y procesarlo.

Mojica (2007) menciona que la información que se obtiene del sistema de adquisición de datos es de tipo dinámico porque varía en el espacio tiempo y aleatorio porque no tiene un comportamiento definido originado por la heterogeneidad del suelo, ya que depende de las fuerzas en la interacción del suelo-implemento que son registrados durante la operación de la herramienta.

Para determinar la fuerza máxima que requiere cada herramienta o arreglo y dimensionar el dinamómetro o transductores de fuerza, es necesario conocer las magnitudes de las fuerzas de reacción del suelo y su frecuencia correspondiente, para lo cual, como se mencionó, se realiza un análisis espectral de datos obtenidos. Un espectro es típicamente presentado por una gráfica de la magnitud o valor relativo de un parámetro contra la frecuencia. Cada fenómeno físico, ya sea electromagnético, mecánico, hidráulico, térmico o de algún otro sistema tiene un espectro único asociado a él.

Para conocer esta información se selecciona el algoritmo de la transformada rápida de Fourier incluido en el programa de MATLAB 2012 antes mencionado, este algoritmo calcula el espectro de frecuencia de los datos obtenidos, y a partir de aquí se pueden localizar la mayor magnitud ocurrida y su correspondiente frecuencia (Mojica, 2000).

3.5 Calibración octagonal verde (OV), octagonal amarillo (OA), octagonal rojo (OR) y dinamómetro de tiro (Axial)

Los sensores octagonales (OV), (OA) y (OR) y son los sensores que se utilizaron para las pruebas realizadas en campo. Para su calibración se construyó una estructura (Figura 13) con una viga central en la parte superior y

que además consta de una plataforma sujeta a la viga para poder suspender cada uno de los sensores a calibrar y aplicarles pesos conocidos, en este caso, se utilizaron contrapesos de tractores de (1)25, (2)35 y (3)45 kg. sumando una carga total de 245 kg.

Los sensores octagonales fueron colocados en la estructura en serie, uno por uno con el dinamómetro de tiro Axial, unidos con la plataforma para agregar los pesos (a cada mil datos escaneados). La constante de cada octagonal consistió en multiplicar los pesos conocidos por la fuerza de gravedad (9.81 m/s^2) y así obtener la fuerza real en *Newtons* aplicados frecuentemente. La fuerza real es directamente proporcional a los *mili-Volts* de respuesta de cada sensor. Se realizó una regresión lineal entre la fuerza real aplicada (contrapesos) contra los *mili-Volts* en respuesta por cada sensor, obteniendo así una gráfica de línea ajustada y en consecuencia la constante de cada sensor.



Figura 13. Tripié con plataforma para la suspensión de pesos.

3.5.1. Calibración del Octagonal de Energía (OE)

La Figura 14 muestra la gráfica con cuatro escalones de calibración. La calibración se realizó con el OE contra el ON. Las pruebas se realizaron en el marco de calibración.

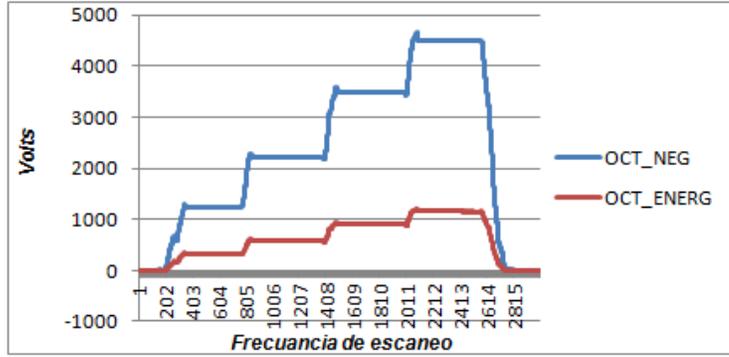


Figura 14. Calibración del sensor octagonal de energía, capacidad de 10 kN.

En el Cuadro 5 se muestran los datos de respuesta en *mV* del OE con capacidad de 10 kN contra los datos convertidos a unidades de fuerza (N) del ON.

Cuadro 5. Datos de respuesta de los sensores octagonal de energía (mV).

Repetición	OE (mV)	ON (N)
1	233	976
	571	2460
	910	3972
	1130	4963
2	328	1326
	578	2348
	905	3712
	1163	4787
3	385	1672
	571	2513
	863	3802
	1144	5027

En la Figura 15 se muestra una regresión lineal a través del programa Minitab con una gráfica de línea ajustada de calibración del octagonal de energía (OE)

con capacidad de 10 kN, con un coeficiente de correlación de 99.7 %.
 Teniendo una constante del OE de 4.303 mV.

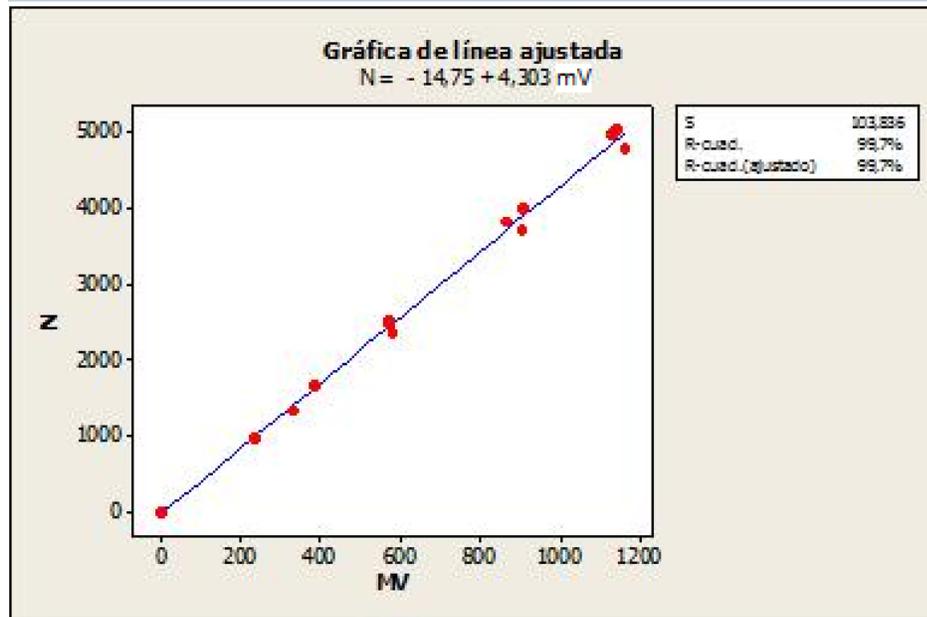


Figura 15. Línea ajustada del sensor octagonal de energía (OE) y su constante de calibración.

3.5.2 Calibración del sensor Octagonal Amarillo (OA)

Se observa en la Figura 16 la gráfica escalonada con la carga y descarga de pesos (contrapesos de tractor) utilizados para fines de calibración del sensor octagonal amarillo para F_x , teniendo este una capacidad 40 kN. La calibración se realizó en serie con el transductor Axial.

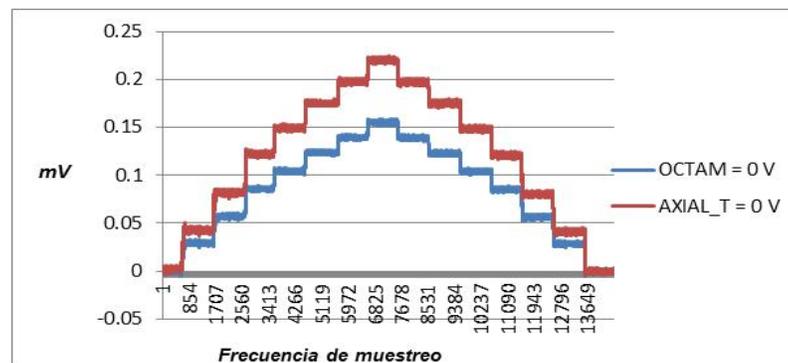


Figura 16. Gráfica escalonada de calibración en serie de OA F_x y dinamómetro Axial en mV.

Los datos de respuesta de una repetición de la calibración del sensor (OA) y el dinamómetro Axial en *mV* se muestran en el Cuadro 6. Los pesos acumulados son proporcionales a los escalones (*mV*) mostrados anteriormente en la Figura 16 y la carga total por escalón en Newtons los cuales se analizaron en Minitab, realizando una regresión lineal entre los *mV* detectados por el sensor y la fuerza total aplicada por escalón a cada uno de ellos, de esta manera se obtuvo la constante de calibración.

Cuadro 6. Datos de respuesta en *mV* de los sensores (OA) y Axial, además de la fuerza total aplicada.

Punto promedio	Axial (<i>mV</i>)	OA (<i>mV</i>)	Pesos Acumulados (Kg)	Pesos	Newtons
1121	37	27	45	45	441.45
2043	75	53	90	45	882.9
3032	117	84	135	45	1324.35
4090	140	100	165	30	1618.65
5056	169	121	195	30	1912.95
6135	187	137	220	25	2158.2
7090	212	153	245	25	2403.45
8137	189	137	220	-25	2158.2
9171	164	121	195	-25	1912.95
10029	139	101	165	-30	1618.65
10993	112	83	135	-30	1324.35
11983	69	51	90	-45	882.9
12994	28	27	45	-45	441.45

En la Figura 17 se muestra la gráfica de línea ajustada del sensor (OA). Una regresión lineal en donde se grafican los *mV* sensados por el (OA) en respuesta

a la suma de fuerzas aplicadas. La constante de calibración del (OA) es de 15.56 mV.

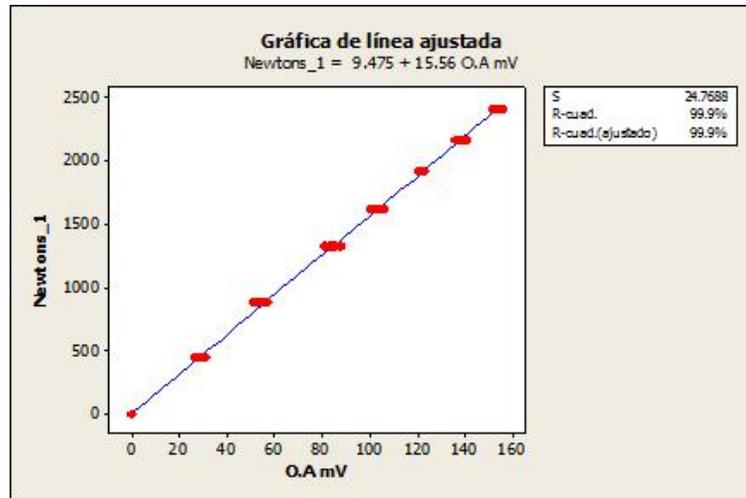


Figura 17. Línea ajustada del sensor (OA) F_x y su constante de calibración.

3.5.3. Calibración del sensor Octagonal Rojo (OR)

En la Figura 18 se muestra la respuesta en mV escalonada de acuerdo a los pesos aplicados en ascenso y descenso a la canastilla de calibración al sensor OR en serie con el dinamómetro Axial.

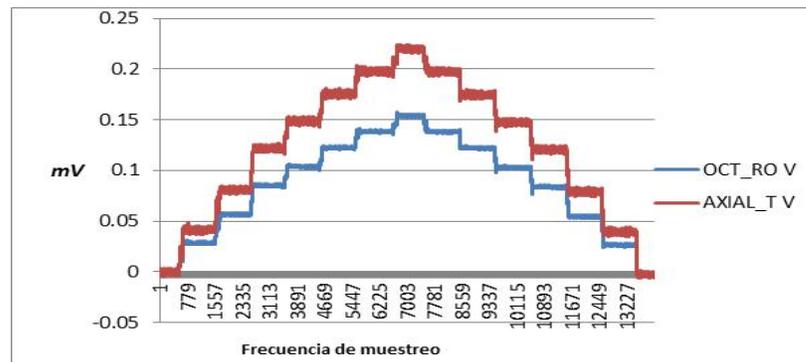


Figura 18. Gráfica escalonada de calibración en serie del (OR) F_x y dinamómetro Axial en mV .

En el Cuadro 7 se muestran los datos de respuesta en *mV* del OR y los datos de respuesta en *mV* del dinamómetro Axial, además de la fuerza aplicada a los dos sensores en serie en Newtons.

Cuadro 7. Datos de respuesta en *mV* del (OR) *Fx* y dinamómetro Axial.

Punto promedio	O.R (<i>mV</i>)	Axial (<i>mV</i>)	Pesos acumulados (<i>kg</i>)	Pesos (<i>kg</i>)	Newtons
1125	29	38	45	45	441.45
2106	58	79	90	45	882.9
3090	85	121	135	45	1324.35
4227	104	146	165	30	1618.65
5113	122	175	195	30	1912.95
6065	138	199	220	25	2158.2
7094	152	219	245	25	2403.45
8034	137	198	220	-25	2158.2
8996	120	173	195	-25	1912.95
9965	100	144	165	-30	1618.65
11015	79	118	135	-30	1324.35
12065	50	77	90	-45	882.9
12962	23	37	45	-45	441.45

En la Figura 19 se muestra la línea ajustada de la calibración del sensor (OR) en *mV* con capacidad de fuerza aplicada de 40 *kN*. Con el programa Minitab se realizó la regresión lineal de la fuerza aplicada en Newtons al sensor (OR) contra los *mV* de respuesta. La constante de calibración obtenida fue de 15.57 y un coeficiente de correlación de 99.8 %.

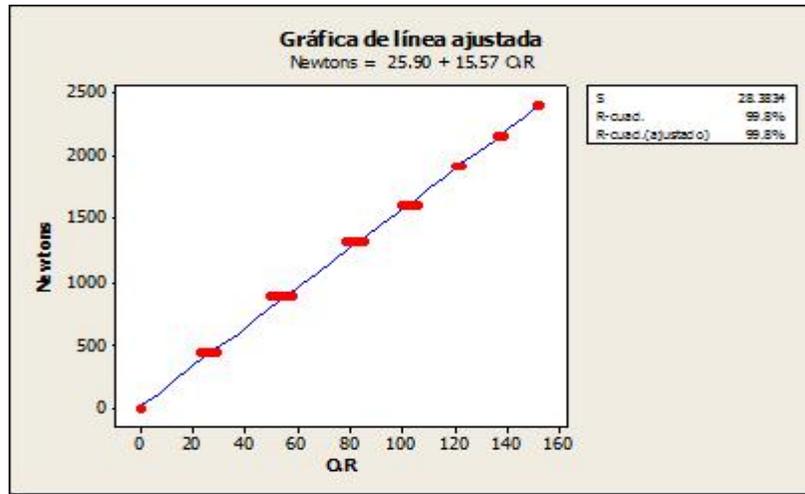


Figura 19. Línea ajustada del sensor (OR) F_x y su constante de calibración.

3.6 Equipos e instrumentos para evaluación en campo

Para la adquisición de datos, Lackas *et al.*, (1990) diseñaron un sistema portable de adquisición para la medición de requerimientos de energía en suelos en sistema de enganche de implementos, el cual utilizaron un acondicionador de señal analógico-digital DAYTRONIC 1, modelo 10KU, este acondicionador esta unido a una laptop a través de su puerto paralelo RS232, y montada al tractor con su sistema de cables conectores. Para nuestro sistema de adquisición y para calibrar los sensores transductores de fuerza y para su uso en campo, se utilizó la computadora DELL con las características anteriormente mencionadas, a través del software Daq View (<http://www.iotech.com>) que trabaja en conjunto con:

- i. Un amplificador-acondicionador (**DBK-43A**) que consta de un módulo de 8 canales, con ganancias de 10x a 1250x (ϵ) fabricado por *Iotech, Inc.* (<http://www.iotech.com>) usado para amplificar la señal del transductor y proporcionar una salida estandarizada de voltaje para así poder enviarla a un convertidor analógico-digital y que este además provee el voltaje de excitación al transductor (puente de Wheatstone) en un rango de 1-10 V y 100 mA.

- ii. Un convertidor analógico-digital (**DakBook/200**). Este módulo se conecta al puerto paralelo de la computadora (DELL) y convierte los valores de voltaje en valores digitales para que en paralelo con la PC puedan ser procesados. Dicho sistema se compone de dos partes: la primera parte procesa la información y la segunda consta de un banco de baterías que sirve de alimentación a la parte de procesamiento de datos. El módulo está integrado por seis sub-módulos más de voltaje diferencial, con una ganancia de 0.01-10 V y con un muestreo de 25-625 datos por segundo. Consta además de 16 canales analógicos y ocho canales digitales con rangos de ganancia en micro deformaciones de 100 a 10 K. Este sistema permite almacenar en forma instantánea los datos, en el disco duro del ordenador y permite ver la respuesta de los canales en pantalla durante el proceso.

3.6.1 Adquisición de datos

Al inicio para darle un voltaje de excitación a las galgas a través del **DBK-43A**, éste se posiciona en “cal” (abreviatura de calibración) localizado en la parte posterior del hardware, canal por canal, es decir, puente por puente (Wheatstone). Así por ejemplo, para el sensor Octagonal Amarillo (OA), se conecta a dos canales en el DBK, unos para las fuerzas medidas en eje de las X y otro canal para medir las fuerzas en el eje de las Y, para el sensor Octagonal Verde (OV), se utilizó únicamente un canal, para la medición de las fuerzas en X, para el sensor Octagonal Rojo (OR) (transferencia de peso) se utilizó un solo canal que corresponden a las fuerzas en X. Luego de calibrar con su voltaje de excitación a cada “canal” (puente de Wheatstone), se lleva a su posición inicial el botón “cal” (“nor” de normal) y se ajustan los “Scaling gain”, “Input Gain” y el “offset” quedando así ya calibrado los voltajes de excitación y las ganancias de cada unas de las fuerzas a medir a través de las galgas (Cuadro 8).

Cuadro 8. Valores de ajuste de las ganancias y voltaje de excitación antes de la obtención de datos para el DBK-43^a.

Sensor (dinamómetro)	Input Gain	Scaling Gain	Excitación Volts	Constante N/mV
Octagonal Verde (Fx)	4.41	4.41	9.54	15.56
Octagonal Amarillo (Fx)	4.39	4.40	9.64	15.56
Octagonal Rojo (Fx)	4.53	4.52	9.59	15.57

Procedemos a la conexión de sensores y a la comunicación de éstos con los equipos de adquisición. De lo anterior, se debe considerar que cada uno de los sensores consta de conectores hembra y macho para así poder comunicar a través de una tarjeta de conexión, que van desde el transductor (octagonal) al amplificador-acondicionador (Ozuna, 2011; Bonifaz, 2012).

- i. Se conectan los transductores octagonales a través de sus cables correspondientes de manera rápida y cuidadosa con el sistema de canales del **DBK-43A** y éste conectado por medio de un puente al **DaqBook/200**.
- ii. En el **DaqBook/200** se conectan los cables de datos: el que comunica al módulo con el puerto paralelo de la computadora. Se coloca el cable de alimentación que va de la batería del **DaqBook/200** a la unidad de procesamiento de datos. Se enciende el **DaqBook/200** y el **DBK-43A**.
- iii. Con el equipo ya encendido y conectado se ejecuta en la PC el software **DaqView**, en este momento el sistema de adquisición de datos ya está activado y comunicado con los transductores de fuerza. Se recomienda esperar de 5 a 10 minutos para iniciar la captura de datos, tanto en campo como en laboratorio, ya que las galgas en los octagonales deben alcanzar su temperatura de operación, de lo contrario se pueden obtener datos erróneos.

Para la calibración del puente o la ganancia del puente de Wheatstone y ver el rango en que se estarán guardando los datos, el programa DaqView debe estar necesariamente en ejecución y posición normal, se gira el potenciómetro de la parte del offset hasta el valor deseado.

3.7 Análisis de datos

Una vez obtenidos todos los resultados de las diferentes pruebas, procedemos a analizar los datos utilizando Matlab 2012.

Para esto, antes debemos separar datos por tratamiento y por mejorador de suelo, posteriormente promediar los resultados. Abrimos Matlab, introducimos nuestros datos y el programa nos arroja la media, el espectral y por último obtenemos la grafica de comportamiento para corroborar donde existió mayor consumo de energía al paso de un sistema de labranza.

3.8 Análisis estadístico

En todo el campo experimental se realizó la determinación de energía requerida para una labor, mismos que nos dieron como resultado un banco de datos con la suficiente información para poder determinar si se dieron cambios en las variables a estudiar.

Para el procesamiento de los datos obtenidos se utiliza un diseño de bloques al azar, utilizando el programa R versión 2.9.0.

Los datos mostrados en el análisis estadístico fueron tratados utilizando la transformación de Box – Cox para que mostraran normalidad (Montgomery, 1991) y así poder realizar los análisis correspondientes. Las medias de los tratamientos corresponden a las medias originales de los datos sin ser tratados.

3.8.1 El modelo lineal

El modelo estadístico para un experimento en parcelas divididas A-B según Montgomery (1991) es:

$$Y_{ijk} = \mu_{..} + \rho_{..k} + \alpha_i + \xi_{(\alpha)} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \xi_{(\beta)}$$
$$i= 1,2,\dots,a \qquad j= 1,2,\dots,b \qquad k= 1,2,\dots,r$$

Donde:

Y_{ijk} = Valor en el k -ésimo bloque en la parcela ' i ' y la sub-parcela ' j '

$\mu_{..}$ = Valor constante similar a la media de la población

α_i = efecto del i -ésimo nivel del factor 'A'

$\xi_{(\alpha)}$ = Error experimental de parcelas grandes

β_j = Efecto del j -ésimo nivel del factor 'B'

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción del i -ésimo nivel del factor 'A' con el bloque j -ésimo nivel del factor 'B'

$\xi_{(\beta)}$ = Error experimental de sub-parcelas

IV. RESULTADOS

4.1 Pruebas de laboratorio con el marco de prueba integral

Esta prueba tuvo como finalidad la comprobación de manera estática el comportamiento de cada uno de los sensores octagonales y un dinamómetro de tiro, a profundidad constante del cincel, el diagrama de cuerpo libre, en la Figura 20 se muestra el marco integral pruebas y la posición de cada uno de los sensores.



Figura 20. Posición de los sensores para la prueba en campo.

4.1.1 Pruebas integrales a 0.59 m de profundidad con cuatro sensores octagonales (OV, OA, OR y Energía)

Se puede observar en la Figura 21 los escalones que corresponden a las fuerzas aplicadas con el gato hidráulico en *mili-Volts* de cada uno de los sensores que componen el marco de prueba integral a una profundidad de 0.59 metros.

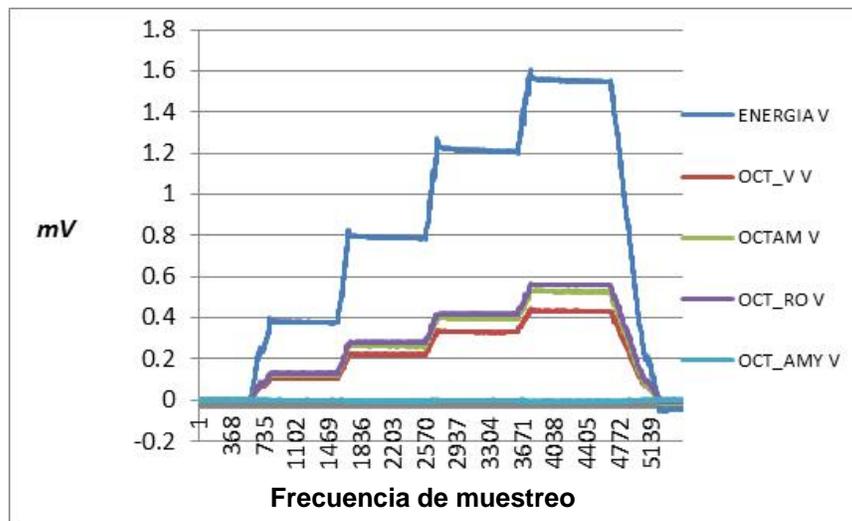


Figura 21. Gráfica escalonada en respuesta a la fuerza aplicada al sensor de energía y el comportamiento de los demás sensores en el marco integral.

En el Cuadro 9 se muestra la proporcionalidad que existe entre el promedio del (OA) mas el (OV) respecto al octagonal de energía (OE); el promedio mayor, el promedio menor, la media, el coeficiente de variación y la desviación estándar de la proporción, de las pruebas realizadas con los sensores que componen el marco de pruebas integral con cargas concentradas a una profundidad de 0.59 metros.

Cuadro 9. Datos concentrados de las fuerzas obtenidas por los octagonales a una profundidad de 0.59 m.

Repetición	Octagonal rojo	Promedio OV+OA	Energía (N)	Promedio (OV+OA)/Energía (N)
I	2600	2294	2044	1.122
	5297	4556	4114	1.107
	7169	6200	5598	1.108
	9311	8104	7329	1.106
II	2532	2209	2044	1.081
	5205	4494	4114	1.092
	6973	6054	5598	1.081
	9408	8074	7329	1.102
III	2552	2266	2044	1.109
	5284	4580	4114	1.113
	7011	6064	5598	1.083
	9565	8196	7329	1.118
IV	2527	2215	2044	1.084
	5197	4491	4114	1.092
	6922	6075	5598	1.085
	9388	8100	7329	1.105
V	2567	2232	2044	1.092
	5172	4526	4114	1.100
	7172	6171	5598	1.102
	9182	7999	7329	1.091
Media de la proporción				1.099
Proporción mayor (O.V+O.A)/O.E				1.118
Proporción menor (O.V+O.A)/O.E				1.081
Desviación Estándar de la proporción				0.013
Coeficiente de variación de la proporción				1.140

Como se muestra en la Figura 22 se realizó una regresión lineal con gráfica de línea ajustada para las fuerzas aplicadas en el octagonal de energía (OE) y el promedio de las fuerzas obtenidas del OA y OV en el marco de prueba integral

y podemos observar que existe una relación constante entre estas fuerzas de 1.101, lo cual no es estadísticamente significativo con la media de la proporción obtenida, la cual fue de 1.099.

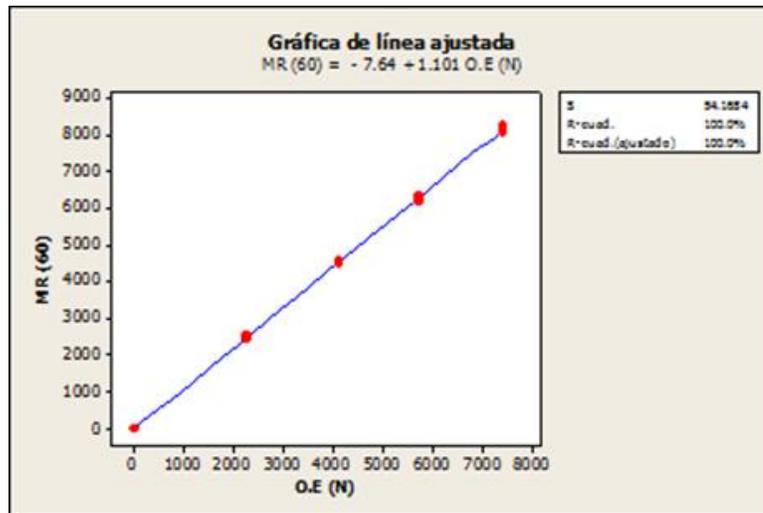


Figura 22. Constante de proporción entre las fuerzas promedio de los octogonales y la fuerza aplicada a 0.59 m de profundidad.

4.2 Resultados de la Fuerza Real empleada en los diferentes sistemas de labranza

4.2.1 Datos de labranza convencional L1 (arado) con tratamiento testigo (M0)

En el cuadro 10 se presentan los resultados de la Fuerza Real empleada con la labranza convencional (L1) para la preparación de una parcela con un tratamiento testigo (M0), utilizando el arado de discos para la prueba.

Cuadro 10. Fuerza Real empleado con el arreglo L1M0, con un arado de discos.

Arado	L1M0					
	K	Posición inicial y final	# Repetición	Media (V)	Espectral (V)	(M +K)(K) = FR (kN)
15.56	800 - 1830	1	0.8484	0.4322	19.926136	
		2	0.8042	0.4097	18.888284	
		3	1.1977	0.5761	27.600328	

En la Figura 23 se aprecia la gráfica que arrojan los resultados de las tres corridas con el arreglo L1M0.

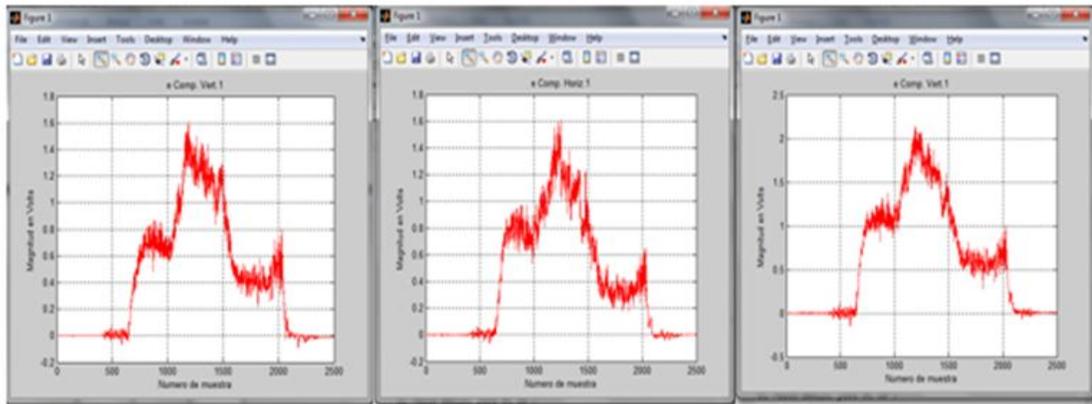


Figura 23. Tres corridas con el arreglo L1M0 en el arado.

4.2.2 Datos de labranza convencional L1 (arado) usando Micorriza (M1) como tratamiento

Los datos que se presentan a continuación en el Cuadro 11 son de la labranza convencional utilizando Micorriza (*Azospirillum*) como mejorador de suelo.

Cuadro 11. Fuerza Real empleado con el arreglo L1M1, con un arado de discos.

Arado	L1M1					
	K	Posición inicial y final	# Repetición	Media (V)	Espectral (V)	M + K (K) = FR (kN)
15.56	800 - 1830	1	1.2685	0.5212	27.847732	
		2	1.0055	0.4793	23.103488	
		3	1.5601	0.6575	34.505856	

En la tercera repetición la media llegó arriba de 1.5 V, y por ende, la fuerza real empleada fue mayor como se muestra en la Figura 24.

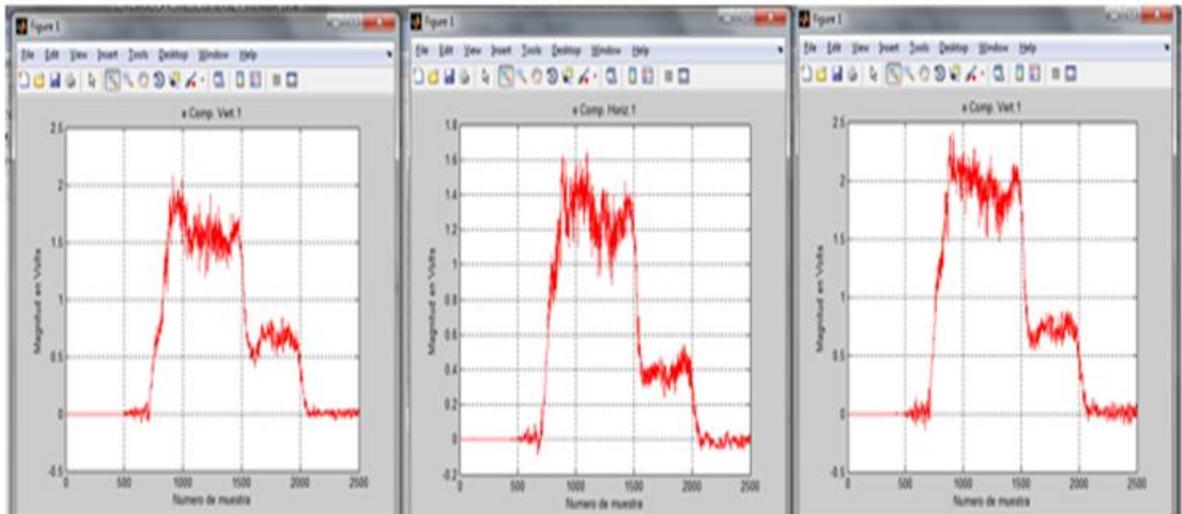


Figura 24. Tres corridas con el arreglo L1M1 en el arado.

4.2.3 Datos de labranza convencional L1 (arado) utilizando Composta (M2) como tratamiento

En el Cuadro 12 se aprecia el mayor esfuerzo realizado en la primera repetición teniendo como mejorador de suelo Composta (*Miyaorganic*). Cabe señalar que con este arreglo y utilizando el arado es donde se empleó mayor energía, ya que, obtuvimos una fuerza real superior a 43 kN.

Cuadro 12. Fuerza Real empleado con el arreglo L1M2, con un arado de discos.

Arado	K	L1M2				
		Posición inicial y final	# Repetición	Media (V)	Espectral (V)	M + K (K) = FR (kN)
15.56	800 - 1830		1	2.4687	0.3197	43.387504
			2	1.2791	0.3399	25.19164
			3	1.7626	0.4282	34.088848

En la primera gráfica de la Figura 25 que pertenece a la corrida número uno, se aprecia claramente que desde un principio se disparo el esfuerzo realizado, en la segunda repetición se estabiliza y ya para la tercera aumenta.

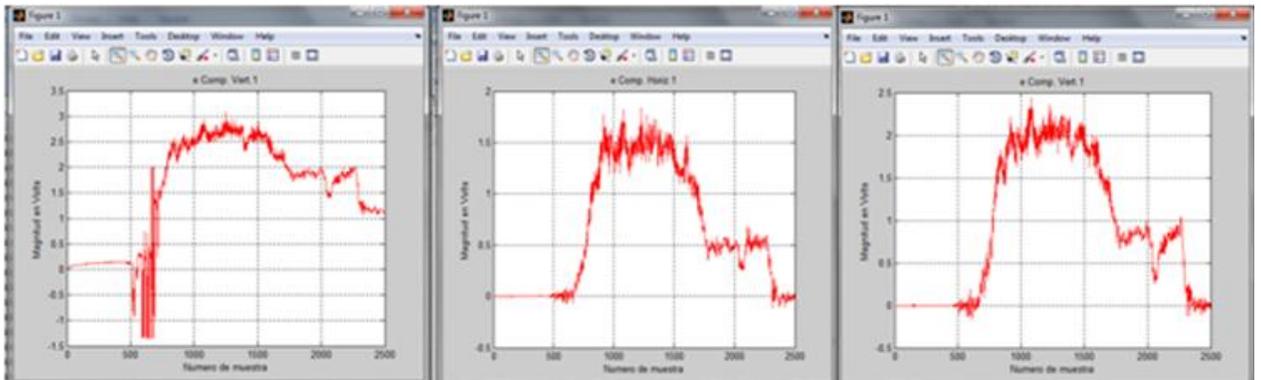


Figura 25. Tres corridas con el arreglo L1M2 en el arado.

4.2.4 Datos de labranza convencional L1 (arado) utilizando Algaenzimas (M3) como tratamiento

Estos datos presentes en el Cuadro 13 fueron tomados de una parcela que tenía Algaenzimas como mejorador de suelo y un sistema de labranza convencional.

Cuadro 13. Fuerza Real empleado con el arreglo L1M3, con un arado de discos.

	L1M3					
	K	Posición inicial y final	# Repetición	Media (V)	Espectral (V)	M + K(K) = FR (kN)
Arado	15.56	800 - 1830	1	1.0717	0.5775	25.661552
			2	0.9299	0.5431	22.91988
			3	1.3515	0.7609	32.868944

La siguiente Figura 26 muestra la prolongación del esfuerzo que realizó el implemento para la preparación del terreno.

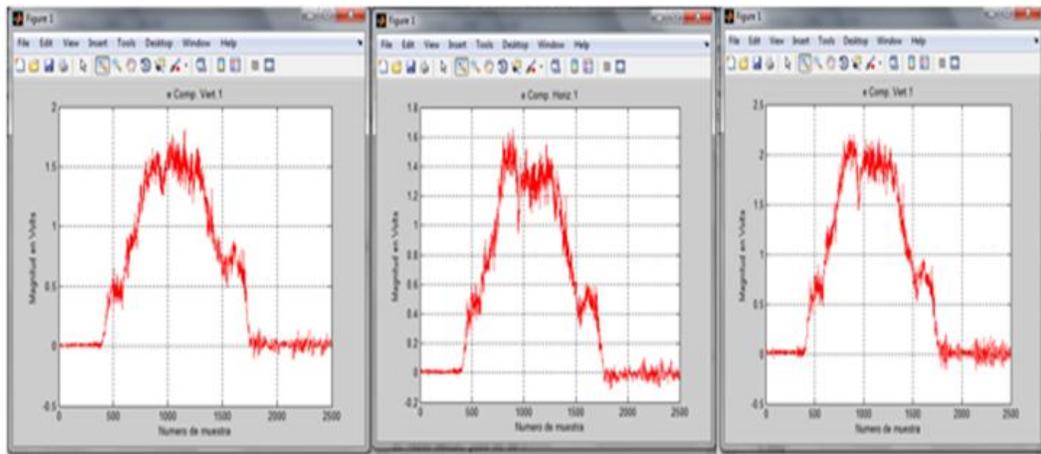


Figura 26. Tres corridas con el arreglo L1M3 en el arado.

4.2.5 Datos de labranza convencional L1 (rastra) con tratamiento testigo (M0)

Al utilizar la rastra para la preparación de suelo nos encontramos que el esfuerzo real es menor como se muestra en el Cuadro 14, debido a que, en primer lugar el arado ya aflojo el suelo y la rastra solo se encarga de ir disgregando el mismo y emparejarlo para posteriormente sembrar.

Cuadro 14. Fuerza Real empleado con el arreglo L1M0, con una rastra de discos.

Rastra	K	L1M0				
		Posición inicial y final	# Repetición	Media (V)	Espectral (V)	M + K (K) = FR (kN)
15.56	900 - 1430		1	0.7757	0.0326	12.577148
			2	0.4718	0.0231	7.700644
			3	0.8052	0.0118	12.71252

En la Figura 27, nos podemos dar cuenta que en la tercera repetición es donde se realizo ligeramente mayor esfuerzo o consumo de energía.

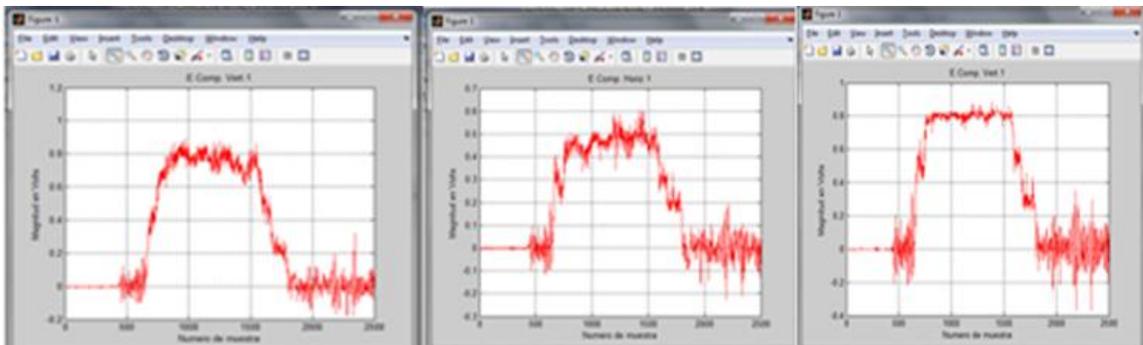


Figura 27. Tres corridas con el arreglo L1M0 en la rastra.

4.2.6 Datos de labranza convencional L1 (rastra) usando Micorriza (M1) como tratamiento

En el Cuadro 15 se presentan los resultados de labranza convencional en un terreno donde se aplicó Micorriza (*Azospirillum*) como mejorador de suelo. Siendo la segunda prueba donde el esfuerzo alcanzado fue menor a la primera y tercera.

Cuadro 15 Cuadro 15. Fuerza Real empleado con el arreglo L1M1, con una rastra de discos.

Rastra	K	L1M1				
		Posición inicial y final	# Repetición	Media (V)	Espectral (V)	M + K (K) = FR (kN)
15.56	900 - 1430		1	0.7933	0.0177	12.61916
			2	0.4998	0.0078	7.898256
			3	0.8212	0.0081	12.903908

La siguiente Figura 28 nos muestra el comportamiento de las tres repeticiones realizadas con la rastra de discos en un suelo que contenía Micorriza como mejorador.

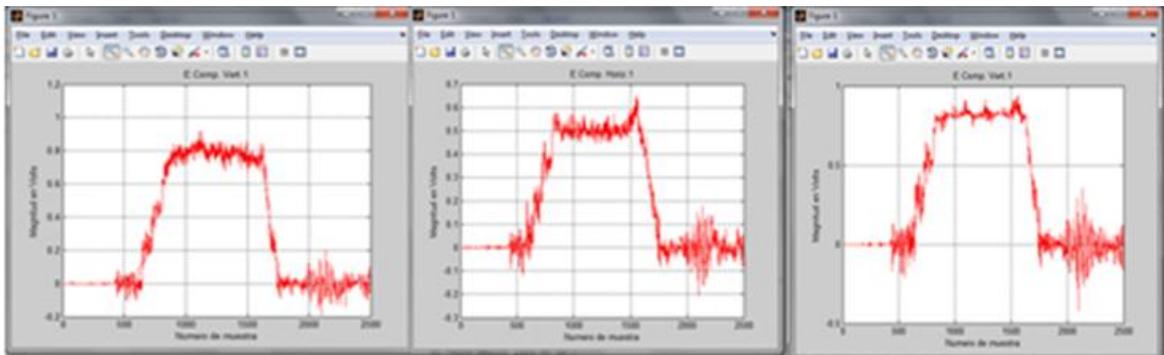


Figura 28. Tres corridas con el arreglo L1M1 en la rastra.

4.2.7 Datos de labranza convencional L1 (rastra) utilizando Composta (M2) como tratamiento

Los siguientes datos mostrados en el Cuadro 16 fueron tomados en una parcela que se le aplicó Composta (*Miyaorganic*) como mejorador de suelo. Y para la preparación de utilizó rastra de discos, que pertenece a la labranza convencional.

Cuadro 16. Fuerza Real empleado con el arreglo L1M2, con una rastra de discos.

Rastra	L1M2					
	K	Posición inicial y final	# Repetición	Media (V)	Espectral (V)	M + K (K) = FR (kN)
15.56	1100 - 1720	1	0.7593	0.03	12.281508	
		2	0.561	0.0301	9.197516	
		3	0.8531	0.0196	13.579212	

La Figura 29 muestra como en la segunda repetición el suelo estaba más blando, ya que, el esfuerzo requerido fue menor. Caso contrario sucedió en la tercera prueba donde alcanzo un esfuerzo de 13.5 kN.

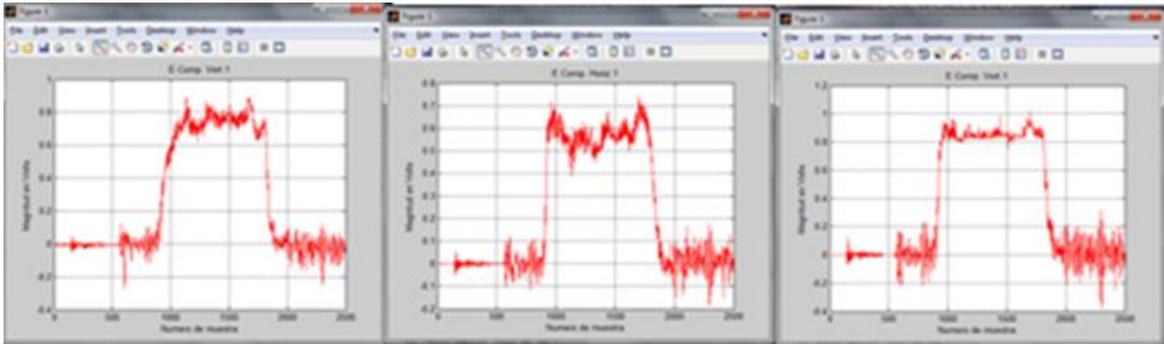


Figura 29. Tres corridas con el arreglo L1M2 en la rastra.

4.2.8 Datos de labranza convencional L1 (rastra) utilizando Algaenzimas (M3) como tratamiento

Se presentan los resultados de fuerza real en el Cuadro 17, aplicada para la preparación de una parcela con una rastra de discos. El terreno cuenta con Algaenzimas como mejorador de suelo.

Cuadro 17. Fuerza Real empleado con el arreglo L1M3, con una rastra de discos.

Rastra	L1M3					
	K	Posición inicial y final	# Repetición	Media (V)	Espectral (V)	M + K (K) = FR (kN)
15.56	900 - 1470	1	0.852	0.0248	13.643008	
		2	0.5099	0.0206	8.25458	
		3	0.8286	0.0111	13.065732	

La siguiente Figura 30 muestra el comportamiento de la cantidad de energía aplicada para la parcela, en la imagen central nos podemos percatar que no existe una uniformidad en la cúspide, esto se debe a que ahí existió menor esfuerzo, es decir, el suelo estaba más invertido.

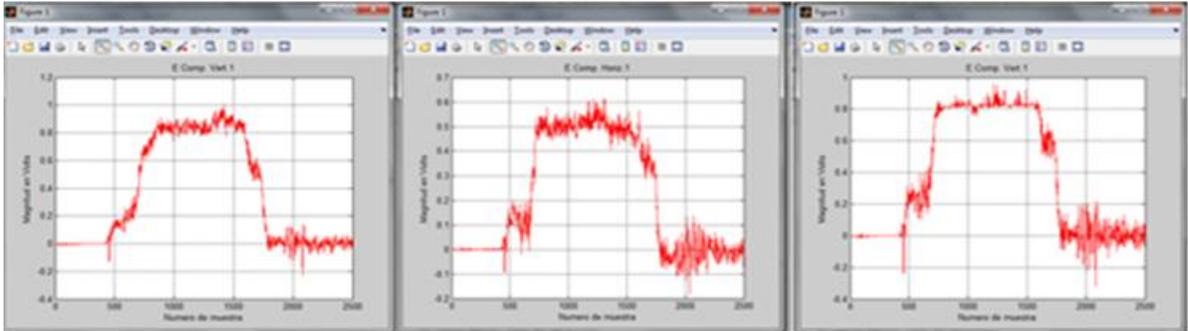


Figura 30. Tres corridas con el arreglo L1M3 en la rastra.

4.2.9 Datos de labranza vertical L2 con tratamiento testigo (M0)

Para la realización de este estudio se utilizó el arado de subsuelo con tres cinceles, dos adelante y uno en la parte trasera, teniendo un ancho de trabajo de 1 m.

En la parcela no se aplicó mejorador y fue en la tercera prueba donde la cantidad de energía empleada fue superior a las dos anteriores como se muestra en el Cuadro 18.

Cuadro 18. Fuerza Real empleado con el arreglo L2M0, con arado de subsuelo.

Cinceles	L2M0					
	K	Posición inicial y final	# Repetición	Media (V)	Espectral (V)	M + K (K) = FR (kN)
15.56	900 - 1570	1	1.1714	0.0595	19.152804	
		2	1.1647	0.0774	19.327076	
		3	1.9103	0.0733	30.864816	

En la siguiente Figura 31 podemos observar como en las primeras dos pruebas existía uniformidad, esto debido a que el suelo no estaba tan compacto, no así en la tercera en donde alcanzo un 30.8 kN de fuerza real empleada para la realización de la labor.

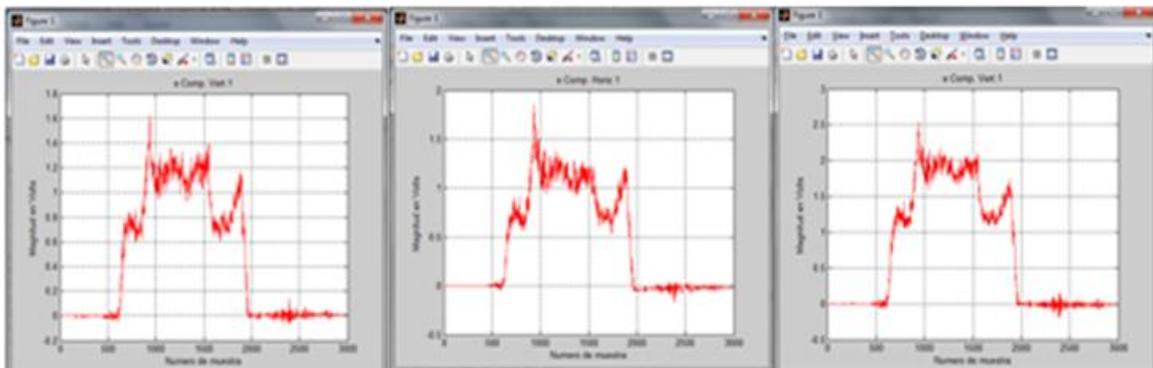


Figura 31. Tres corridas con el arreglo L2M0 en los cinceles.

4.2.10 Datos de labranza vertical L2 usando Micorriza (M1) como tratamiento

Los datos presentados en el Cuadro 19 son de un suelo que cuenta con Micorriza (*Azospirillum*) como mejorador de suelo y para la preparación del mismo se utilizo un arado de subsuelo con tres cinceles.

Cuadro 19. Fuerza Real empleado con el arreglo L2M1, con arado de sub-suelo.

Cinceles	L2M1					
	K	Posición inicial y final	# Repetición	Media (V)	Espectral (V)	M + K (K) = FR (kN)
15.56		1100 - 1930	1	1.1092	0.3069	22.034516
			2	1.153	0.2599	21.984724
			3	1.7801	0.4312	34.407828

A continuación se muestra en la Figura 32 el comportamiento del esfuerzo realizado por el implemento por cada prueba que se realizó.

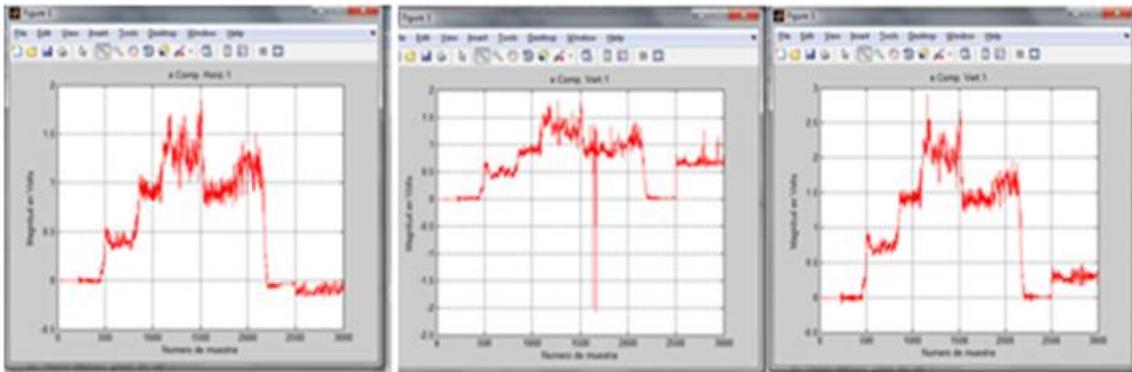


Figura 32. Tres corridas con el arreglo L2M1 en los cinceles.

4.2.11 Datos de labranza vertical L2, utilizando Composta (M2) como tratamiento

Para este estudio aplicamos Composta (*Miyaorganic*) en la parcela y la preparación fue llevada a cabo con el arado de subsuelo de tres cinceles. Al igual que el anterior en la tercera repetición es donde existió mayor requerimiento de energía. En esta prueba se realiza el menor consumo de energía, obteniendo 13.5 kN de fuerza real aplicada para la labor, como se muestra en el Cuadro 20.

Cuadro 20. Fuerza Real empleado con el arreglo L2M2, con arado de subsuelo.

Cinceles	L2M2					
	K	Posición inicial y final	# Repetición	Media (V)	Espectral (V)	M + K (K) = FR (kN)
15.56	1100 - 1930	1	0.789	0.0842	13.586992	
		2	1.3915	0.9145	35.88136	
		3	1.5695	0.1541	26.819216	

En la siguiente Figura 33 podemos observar el comportamiento de la fuerza real aplicada para la preparación del terreno.

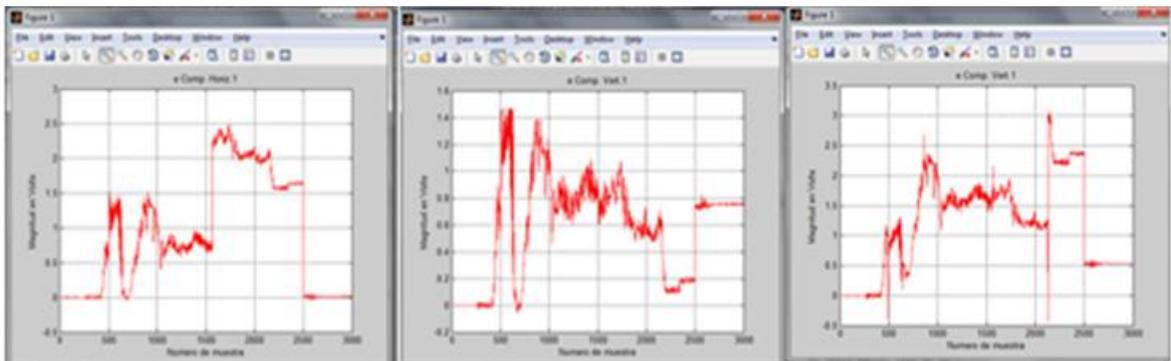


Figura 33. Tres corridas con el arreglo L2M2 en los cinceles.

4.2.12 Datos de labranza vertical L2, utilizando Algaenzimas (M3) como tratamiento

Los siguientes datos son tomados de una parcela donde al suelo se le había aplicado Algaenzimas y para la preparación del terreno se utilizo un arado de subsuelo de tres cinceles. En el Cuadro 21 se aprecia que en la tercera repetición es donde se realiza el mayor requerimiento de energía.

Cuadro 21. Fuerza Real empleado con el arreglo L2M3, con arado de subsuelo.

Cinceles	L2M3					
	K	Posición inicial y final	# Repetición	Media (V)	Espectral (V)	M + K (K) = FR (kN)
15.56	800 - 1020	1	1.3615	0.0731	22.322376	
		2	1.3919	0.1163	23.467592	
		3	2.1319	0.1268	35.145372	

En esta parcela es donde existió el mayor esfuerzo para la preparación del terreno y por ende entonces mayor consumo de energía, al alcanzar una fuerza real de 35.1 kN. En la Figura 34 se aprecia el comportamiento que tuvo el evento realizado.

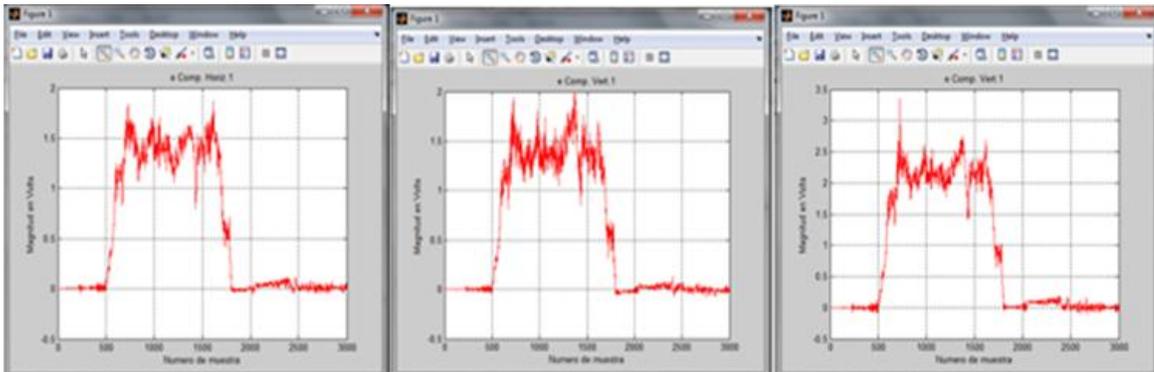


Figura 34. Tres corridas con el arreglo L2M3 en los cinceles.

4.2.13 Datos de labranza mínima o cero L3 (sembradora de cuatro unidades) con tratamiento testigo (M0)

Este sistema de labranza es el que presenta menor fuerza real para la preparación de una parcela para la actividad agrícola, su desventaja principal es que a futuro esta actividad tiende a compactar el suelo. En el Cuadro 22 se aprecia que la fuerza real fue inferior a 20 kN.

Cuadro 22. Fuerza Real empleado con el arreglo L3M0, con una sembradora.

Lab Cero	L3M0					
	K	Posición inicial y final	# Repetición	Media (V)	Espectral (V)	M + K (K) = FR (kN)
15.56	900 - 3120	1	0.5836	0.3105	13.912196	
		2	0.6309	0.0145	10.042424	
		3	1.2224	0.0273	19.445332	

En la siguiente Figura 35 se aprecia el comportamiento de las tres pruebas. En la segunda corrida se observa un bajo, mismo que fue la menor cantidad de esfuerzo realizado para llevar a cabo la preparación del terreno.

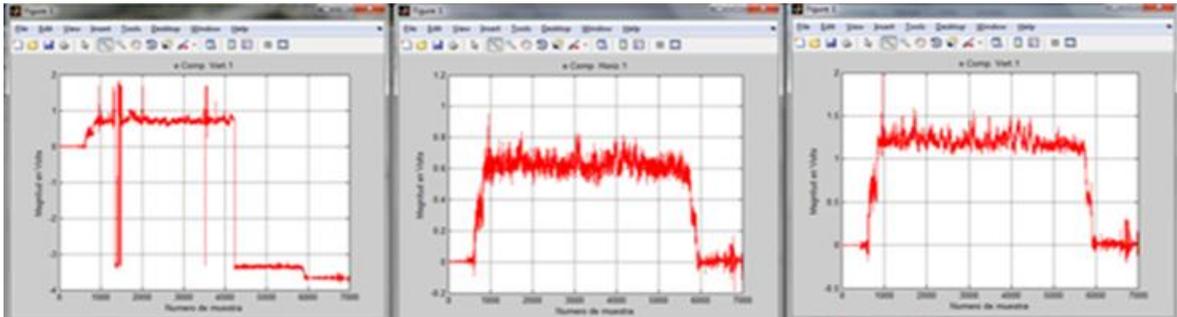


Figura 35. Tres corridas con el arreglo L3M0 en la sembradora.

4.3 Resultados estadísticos para los sistemas de labranza utilizados y mejoradores

4.3.1 Análisis de varianza con respecto a sistemas de labranza

En el Cuadro 23 se muestra que no existe diferencia estadística significativa para la energía entre los sistemas de labranza y los mejoradores orgánicos de suelo utilizados.

Cuadro 23. ANVA para energía entre sistemas de labranza y mejoradores orgánicos.

ANÁLISIS DE VARIANZA					
FV	GL	SC	CM	F	P>F
REPETICIONES	2	44885.25	22442.625	3.2154	0.147
FACTOR A	2	690836.75	345418.375	49.4895	0.003
ERROR A	4	27918.5	6979.625		
FACTOR B	3	13830	4610	2.1195	0.133
INTERACCIÓN	6	17668	2944.666748	1.3538	0.285
ERROR B	18	39150.75	2175.041748		
TOTAL	35	834289.25			

CV=19.37 %

4.3.2 Prueba de diferencia media significativa (DMS)

En el Cuadro 24, se muestran las pruebas DMS para la energía neta de la labor requerida por sistema de labranza a diferentes niveles (0.05 y 0.01 %).

Cuadro 24. Medias de energía requerida por sistema de labranza.

COMPARACIÓN DE MEDIAS DEL FACTOR A	
TRATAMIENTO	MEDIA (MJ)
1 (LC)	365.7430 A
2 (LV)	308.8075 A
3 (NL)	47.5798 B

Nivel de significancia = 0.05 DMS = 94.6804

COMPARACIÓN DE MEDIAS DEL FACTOR A	
TRATAMIENTO	MEDIA (Mega Joules)
1 (LC)	365.743 A
2 (LV)	308.8075 A
3 (NL)	47.5798 B

Nivel de significancia 0.01 DMS = 157.0275

En base a los datos obtenidos para un suelo franco-arcilloso, entre la **L1 (LC)** y **L2 (LV)** no existe diferencia significativa con respecto a energía neta requerida para realizar una labor, mientras que **L3 (NL)** es diferente de las anteriores.

En un estudio realizado en Estados Unidos para medir la demanda energética de tres sistemas de labranza, Collins (1981) obtuvo que para la labranza convencional se requieren 247 MJ Ha^{-1} , 213 MJ Ha^{-1} en la labranza vertical y 50 MJ Ha^{-1} al emplear labranza cero.

Lal (1989) manifiesta que en la labranza de conservación se presentan ahorros significativos en términos energéticos en comparación con otros sistemas de labranza.

Querejata *et al.*, (2000) mencionan que los efectos de reducción de energía al emplear un sistema de labranza se manifiestan después de cuatro años de manejo continuo del suelo.

Con menores niveles de energía la labranza de conservación puede conseguir aproximadamente los mismos rendimientos que los sistemas de labranza convencional (Kern y Johnson, 1993).

En base a un estudio realizado en una empresa Agroalimentaria en Canadá McLaughlin, Gregorich y Dwyer, (2002) afirman que después de haber aplicado estiércol como mejorador de suelo, al cabo de ocho años redujo el consumo de energía empleado para la labranza con base en el primer ciclo. Cuanto más aplicaban estiércol era mayor la reducción de energía.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a los datos obtenidos en el estudio realizado mediante un análisis estadístico se concluye que los sistemas de labranza de conservación de suelo (labranza mínima o cero y labranza vertical) en comparación con la labranza convencional (rastra y arado) demandan menor cantidad de energía para las labores de labranza, teniendo como condición un suelo franco-arcilloso.

Hasta este ciclo los mejoradores de suelo no han influido en la disminución de la cantidad de energía neta requerida para realizar una labor.

Se recomienda tal como dice la literatura seguir el manejo con los sistemas de labranza y mejoradores en un largo plazo para poder observar una disminución de energía neta en la labor.

VI. LITERATURA CITADA

- Alarcón, A., y Ferrara-Cerrato, D.** 2000. Biofertilizantes: Importancia y Utilización en la Agricultura. Agricultura Técnica en México. Vol. 26(2): 191-203.
- Alarcón, A., Ferrara-Cerrato, D., Villegas-Monter, A. y Almaraz, J.** 1998. Efecto de la simbiosis micorrízica en la fotosíntesis de Citrus volkameriana Tan&Pasq. En Zulueta, R., Escalona, A y Trejo, D. (ed). Avances de la investigación Micorrízica en México. Universidad Veracruzana Xalapa, Ver. México. pp. 119-126.
- Aluko, O.B. and D.A. Seig.** 2000. An experimental investigation of the characteristics of and conditions for brittle fracture in two-dimensional soil cutting. Soil Tillage Res. 57:143-157.
- Arcos, E.S. y H.O. Laurel.** 1997. Diseño de un dinamómetro para la medición de fuerzas en el enganche de tres puntos del tractor. Memorias VII, Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- 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. Canadá.

Baber, R. G., Navarro, F. y Orellana, M., 1993. Labranza vertical. Centro de Investigación Agrícola Tropical, Misión Británica en Agricultura Tropical y Proyecto de desarrollo Tierras Bajas del Este del Banco Mundial, Santa Cruz, Bolivia.

Bashan Y., Holuin G., Ferrara-cerrato D. 1996. Interacciones entre plantas y microorganismos beneficios. I. Azospirillum. Terra. Vol. 14(2): 159-194.

Bell R. D. and Willcocks S/F. Energy conservation in mecanisation of agriculture in developing countries. National Institute of Agricultural Engineering. Wrest Park, Silsoe, Bedford. UK.

Bonifaz del Carpio, A. 2012. Evaluación de un transductor integral para determinar las magnitudes de las fuerzas que actúan en los implementos de labranza. Tesis, Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.

Camacho, H. J y Magalhã P. S. G. 2000. A study of operational parameters of double discs and parabolic chisels for applications on areas with surface crop residues. Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Estatal de Campinas. Sao Paulo, Brasil.

Cadena Z. M., Gaytán M. T., Zermeño G. A., 2004. Desempeño de implemento de labranza en término de consumo de energía y calidad de trabajo. Revista agraria nueva época, año I, Vol. 1 pp. 58-65.

Cadena Z. M., Valenzuela G. J. R., De la Peña C. B. E., Gaytán M. T. 2000. Informe de las actividades realizadas con la maquinaria bajo contrato “UAAAN New Holland”. Departamento de Maquinaria Agrícola. Buenavista, Satillo, Coahuila, México.

Canales López, Benito. 1998. Algas-Enzimas: Posibilidades de su uso para Estimular la Producción Agrícola y mejorar los suelos. In: Memorias. 3er. Foro Nacional Sobre Agricultura Orgánica. Guadalajara, Jal. México. Nov. 1998 pp. (1-12).

Canales López, Benito. 1997. Las Algas en la Agricultura Orgánica. Editado por el Consejo Editorial del Estado de Coahuila. (1997). 323 páginas. 12.

Chaudhuri, D. 2001. Performance evaluation of various types of furrow openers on seed drills. A review. J. Agric. Eng. Res. 79:125-137.

Collins, N. 1981. Measured machine energy requirements for grain production systems.

Cook N.H. and E. Rabinowicz. 1963. Physical measurement and analysis, N.Y.: Addison Wesley, pp. 160–164.

Derspich, R. 2007. The no tillage revolution in South America. Farm Tech Proceedings 54-68.

Díaz, Caridad; Marta González; Álvarez, J. L. y Marta Laurencio. 2001. Biofertilización del cultivo de la habichuela (*Phaseolus vulgaris*) en condiciones de organopónico. Centro Agrícola 28(2): 66-70, abril-junio.

Figuroa S. B., Morales F. F. J. 1992. Manual de producción de cultivos con labranza de conservación. SARH-Colegio de Postgraduados, Montecillos, Estado de México, México, pp. 5.

Fira-Banco de México. s/f. Curso sobre fundamentos básicos del sistema de labranza de conservación. Centro de desarrollo tecnológico "Villadiego".

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.

González V. R. Morejon M. Y., Morales R. D., García C. A. E. 2009. Evaluación energética de la labor de rotura con tracción animal y tractor MTZ – 510. Estudio de caso: Granja Guayabal, San José de las Lajas, La Habana, Cuba. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. Vol. 18 No. 3.

Hernández, H. M. 2005. Fertilización orgánica en la producción de papa y su efecto en las características físicas-químicas del suelo. Tesis de licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.

Hernanz, J. L. 1995. Equipos y sistemas de labranza, desarrollo y evolución de aperos, Vida rural, número 21, septiembre de 1995 pp. (46-47).

Hinojosa G. M. 2003. Desarrollo de un transductor de fuerzas para la evaluación de implementos integrales en tractores categoría II Basado en el diseño Octagonal extendido. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.

Hoogmoed W. 1999. Tillage for soil and water conservation in the semi-arid tropics. Wageningen Agricultural University. The Netherlands.

Hughes Harold A. 1981. Conservación en la agricultura. Publicaciones Deere & Company Service Training. Moline, Illinois. EEUU. Pp 25-32.

Kern, J. S. and Johnson, M. G. 1993. Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. Soil Sci. Soc. Am J. 57: 200-210.

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 Requeriments of Variable Depth Tillage and implement Selection ASAE anual meeting 2007 paper 071028.

Krause R., Lorenz F., Hoogmoed W. 1984. Soil tillage in the tropics and subtropics. Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ). Eschborn, Germany.

Lal, R. 1989. Conservation tillage for sustainable agriculture: tropics versus temperate environments. *Advances in Agronomy* 42: 85-197.

Leiva, p., d. Hansen. 1984. Las resistencias mecánicas del suelo y el desarrollo radicular con distintos sistemas continuos de labranza. *Carpeta de producción vegetal. Estación experimental de Pergamino INTA. Argentina.* 4: 181-185.

Magalhães, P.S.G., e W.R. Souza. 1990. Subsolador: Influência de parâmetros geométricos no mecanismo de forças. 2:1033. XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Piracicaba, São Paulo, Brasil, Julio de 1990. Sociedad Brasileira de Ingenieria Agrícola, Jaboticabal, Sao Paulo, Brasil.

Martill R.J. F. 2005. Influencia de la Composta Miyaorganic® en la Disminución de la Intensidad de Labranza en un Suelo. Migajón Arcilloso. Tesis de maestría. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.

McKyes, E. 1985. *Soil Cutting and Tillage.* Elsevier, Amsterdam, 217 p. (Developments in Agricultural Engineering No 7).

McLaughlin N.B, Gregorich E.G., Dwyer L.M, y Ma L.B. 2002. Soil and tillage research. Volume 64. Canada. pp 211 – 219.

Mojica, L. E. D. 2000. Evaluación de discos cortadores de residuos y surcadores para labranza de conservación, empleando equipo multiusos

de tracción animal, tesis, Licenciatura, Instituto Tecnológico de Veracruz, Ver.: México.

Montgomery, D. C. 1991. Diseño y análisis de experimentos. México: Iberoamérica. 589 pp.

New Holland. 2001. Labranza. Folleto informativo. Querétaro, Querétaro, México.

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

Olson, K. y N. Senjem. 1996. Economics comparison of incremental changes in tillage systems in the Minnesota river basin. University of Minnesota. Crookston, MN.

Ortiz C. J. 1995. Las máquinas agrícolas y su aplicación. Editorial Mundiprensa. Madrid, España, pp. 21.

Ortiz-Cañavate, J. (1990) Requerimientos energéticos de la agricultura. Máquinas y Tractores N^o 10. Ed. Edagrícola. España.

- Ozuna-Gómez, C. A.** 2011. Evaluación de un transductor integral de fuerza bajo condiciones de campo. Tesis, Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.
- Pacheco, L. J. L.** 2012. Requerimientos de energía en la labranza vertical basado en el principio de profundidad crítica. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.
- Querejata, J. I., A Roldán, J. Albaladejo and V. Castillo.** 2000. Soil Physical properties and moisture content affected by site preparation in the afforestation of a semiarid rangeland. Soil Science Society American Journal. 64: 2087-2096.
- Renius, K. T.** (1994) Consumo de combustible del tractor en relación a las curvas características del motor y a su transmisión. Tendencias en Diseño de tractor con Referencia Particular a Europa, J. Agric. Eng. Res. 57 (1): 3-22.
- Sakurai, H.** 1996. An application of strain gages to the agricultural machinery. Edit. Farm machinery section. 2nd Training Division. Tsukuba International Centre (TBIC). Japan International Cooperation Agency (JICA).
- Steiner, K.G.** 1998. Conserving Natural Resources and Enhancing food security by adopting no tillage. TÖB Publication No. F-5/e GTZ. Echborn. Germany

PÁGINAS WEB CONSULTADAS

CIENCIA [en línea] [fecha de consulta: junio 2012]:

<www.ciencia-hoy.retina.ar/ln/hoy68/formasdelabranza.htm14>.

FAO [en línea] [fecha de consulta: mayo 2012]:

<https://www.fao.org/ag/ags/AGSE/agse_s/mo/iita/C5.htm>.

FAO^a [en línea] [fecha de consulta: junio 2012]:

<http://www.fao.org/waicent/faoinfo/agricult/AGSE/agse_s/general/OBJECT.htm>.

FAO^b [en línea] [fecha de consulta: junio 2012]:

<http://www.fao.org/ag/ags/AGSE/agse_s/7mo/iita/iita.htm>.

FAO [en línea] [fecha de consulta: junio 2012]:

<http://www.fao.org/ag/ags/AGSE/agse_s/7mo/iita/c8.htm#ini>.

FUMEX [en línea] [fecha de consulta: septiembre 2012]:

<<http://fumex.cl/mejorsuelo.html>>.

INTA [en línea] [fecha de consulta: agosto 2012]:

<www.inta.gob.ar/balcarce/info/documental/reclnat/suelos/labranzaconv.htm>.

MEDIO AMBIENTE [en línea] [fecha de consulta: agosto 2012]:

<https://www.medioambiente.gov.ar/archivos/web/PNBM/File/TCP/cartilla_4.pdf

>.

VII. ANEXOS

A continuación se muestran las tablas donde se registran las medias, el espectro y la cantidad de fuerza real empleada para la realización de cada uno de los tres sistemas de labranza expresada en kN.

		L1M0				
	K	Posición inicial y final	# Repetición	Media (V)	Espectral (V)	M + K (K) = FR (kN)
Arado	15.56	800 - 1830	1	0.8484	0.4322	19.926136
			2	0.8042	0.4097	18.888284
			3	1.1977	0.5761	27.600328
		L2M0				
	K	Posición inicial y final	# Repetición	Media (V)	Espectral (V)	M + K (K) = FR (kN)
Cinceles	15.56	900 - 1570	1	1.1714	0.0595	19.152804
			2	1.1647	0.0774	19.327076
			3	1.9103	0.0733	30.864816
		L1M0				
	K	Posición inicial y final	# Repetición	Media (V)	Espectral (V)	M + K (K) = FR (kN)
Rastra	15.56	900 - 1430	1	0.7757	0.0326	12.577148
			2	0.4718	0.0231	7.700644
			3	0.8052	0.0118	12.71252
		L3M0				
	K	Posición inicial y final	# Repetición	Media (V)	Espectral (V)	M + K (K) = FR (kN)
Lab Cero	15.56	900 - 3120	1	0.5836	0.3105	13.912196
			2	0.6309	0.0145	10.042424
			3	1.2224	0.0273	19.445332

L1M1				
<i>Posición inicial y final</i>	<i># Repetición</i>	<i>Media (V)</i>	<i>Espectral (V)</i>	<i>M + K (K) = FR (kN)</i>
800 - 1830	1	1.2685	0.5212	27.847732
	2	1.0055	0.4793	23.103488
	3	1.5601	0.6575	34.505856
L2M1				
<i>Posición inicial y final</i>	<i># Repetición</i>	<i>Media (V)</i>	<i>Espectral (V)</i>	<i>M + K (K) = FR (kN)</i>
1100 - 1930	1	1.1092	0.3069	22.034516
	2	1.153	0.2599	21.984724
	3	1.7801	0.4312	34.407828
L1M1				
<i>Posición inicial y final</i>	<i># Repetición</i>	<i>Media (V)</i>	<i>Espectral (V)</i>	<i>M + K (K) = FR (kN)</i>
900 - 1430	1	0.7933	0.0177	12.61916
	2	0.4998	0.0078	7.898256
	3	0.8212	0.0081	12.903908

L1M2				
<i>Posición inicial y final</i>	<i># Repetición</i>	<i>Media (V)</i>	<i>Espectral (V)</i>	<i>M + K (K) = FR (kN)</i>
800 - 1830	1	2.4687	0.3197	43.387504
	2	1.2791	0.3399	25.19164
	3	1.7626	0.4282	34.088848
L2M2				
<i>Posición inicial y final</i>	<i># Repetición</i>	<i>Media (V)</i>	<i>Espectral (V)</i>	<i>M + K (K) = FR (kN)</i>
1100 - 1930	1	0.789	0.0842	13.586992
	2	1.3915	0.9145	35.88136
	3	1.5695	0.1541	26.819216
L1M2				
<i>Posición inicial y final</i>	<i># Repetición</i>	<i>Media (V)</i>	<i>Espectral (V)</i>	<i>M + K (K) = FR (kN)</i>
1100 - 1720	1	0.7593	0.03	12.281508
	2	0.561	0.0301	9.197516
	3	0.8531	0.0196	13.579212

L1M3				
<i>Posición inicial y final</i>	<i># Repetición</i>	<i>Media (V)</i>	<i>Espectral (V)</i>	<i>M + K (K) = FR (kN)</i>
800 - 1830	1	1.0717	0.5775	25.661552
	2	0.9299	0.5431	22.91988
	3	1.3515	0.7609	32.868944
L2M3				
<i>Posición inicial y final</i>	<i># Repetición</i>	<i>Media (V)</i>	<i>Espectral (V)</i>	<i>M + K (K) = FR (kN)</i>
800 - 1020	1	1.3615	0.0731	22.322376
	2	1.3919	0.1163	23.467592
	3	2.1319	0.1268	35.145372
L1M3				
<i>Posición inicial y final</i>	<i># Repetición</i>	<i>Media (V)</i>	<i>Espectral (V)</i>	<i>M + K (K) = FR (kN)</i>
900 - 1470	1	0.852	0.0248	13.643008
	2	0.5099	0.0206	8.25458
	3	0.8286	0.0111	13.065732

En las siguientes tablas se muestra los datos que se utilizaron para el análisis estadístico del experimento, estos están expresados en Mega Joules.

arado (ancho del implemento 0.9 m)							Labranza convencional
Rep	Fuerza Real (N)	Surcos/ ha	FN * surcos	Constante	J	MJ	arado + rastra
1	19926	111.11	2213977.86	100	221397786	221.397786	281.855425
1	18888	111.11	2098645.68	100	209864568	209.864568	246.878468
1	27600	111.11	3066636	100	306663600	306.6636	367.770184
2	27847	111.11	3094080.17	100	309408017	309.408017	370.06755
2	23103	111.11	2566974.33	100	256697433	256.697433	294.663119
2	34505	111.11	3833850.55	100	383385055	383.385055	445.409776
3	43387	111.11	4820729.57	100	482072957	482.072957	541.107724
3	25191	111.11	2798972.01	100	279897201	279.897201	324.10718
3	34088	111.11	3787517.68	100	378751768	378.751768	444.026021
4	25661	111.11	2851193.71	100	285119371	285.119371	350.701272
4	22919	111.11	2546530.09	100	254653009	254.653009	294.329987
4	32868	111.11	3651963.48	100	365196348	365.196348	427.999803

cinceles (labranza vertical, ancho 1 m)							Labranza vertical
Rep	Fuerza Real (N)	Surcos/ ha	FN * surcos	Constante	J	MJ	cinceles + rastra (MJ)
1	19152	100	1915200	100	19152000	191.5	251.977639
1	19327	100	1932700	100	19327000	193.2	230.2839
1	30864	100	3086400	100	30864000	308.6	369.746584
2	22034	100	2203400	100	22034000	220.3	280.999533
2	21984	100	2198400	100	21984000	219.8	257.805686
2	34407	100	3440700	100	34407000	344.0	406.094721
3	13586	100	1358600	100	13586000	135.8	194.894767
3	35881	100	3588100	100	35881000	358.8	403.019979
3	26819	100	2681900	100	26819000	268.1	333.464253
4	22322	100	2232200	100	22322000	223.2	288.801901
4	23467	100	2346700	100	23467000	234.6	274.346978
4	35145	100	3514500	100	35145000	351.4	414.253455

Labranza cero (ancho del implemento, 3.04 m)

Rep	Fuerza Real (N)	Surcos/ha	FN * surcos	Constante	J	MJ
1	13912	32.89	457565.68	100	45756568	45.756568
1	10042	32.89	330281.38	100	33028138	33.028138
1	19445	32.89	639546.05	100	63954605	63.954605
2	13912	32.89	457565.68	100	45756568	45.756568
2	10042	32.89	330281.38	100	33028138	33.028138
2	19445	32.89	639546.05	100	63954605	63.954605
3	13912	32.89	457565.68	100	45756568	45.756568
3	10042	32.89	330281.38	100	33028138	33.028138
3	19445	32.89	639546.05	100	63954605	63.954605
4	13912	32.89	457565.68	100	45756568	45.756568
4	10042	32.89	330281.38	100	33028138	33.028138
4	19445	32.89	639546.05	100	63954605	63.954605

Tablas de DMS.

TABLAS DE MEDIAS DEL FACTOR A	
FACTOR A	MEDIA
1	365.743042
2	308.807465
3	47.579773

TABLA DE MEDIAS DEL FACTOR B	
FACTOR B	MEDIA
1	210.139053
2	244.197723
3	264.817719
4	243.685852

TABLA DE MEDIAS DE TRATAMIENTO					
FACTOR B					
FACTOR A	1	2	3	4	MEDIA
1	298.8347	370.0468	436.4137	357.677	365.743
2	284.0027	314.9666	310.4597	325.8008	308.8075
3	47.5798	47.5798	47.5798	47.5798	47.5798
MEDIA	210.1391	244.1977	264.8177	243.6859	240.7102