



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA**

---



**DETERMINACIÓN DEL GASTO DE ENERGÍA EN TRES  
SISTEMAS DE LABRANZA MEDIANTE DOS PROCESOS DE  
CÁLCULO.**

Por:

**WILIAM MORALES BARTOLÓN**

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA

**DETERMINACIÓN DEL GASTO DE ENERGÍA EN TRES SISTEMAS DE  
LABRANZA MEDIANTE DOS PROCESOS DE CÁLCULO.**

POR:  
**WILIAM MORALES BARTOLÓN**

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

Co-asesor

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Martín Cadena Zapata**

Co-asesor


  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Santos Gabriel Campos Magaña**

  
\_\_\_\_\_  
**Ing. Jesús Gutiérrez Mariscal**

Universidad Autónoma Agraria  
"ANTONIO NARRO"

Coordinador de la División de Ingeniería

  
\_\_\_\_\_  
**M. C. Luis Rodríguez Gutiérrez**

  
**Coordinación de  
Ingeniería**

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios nuestro creador por darme la existencia, la salud y sus grandes bendiciones. Por brindarme la familia, amigos y personas que son parte fundamental en mi vida.*

*A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por darme la oportunidad de ser parte de esta gran institución, por el conocimiento adquirido, por las personas que conocí en la trayectoria de mi carrera, y por los momentos maravillosos que viví durante mi estancia en mi Alma Terra Mater, que al final representa para mí un gran orgullo y satisfacción ser egresado de la UAAAN.*

*A mis asesores Dr. Martín Cadena Zapata y el Dr. Santos Gabriel Campos Magaña, quienes dirigieron el proceso de esta tesis, por el gran conocimiento que me transmitieron, la dedicación y disponibilidad profesional, por la confianza y amistad brindada. Por apoyarme a concluir esta investigación satisfactoriamente y por los buenos consejos sociales y profesionales que me impartieron.*

*Al M.C. Héctor Uriel Serna Fernández por los consejos y enseñanzas, por los conocimientos adquiridos, y la confianza brindada.*

*A los profesores del Departamento de Maquinaria Agrícola, M.C. Juan Arredondo Valdez, M.C. Mario Alberto Dorado, M.C. Juan Antonio Guerrero Hernández, M.C. Tomas Gaytán Muñiz, M.C. Blanca Elizabeth de la Peña Casas, M.C. Genaro Demuner Molina, Ing. Rosendo Gonzales Garza, Dr. Rodolfo Valenzuela García, por los conocimientos, enseñanzas y consejos que me transmitieron durante toda la carrera.*

*Al Ing. Jesús Gutiérrez Mariscal, Ing. Ariel Méndez Cifuentes, Ing. Juan Carlos, M.C. Juan Antonio López López, M.C Neftalí Cuervo Piña y M.C Marco Antonio Reynolds Chávez, por el apoyo incondicional y confianza que me brindaron para el cumplimiento de esta tesis.*

*A todas las personas que de alguna manera contribuyeron en el logro de mi proyecto de tesis y de toda la carrera, a mis **compañeros de la generación CXVIII.***

*¡Gracias!*

## DEDICATORIAS

*Esta tesis es dedicada a los seres queridos que han influido en gran manera en mi vida, estas humildes palabras van dirigidas a ustedes como muestra de mi aprecio y cariño.*

### *A mi padre:*

*Sr. Julio Morales Mazariegos por haberme traído al mundo, por darme una enseñanza y educación de la mejor manera, por enseñarme a trabajar y seguir con las metas que me planteo. El esfuerzo que haz hecho se ve reflejado en este gran logro alcanzado de mi vida, tus consejos y llamadas de atención fueron puntos clave para conseguir estas metas.*

### *A mi madre:*

*Sra. Beatriz Bartolón Zunún por haberme traído al mudo, que aunque ya no estés conmigo, desde donde estés sé que te sientes orgullosa de mí, comparto este logro y alegría contigo.*

### *A mis hermanos:*

*Teresa Morales Bartolón, Ever Obed Morales Bartolón, Vilgail Leonel Morales Bartolón, Elida Morales Bartolón e Iván Morales Bartolón, por el apoyo incondicional brindado durante todos mis estudios, por los consejos y experiencias ofrecidas, por estar conmigo en los momentos más difíciles de mi vida y ayudarme en todos los aspectos en mi formación como persona.*

*A mi novia:*

*Dulce Maleni Martínez Martínez por apoyarme moralmente y ser parte de mi vida, por compartir momentos maravillosos y también difíciles, por brindarme tu cariño y aprecio.*

*Y a aquellas personas que creyeron en mí y que me apoyaron con consejos y experiencias compartidas*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1	Antecedentes y descripción del problema .....	2
1.2	Objetivos.....	5
1.2.1	Objetivo general .....	5
1.2.2	Objetivos específicos .....	5
1.3	Hipótesis.....	5
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
2.1	La labranza: definición y sus funciones .....	6
2.2	Sistemas de labranza .....	6
2.2.1	Labranza convencional .....	7
2.2.2	Labranza vertical .....	8
2.2.3	Labranza cero .....	9
2.3	Importancia del estudio del suelo .....	11
2.3.1	Suelo Franco-Arcilloso .....	11
2.4	Rotación de cultivos .....	12
2.5	Mejoradores de suelo .....	12
2.5.1	Uso del Algaenzima .....	13
2.6	Uso de energía en la labranza.....	14
2.7	Cálculo de Fuerza .....	16
2.7.1	Transductor integral .....	18
III.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	20
3.1	Campo experimental .....	20
3.1.1	Entorno fisiográfico .....	20
3.1.2	Especificación de parcelas experimentales .....	21
3.2	Esquema de proceso de metodología .....	22
3.3	Banco de calibración .....	22
3.3.1	Estructura flotante.....	23
3.4	Equipo para adquisición de datos.....	23
3.4.1	Softwares .....	24
3.5	Calibración de sensores .....	25
3.5.1	Sensor Amarillo.....	27
3.5.2	Sensor verde.....	28
3.6	Determinación de parámetros en campo.....	29

3.6.1	Humedad del suelo .....	29
3.6.2	Ancho de trabajo .....	30
3.6.3	Velocidad de trabajo .....	30
3.6.4	Profundidad de trabajo.....	31
3.6.5	Patinaje.....	32
3.7	Montaje de transductor integral al tractor .....	33
3.7.1	Configuración del sistema de adquisición de datos para obtener las fuerzas. ....	34
3.7.2	Laboreo con diferentes implementos .....	36
3.8	Análisis de datos obtenidos .....	37
3.8.1	Determinación de fuerzas por análisis espectral.....	37
3.8.2	Energía específica .....	38
3.8.3	Energía neta .....	39
3.8.4	Energía neta por método de área bajo la curva .....	40
3.8.5	Procesamiento de datos en análisis estadístico .....	41
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
4.1	Energía neta .....	42
4.2	Energía específica.....	44
4.3	Energía neta por proceso del área bajo la curva .....	46
4.4	Resultados de análisis estadístico de datos .....	49
4.4.1	Energía específica en rotación de cultivos: maíz-frijol 2013 .....	49
4.4.2	Energía específica en monocultivo: avena 2014.....	50
4.4.3	Energía neta en rotación de cultivos: maíz-frijol 2013.....	51
4.4.4	Energía neta en monocultivo: avena 2014.....	52
4.4.5	Energía neta por área bajo la curva en rotación de cultivos: maíz-frijol 2013.....	53
4.4.6	Energía neta por área bajo la curva en monocultivo: avena 2014 .....	54
4.5	Comparación de resultados.....	55
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	58
VI.	LITERATURA CITADA.....	59
VII.	ANEXOS .....	63
Anexo A.	Orden en que se subieron y bajaron los contrapesos de la canastilla del banco de calibración.....	63
Anexo B.	Tractor New Holland 6810, utilizado para las pruebas en campo. ....	63
Anexo C.	Identificación de canales por cada sensor en el programa DaqView.....	64



Anexo D. Cuadro de pruebas realizadas en campo .....	64
Anexo E. Comando-programa completo: <i>energianeta</i> .....	65
Anexo F. Ejemplo del uso del comando-programa: <i>energianeta</i> .....	69
Anexo G. Tablas de análisis de varianza por cada ciclo y tipo de energía .....	72
Anexo G: Tablas de resultados de parámetros para calcular energía. ....	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Sistema de simulación de fuerzas (SSF).	4
Figura 2.1. Arado de discos empleado en labranza convencional.	8
Figura 2.2. Arado de cincelos empleado para la labranza vertical.	9
Figura 2.3. Siembra en labranza cero.	10
Figura 2.4. Mejorador de suelos Algaenzima.	13
Figura 2.5. Método para aumentar la capacidad del pesaje de una unidad. Tomando momentos alrededor del pivote.	17
Figura 2.6. Dinamómetro hidráulico.	17
Figura 2.7. Fuerza de tracción (F) e índice de cono (IC) para tres implementos de labranza y diferentes contenidos de agua del suelo.	18
Figura 3.1. Localización del terreno experimental.	20
Figura 3.2. Distribución de parcelas del terreno experimental.	21
Figura 3.3. Mapa conceptual de metodología.	22
Figura 3.4. Estructura de banco de calibración.	22
Figura 3.5. Estructura flotante y posicionamientos de los sensores octagonales.	23
Figura 3.6. Acomodo de contrapesos en la canastilla del banco de calibración.	26
Figura 3.7. Gráfica de línea ajustada para el sensor amarillo.	28
Figura 3.8. Gráfica de línea ajustada para el sensor amarillo.	29
Figura 3.9. Medición del ancho de trabajo de dos corridas.	30
Figura 3.10. Medición de profundidad de trabajo de una labor.	31
Figura 3.11. Patinaje de tractor. (a) Distancia con el implemento levantado. (b) Distancia con el implemento trabajando.	32
Figura 3.12. Transductor integral acoplado al tractor.	33
Figura 4.1. Gráfica de medias de energía específica en rotación de cultivos: maíz-frijol 2013.	50
Figura 4.2. Gráfica de medias de energía específica en monocultivo: avena 2014.	51
Figura 4.3. Gráfica de medias de energía neta en rotación de cultivos: maíz-frijol 2013.	52
Figura 4.4. Gráfica de medias de energía neta en monocultivo: avena 2014.	53
Figura 4.5. Gráfica de medias de energía neta por área bajo la curva en maíz-frijol 2013.	54
Figura 4.6. Gráfica de medias de energía neta por área bajo la curva en avena 2014.	55
Figura 4.7. Energía específica 2013 y 2014.	55
Figura 4.8. Comparación de energía neta entre 2013 y 2014.	56
Figura 4.9. Comparación de energía neta con método de área bajo la curva 2013 y 2014.	56
Figura 4.10. Comparación entre energía neta con el proceso convencional y el método de área bajo la curva.	57

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1. Clasificación de sistemas de labranza con base a sus características.....	7
Cuadro 2.2. Desempeño de la configuración de tractor- implemento. ....	16
Cuadro 2.3. Medias de energía requerida por sistema de labranza.....	19
Cuadro 3.1. Datos de pesos de contrapeso en Newtons y puntos promedios definidos en miliVolts del sensor amarillo.....	27
Cuadro 3.2. Datos de pesos de contrapeso en Newtons y puntos promedios definidos en mV del sensor verde. ....	28
Cuadro 3.3. Suma de energías por sistema de labranza. ....	41
Cuadro 4.1. Energía neta 2013 en maíz-frijol.....	42
Cuadro 4.2. Sumatorias de energía neta 2013 en maíz y frijol. ....	42
Cuadro 4.3. Energía neta 2014 en avena forrajera. ....	43
Cuadro 4.4. Sumatorias de energía neta 2014 en avena forrajera. ....	43
Cuadro 4.5. Energía específica en maíz-frijol 2013. ....	44
Cuadro 4.6. Sumatorias de energía específica en maíz-frijol 2013.....	44
Cuadro 4.7. Energía específica en avena 2014. ....	45
Cuadro 4.8. Sumatorias de energía específica en avena 2014. ....	45
Cuadro 4.9. Energía neta en maíz-frijol 2013.....	47
Cuadro 4.10. Sumatorias de energía neta en maíz-frijol 2013.....	48
Cuadro 4.11. Energía neta en avena 2014. ....	48
Cuadro 4.12. Sumatorias de energía neta en avena 2014.....	49
Cuadro 4.13. Tabla de DMS de energía específica en rotación de cultivos: maíz-frijol 2013.....	49
Cuadro 4.14. Tabla de DMS de energía específica en monocultivo: avena 2014.....	50
Cuadro 4.15. Tabla de DMS de energía neta en rotación de cultivos: maíz-frijol 2013.....	51
Cuadro 4.16. Tabla de DMS de energía neta en monocultivo: avena 2014.....	52
Cuadro 4.17. Tabla de DMS de energía neta por área bajo la curva en maíz-frijol 2013.....	53
Cuadro 4.17. Tabla de DMS de energía neta por área bajo la curva en avena 2014.....	54

## RESUMEN

La presente tesis tuvo como propósito la determinación del gasto de energía en un suelo franco-arcilloso aplicando un mejorador de suelo “Algaenzimas”, esto se hizo con tres sistemas de labranza: convencional, vertical y cero. Este trabajo pretende mostrar la energía en los tres tipos de labranza y conocer la cantidad de potencia que necesita el tractor por sistema de labranza. Se hicieron pruebas en dos ciclos, después de la cosecha de maíz-frijol (Diciembre de 2013) y después de la cosecha de avena (Junio de 2014). Se determinaron las fuerzas de reacción del suelo utilizando un transductor integral, para las pruebas de campo se trabajó con tres sensores octagonales (rojo, amarillo y verde), para la calibración se utilizó el banco de calibración, el resultado de las calibraciones tuvo un índice de confiabilidad de 100 %. Para la adquisición de los datos se utilizó un amplificador-acondicionador y un convertidor analógico-digital, que trabajan en conjunto con el software DaqView 9.1.27. Se aplicó el método de cálculo de energía neta por el área bajo la curva para los diferentes cultivos, y así, fue posible crear un comando-programa en Matlab que agiliza su procedimiento.

Los resultados de energía neta (EN) en labranza convencional fueron 386.8 MJ/Ha en 2013 y 299.4 MJ/Ha en 2014, y de energía específica (EE) fueron 203.5 J/kg en 2013 y 190.8 J/kg en 2014. Para EN en labranza vertical 210.5 MJ/Ha en 2013 y 216.5 en 2014, y de EE fueron 161.9 J/kg en 2013 y 216.6 J/kg en 2014. Los resultados de EN en labranza cero fueron 28.19 MJ/Ha en 2013 y 30.1 MJ/Ha en 2014, en EE tuvo 45.8 J/kg en 2013 y 49.1 J/kg en 2014. Concluyendo que el sistema de labranza que presentó mayor demanda de energía es la convencional, seguido de la vertical que presentan una mínima diferencia entre sí, y finalmente tenemos a la labranza cero que resultó tener los valores más bajos en el gasto de energía.

**Palabras clave:** Transductor integral, energía, mejorador de suelo, calibración, potencia.

## I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de labranza son prácticas que permiten las labores agrícolas, entre las que resaltan control de malezas, creación de camas de semillas que lleven a una buena germinación y asentamiento del cultivo, incorporación de fertilizantes y pesticidas al suelo, integración de materia orgánica y residuos del cultivo anterior. La labranza consiste comúnmente en la inversión y esponjamiento de la capa superficial del suelo (15-30 cm) a través del arado y rastra que, cuando se operan con una humedad adecuada del suelo, resultan en una disgregación y ablandamiento mejorando las propiedades físicas para su posterior uso (Acevedo y Martínez, 2003).

Cuando se habla de labrar el suelo es indispensable abordar el tema de consumo de energía en el tractor, la decisión que más condiciona el consumo de combustible en un trabajo agrícola es la selección de los cultivos, así como el tipo y el número de operaciones agrícolas a desarrollar en cada uno de ellos. Es necesario ahorrar combustible para disminuir los costos de producción, pero también para controlar y disminuir las contaminaciones que se producen con la actividad agraria. Se deben comparar opciones diferentes para lograr unas medidas reales de ahorro de combustible, tales como, la estructura de la explotación (superficie cultivada, tamaño y concentración de las parcelas de cultivo), la sucesión de los cultivos, los trabajos a realizar en cada uno de ellos y los tipos de suelos son factores que influyen mucho en el consumo de combustible utilizado (IDAE, 2005).

Las necesidades de energía en la agricultura han crecido rápidamente en todo el mundo en los últimos 15 años. Se necesita más energía, en general, y en determinadas épocas del año, en particular, por ello es necesario aplicar la mecanización agrícola, la cual no debe confundirse con tractorización, pues esta última es el empleo de tracción mecánica y sólo es un componente más de la mecanización agrícola (Navarro *et al.*, 2000).

Al reducir el gasto energía en operaciones de labranza surge el favorecimiento de la disminución de costos y un menor consumo de combustibles fósiles en los sistemas

de producción. Lo anterior se puede generar si se establecen apropiadas interacciones entre geometría de implementos, configuraciones o arreglos de posiciones entre los mismos, esto es posible si se toma en cuenta los parámetros del suelo que pueden ser la profundidad de trabajo y la humedad en el perfil (Cadena *et al.*, 2012).

Debido a los pocos conocimientos de los agricultores acerca del funcionamiento y las necesidades de la fuerza de tracción para los implementos, así como la potencia necesaria consumida por cada implemento para efectuar sus labores, se hace necesario conocer con precisión la magnitud y dirección de las fuerzas de reacción del suelo sobre un implemento, por lo que se requiere contar con instrumentos capaces de medir en forma precisa dichos parámetros para la evaluación de implementos capaces de medir en forma precisa dichos parámetros para la evaluación de implementos de labranza bajo condiciones de campo. (Campos *et al.*, 2004).

Campos (2004) indica que los procesos de desarrollo necesitan de una gran cantidad de tiempo antes de ser adecuadamente confiables para entrar en un proceso de fabricación y comercialización con productores, en México son escasas las industrias de maquinaria agrícola que siguen el proceso de desarrollo y menos aun las que gastan en tecnología para brindar un producto de calidad a los productores agropecuarios, por lo tanto, la mediana y pequeña industria de maquinaria agrícola en general se basan en la tecnología que se ha desarrollado en otros países para condiciones de trabajo diferentes a las de México e inclinándose, en la mayoría de las veces, por la disminución de costos en materiales que son decisivos para un buen funcionamiento y durabilidad de los equipos y herramientas modificando muchas veces el diseño de la maquinaria.

### **1.1 Antecedentes y descripción del problema**

Desde inicios de la década de 1960 los agricultores han utilizado la labranza de conservación para cuidar el suelo del planeta, disminuir el combustible utilizado en la

labranza y evitar la contaminación del medio ambiente. A pesar de esto, los agricultores sugerían que el uso de tales técnicas podía causar el riesgo de un menor crecimiento de las plantas (Baker *et al.*, 2009).

En México existen varios métodos de labranza como tipos de suelos y clima, lo que impide utilizar un sólo método de labranza. Cada situación requiere de un estudio particular, además de contar con la maquinaria eficaz para lograr una buena cama de siembra, se debe poseer la tecnología para su operación, mantenimiento y conservación (Inostroza y Méndez, 2009).

Para una buena selección del sistema de labranza a utilizar es necesario partir del objetivo principal seguido con la labor a realizar y del conocimiento del cultivo que se sembrará, sin olvidar que se debe considerar siempre el tipo de suelo, su estructura y su estado en el momento de realizar la labor en sus propiedades físicas (IDAE, 2006).

Camacho y Rodríguez (2007) mencionan que la labranza primaria afecta en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Actualmente se ha iniciado el estudio e implantación de la labranza de conservación.

La producción maíz y frijol es proporcional a la intensidad de laboreo aplicado, la labranza profunda permite mayor penetración y distribución de sus raíces, en la labranza vertical se recomienda hacer estudios donde en vez de solo hacer corridas longitudinales, también se hagan corridas cruzadas (Cabrera, 1996). Por otra parte Bravo y Florentino (1997) mencionan que la labranza convencional en un suelo franco arcilloso a una profundidad de 20-30 cm retiene una humedad y un desarrollo de raíces menos favorables para el cultivo.

El efecto del laboreo en las propiedades físicas del suelo define el comportamiento físico de la estructura del suelo. Cuando se evalúan el contenido de humedad y la

densidad aparente en los diferentes sistemas de labranza, presentan una tendencia mayor en los sistemas de laboreo mínimo (Navarro *et al.*, 2000).

El suelo es afectado por la mayoría de sistemas de laboreo que provocan la degradación del suelo y pérdida o reducción de sus funciones. Para prevenir su degradación se necesitan datos confiables como insumo para el diseño de sistemas de uso de la tierra y prácticas de manejo de los suelos apropiados (FAO, 2009).

El desarrollo y la evaluación de las herramientas de labranza parten de procesos semiempíricos basados en las experiencias de agricultores innovadores que exploran nuevas alternativas que les ayude en el aspecto económico, y obtienen un menor gasto en mano de obra y de energía a diferencia de sistemas tradicionales de producción (Campos, 1995).

Campos *et al.* (2004) diseñaron un transductor de fuerzas de octagonal extendido, con capacidad de fuerza de tiro y penetración de 5 kN que permite la medición de las fuerzas  $F_x$ ,  $F_y$  y el momento. Dicho dispositivo presento una confiabilidad del 85% con relación al condicionamiento del suelo indicado por la resistencia a la penetración. En la figura 1.1 se aprecia el diseño mencionado con los componentes: (1) Transmisión de desplazamiento-fuerza de tiro (2).Herramienta acondicionadora de suelo. (3) Transductor octagonal. (4) Convertidor analógico digital. (5) Tanque de suelos. (6) Carro porta implementos.

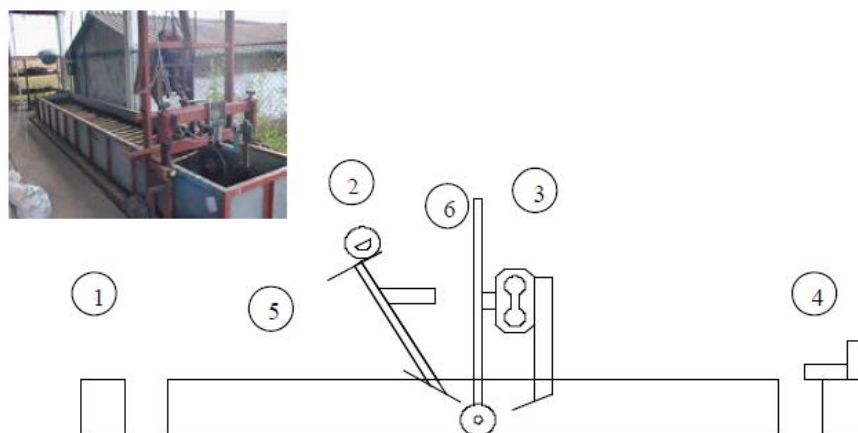


Figura 1.1 Sistema de simulación de fuerzas (SSF).



## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Calcular el gasto de energía que demanda el tractor en un suelo franco arcilloso utilizando un mejorador de suelo (Algaenzima), aplicado en tres sistemas de labranza: convencional, vertical y cero labranza.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Comparar el gasto de energía entre dos tipos de cultivos en diferentes temporadas de cosecha (maíz-frijol en 2013 y avena 2014).
- Incluir una guía sobre los pasos para calcular el gasto de energía para posteriores consultas.
- Aplicar el método del área bajo la curva en términos de fuerza y distancia para la obtención de energía que requiere el suelo para ser labrado.

## **1.3 Hipótesis**

Es posible conocer la cantidad de energía y potencia que requiere el suelo franco arcilloso en combinación con un mejorador orgánico que permita proponer la intensidad de laboreo que reduzca el gasto de energía.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 La labranza: definición y sus funciones

El suelo es un recurso natural básico necesario para la producción de la mayoría de los alimentos. En la agricultura abastece de nutrientes y sirve de soporte a las plantas. La capa superficial es la más fértil y presenta la mayor actividad física y biológica, fundamental para la producción agrícola. En la mayoría de los casos, para que el suelo pueda producir los cultivos es imprescindible aplicar la labranza. (Valverde *et al.*, 2004).

En la actualidad, la mayoría de los agricultores practica un sistema de preparación de suelo denominada labranza. Este sistema es una serie de objetivos que en la actualidad pudieran no tener la misma validez de antes. Puesto que se han producido notables adelantos tecnológicos aplicables en la agricultura (Riquelme, 2004).

La labranza o preparación del suelo es una de las actividades rutinaria y obligatoria en la mayoría de los sistemas agrícolas. Con frecuencia, la preparación de la tierra inicia con la quema de la vegetación del barbecho o de residuos de los cultivos anteriores de modo de limpiar la tierra y espantar animales salvajes o serpientes. Las principales funciones de la labranza del suelo son la preparación de la cama de semillas, manejar los residuos de los cultivos, incorporar fertilizantes y agroquímicos, controlar las malezas, romper las capas compactadas, aumentar la infiltración de agua, dar forma a la superficie: nivelar, surcar, entre otros (FAO, 2014).

### 2.2 Sistemas de labranza

Entre las principales causas para la degradación del de los suelos, se destaca la aplicación de sistemas de labranza que usan técnicas inadecuadas para la preparación del suelo. La búsqueda de alternativas viables que aporten a un desarrollo agrícola equilibrado de los terrenos cultivables, con una reducción del

daño ocasionado a la naturaleza, son la implementación de los sistemas de labranza apropiada para cada tipo de suelo y cultivo, ya que brindan la posibilidad de reducir la degradación de los suelos y el aumento de producción en la siembra. (Valverde *et al.*, 2004).

Colón *et al.* (1998) mencionan que existen tres diferentes tipos de labranza que se clasifican de acuerdo a como se trabaje el suelo, esta clasificación se puede apreciar en el cuadro 2.1. El primero es la labranza cero y se refiere a sembrar el cultivo sin remover el suelo. El segundo es la labranza vertical que consiste en utilizar el arado de cinceles, el cual no daña en gran manera el suelo. El último sistema de labranza es la convencional, el cual trata sobre el uso del arado de discos seguidamente por la rastra.

Cuadro 2.1. Clasificación de sistemas de labranza con base a sus características.

Elementos del suelo	Labranza Convencional	Labranza Vertical	Labranza Cero
Materia Orgánica	Se reduce su contenido en el suelo	Conserva la materia orgánica en el suelo	Conserva la materia orgánica en el suelo
Estructura	Produce compactación del suelo	No destruye la estructura del suelo	En suelos duros es difícil la agricultura
Humedad	Al voltear el suelo se pierde humedad	Conserva la humedad	En suelos pesados (barro) se encharcan
Fertilidad	Al acabar con la materia orgánica se baja la fertilidad	Mantiene la fertilidad del suelo	Se mantiene
Micro y macro-organismos	La destruye	Se conserva	Se conserva

Fuente: Colón *et al.*, 1998

### 2.2.1 Labranza convencional

La labranza convencional se define como el sistema de preparación de suelo que utiliza arados de vertedera o de disco (figura 2.1) para dar la profundidad de labor e invertir el suelo y un número limitado de rastros con rastras de discos o de clavos, vibrocultivador, rotofresadoras, rotovatores, etc. Se diferencia de los otros sistemas

de labranza por eliminar la labor de cruza y recruza. De igual forma mueve una gran cantidad de suelo, y deja la superficie sin cobertura vegetal (Inostroza *et al.*, 2009).



Figura 2.1. Arado de discos empleado en labranza convencional.

Durante muchos años la labranza convencional ha sido y es muy utilizada en la producción de cultivos. Este método consiste en dejar la superficie del suelo completamente descubierta, con tamaños de partícula de suelo muy pequeños y con pocos o ningún residuo de plantas; frecuentemente se usa al arado, seguido de varios pases de rastra o cultivadoras para remover el suelo. Este sistema de labranza es un método usado frecuentemente en varios sistemas de producción, sin embargo, tienen efectos negativos como aumento en la erosión, disminución del contenido de materia orgánica y alteración de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, así como un mayor consumo de combustible y uso de mano de obra (Pitty, 1997).

### **2.2.2 Labranza vertical**

En los inicios de la agricultura, el hombre comenzó a romper la tierra mediante un rudimentario arado de madera. De forma puntiaguda, el tronco penetraba al suelo en forma parecida a como lo hace en nuestros días el cincel más moderno como se muestra en la figura 2.2. Hoy la ciencia nos brinda una nueva generación de cinceles formas alineadas eficientes para el laboreo del suelo. La excelencia de la reja tiene

ahora un sustituto de mejor alternativa para el laboreo de suelos secos: el cincel de alta penetración (Noya, 1990).



Figura 2.2. Arado de cinceles empleado para la labranza vertical.

La labranza vertical también puede ser llamada como labranza mínima o conservacionista, el deterioro del estado físico del suelo puede disminuir mediante este sistema de labranza. El tratamiento de cincelado reduce la densidad aparente y la resistencia mecánica a la penetración, evidenciando una mejora en la condición del suelo y la intensidad de su efecto varía en función del grado de compactación del suelo, este tipo de labranza aumenta el rendimiento en la producción del cultivo (Paredes *et al.*, 2004).

Con este sistema de manejo de suelo se busca alterar el mínimo su condición, sólo lo suficiente para que desarrolle el cultivo con el objetivo de reducir los requisitos de energía y trabajo para la producción del cultivo, conservar la humedad del suelo disminuyendo la erosión y reducir el tráfico de la máquina sobre el campo evitando la compactación (Riquelme, 2004).

### **2.2.3 Labranza cero**

Se denomina cero labranza o no labranza al establecimiento de un cultivo sin preparación de suelo de forma tradicional (ver figura 2.3). La semilla se localiza en

surcos o agujeros sin remover el suelo, con un ancho y profundidad suficiente para una adecuada cobertura y contacto de la semilla con el suelo. Esta práctica disminuye las pérdidas de suelo por erosión, requiere menores costos en el establecimiento de los cultivos, contribuye a mejorar la fertilidad natural, las características físicas de los suelos y con ello se logra una mayor productividad (Ruiz y Riquelme, 2009).



Figura 2.3. Siembra en labranza cero.

Uribe y Rouanet (2001) indican que todos los sistemas de mínima labranza, en particular el sistema de cero labranza, resultan en regímenes de aire y agua del suelo que son favorables para el crecimiento de las plantas, a pesar de su diferente influencia en la estructura del suelo, en los parámetros hidrofísicos y en la estructura de los espacios porosos. Estos regímenes de aire y agua, son similares a los que se registran en suelos arados, sin embargo, en suelos con mínima labranza, el uso del agua es más eficiente.

Las ventajas de la cero labranza son el ahorro de combustible que puede reducirse hasta un 80 %, el ahorro de tiempo que se utiliza en la preparación del suelo, ahorro de mano de obra, existe más flexibilidad de tiempo para tomar decisiones más tardías con respecto a los cultivos a ser realizados en un campo o estación de datos, incremento de la materia orgánica que es causado al dejar los residuos de los cultivos anteriores sobre la superficie del suelo, incremento del nitrógeno del suelo,

preservación de la estructura del suelo, preservación de las lombrices de tierra y otra fauna del suelo, mejor aireación, mejor infiltración de agua, prevención de la erosión del suelo, conservación de la humedad del suelo, disminución de la necesidad de riegos, reducción de la germinación de malezas, mejoramiento del drenaje interno, reducción de la contaminación de las corrientes de agua, incremento de los rendimientos del cultivo y expectativa de mejoramientos futuros (Baker *et al*, 2009).

Las desventajas de la labranza cero según Baker *et al.* (2009) son el riesgo del fracaso de los cultivos, la necesidad de tractores más grandes y nueva maquinaria, nuevos problemas de plagas y enfermedades, los campos no se nivelan, la resistencia del suelo puede variar dentro de un campo, los fertilizantes son más difíciles de incorporar, la incorporación de los pesticidas es más dificultosa, alteración de la disponibilidad de nitrógeno, uso de agroquímicos, cambio de las especies dominantes de malezas, es fundamental la selección de la sembradora en la labranza cero y la apariencia descuidada del campo.

### **2.3 Importancia del estudio del suelo**

Las propiedades físicas de los suelos, determinan la capacidad de muchos de los usos a los que el hombre los sujeta. La condición física de un suelo, determina, la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes. Se considera necesario para las personas involucradas en el uso de la tierra, conocer las propiedades físicas del suelo, para entender en qué medida y cómo influyen en el crecimiento de las plantas, en qué medida y cómo la actividad humana puede llegar a modificarlas, y comprender la importancia de mantener las mejores condiciones físicas del suelo posibles (Rucks *et al.*, 2004).

#### **2.3.1 Suelo Franco-Arcilloso**

El suelo denominado franco arcilloso es un suelo de textura fina que usualmente se quiebra en terrones duros cuando éstos están secos. El suelo en estado húmedo al

oprimirse entre el pulgar y el resto de los dedos formará una cinta que se quebrará fácilmente al sostener su propio peso. El suelo húmedo es plástico y formará un molde que soportará bastante al manipuleo. Cuando se amasa en la mano no se destruye fácilmente sino que tiende a formar una masa compacta (INIA, 2005).

## **2.4 Rotación de cultivos**

La rotación de cultivos es un sistema en el cual éstos se siembran en una sucesión reiterativa y en una secuencia determinada sobre un mismo terreno. Algunas pruebas indican que este sistema influye en la producción de las plantas, afectando la fertilidad, la erosión, la microbiología y las propiedades físicas del suelo. Las rotaciones son el medio primario para mantener la fertilidad del suelo y lograr el control de malezas, plagas y enfermedades en los sistemas agrícolas orgánicos (Altieri, 1999).

La rotación de cultivos es especialmente importante para controlar las enfermedades en sistemas de labranza superficial. Existe una mayor posibilidad de que ciertas enfermedades de la planta aumenten al sembrar un cultivo en el propio residuo proveniente de la temporada anterior, sin un período de barbecho, que al sembrar un cultivo en el residuo de un cultivo no relacionado. La rotación de sistemas de labranza es otra forma de disminuir enfermedades asociadas con la labranza reducida. La inclusión de la rotación de labranza más la rotación de cultivos es un excelente método para manejar las enfermedades. Esto podría realizarse, de tal forma, que se pueda retener de un 20% a un 30% de los residuos superficiales, brindando los beneficios de la labranza de superficie y, al mismo tiempo, reduciendo el potencial brote de enfermedades (Altieri, 1999).

## **2.5 Mejoradores de suelo**

Los mejoradores del suelo son recursos naturales de extraordinaria importancia para corregir limitantes en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos con vocación agrícola. De ahí la conveniencia que los productores conozcan los efectos



benéficos de los abonos orgánicos, los abonos verdes y las enmiendas o cales para mejorar la productividad de los suelos, corregir los problemas de la acidez que se presentan en los cultivos y restaurar los desbalances nutricionales para obtener mayores rendimientos y mejor rentabilidad (Blanco, 2006).

### 2.5.1 Uso del Algaenzima

La algaenzima es un vigorizante de las plantas 100% orgánico, mejorador de suelos y potenciador de los insumos agrícolas, para ser utilizado en todo tipo de cultivos (ver figura 2.4). Esta elaborado a base de extractos de Algas Marinas y plantas desérticas que, en conjunto, da energía al crecimiento y desarrollo de las plantas y corrige las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo, dando así, como resultado, una excelente calidad y rendimientos en las cosechas. Optimiza la agricultura convencional y va con la agricultura orgánica y sustentable (Palau Bioquim, 2013).



Figura 2.4. Mejorador de suelos Algaenzima.

El efecto que produce en las plantas es que las hace más vigorosas y sanas, el aumento de la biomasa, mayor tamaño en las raíces, fija el nitrógeno del aire aun en las no leguminosas, aumenta la vida de anaquel de los cultivos, optimiza el efecto de los fertilizantes y agroquímicos, plantas más resistentes a plagas y enfermedades, alimentos más sanos. Por otra parte, el efecto en el suelo es significativo, lleva a cualquier suelo a textura franca con el uso continuo de este mejorador, desaliniza y

desodifica los suelos, más eficiencia del agua de riego favorece la propagación de microorganismos benéficos indígenas del suelo, favorece el ahorro de agua, menor gasto en fertilizantes y agroquímicos, desintoxica al suelo, ajusta el pH, incrementa la materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes, mejora la estructura de suelo (Palau bioquim, 2013)

## **2.6 Uso de energía en la labranza**

La labranza, junto con la preparación de la cama de semillas, puede contribuir fuertemente al consumo de energía de los sistemas de producción de cultivos. El consumo de combustible diésel para el arado usado en los sistemas de labranza tradicional, varía de 60 a 80 litros por hectárea. La labranza de conservación presenta ahorros significativos en términos energéticos sin poner en riesgo la productividad. Las faenas de labranza y los productos químicos basados en petróleo como fertilizantes y pesticidas son insumos energético - intensivos. Los sistemas de labranza tradicional son los más intensivos en términos energéticos, mientras que los sistemas de cero labranza son los menos intensivos (Acevedo y Martínez, 2003).

La decisión que más condiciona el consumo de combustible en el laboreo del suelo agrícola es la selección de los cultivos, así como el tipo y el número de operaciones agrícolas a desarrollar en cada uno de ellos, pero una vez tomada esta decisión, la selección y adaptación de la maquinaria utilizada a los trabajos previstos, y la ejecución de los mismos, puede modificar notablemente dichos consumos. Se recomienda primero determinar el número de tractores necesarios, la potencia de cada uno de ellos y el equipamiento básico que deben tener en función de su uso, dimensionando correctamente el parque de maquinaria de cada explotación agrícola. Aproximadamente el 65% del total de combustible del laboreo de suelos es consumido por el tractor (IDAE, 2005).

Altieri (1999) describe que en muchos sistemas sin labranza se necesita menos energía para las operaciones de labranza. Los beneficios de ahorrar energía en la labranza de conservación son menor consumo de combustible debido a las

reducidas operaciones agrícolas, menor necesidad de tiempo y mano de obra, posibilidad de duplicar los cultivos y menor inversión en maquinaria agrícola. Sin embargo, algunas actividades como el alto consumo de herbicidas, uso de semillas especiales y equipo demandan más energía. Dado que se elimina el arado, y otras operaciones sobre el suelo, estos sistemas dan por resultado, reducciones del 34% al 76% en combustible en las operaciones de labranza.

Debido al 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: con la doble velocidad (8 km/h en vez de 4 km/h) se duplica el rendimiento pero se necesitan cuatro veces más energía y combustible (FAO, 2000).

La eficiencia de energía de un tractor se mide mediante su consumo específico (g/kWh): que es la cantidad de combustible consumido para realizar algún tipo de labor (kWh). Es más recomendable medir el gasto de combustible en (l/ha), que es el consumo de gasóleo en litros por cada hectárea de terreno trabajado, esto se mide gracias a muchos parámetros del suelo, así como también del equipo utilizado para las labores correspondientes (IDAE, 2005).

Cadena *et al.* (2004) estudiaron el desempeño de implementos de labranza en términos de consumo de energía y calidad de trabajo, el experimento se realizó en un suelo arcilloso, teniendo como resultado significativo que el arado de discos es el que demanda mayor consumo de combustible sobre los otros implementos utilizados (ver cuadro 2.2) . Los implementos de labranza vertical, desde el punto de vista tecnológico, y del ahorro de consumo de energía, representan una opción de menor costo para la preparación de suelos.

Cuadro 2.2. Desempeño de la configuración de tractor- implemento.

Implemento	Ancho de trabajo (m)	Profundidad de trabajo (m)	Velocidad (km h <sup>-1</sup> )	Patinaje (%)	Capacidad teórica (ha h <sup>-1</sup> )	Consumo de Comb. (L ha <sup>-1</sup> )	Fuerza de tiro (kN)	Potencia (kW)
Arado de discos	0.68 (E)	0.152 (A)	4.45 (BC)	1.28 (D)	0.31(C)	20.00 (A)	14.86 (B)	23.32 (B)
Multiarado	1.65 (D)	0.149(A)	4.10 (C)	8.17 (AB)	0.67 (B)	12.41 (B)	23.03 (A)	30.80 (A)
Vibro con rodillo	2.28 (AB)	0.118(A)	5.51 (A)	3.56 (CD)	1.34 (A)	8.59 (CD)	3.95 (D)	12.26 (C)
Vibro sin rodillo	2.39 (A)	0.14 (A)	5.34 (AB)	1.93 (CD)	1.27 (A)	11.29 (BC)	4.41 (D)	12.47 (C)
Rastra desp. arado	1.97 (C)	0.13 (A)	5.24 (AB)	9.51 (A)	1.03 (A)	8.00 (D)	7.11 (C)	16.51 (C)
Rastra	2.09 ((BC)	0.10 (A)	5.32 (AB)	5.18 (BC)	1.11 (A)	10.21 (BCD)	5.74 (CD)	14.38 (C)

*Nota:* Los valores con letras diferentes en la misma columna indican que existe estadísticamente diferencia significativa al 0.01.

*Fuente:* Cadena et al., 2004

Para realizar la operación de labranza secundaria del suelo, el vibrocultivador puede reemplazar la rastra, ya que realiza una mejor reducción de la densidad aparente y deja un tamaño de agregados óptimos para la cama de siembra; además, comparado con la labor de rastreo convencional, este resultado tecnológico se alcanza con una menor inversión de energía (Cadena et al., 2004).

## 2.7 Cálculo de Fuerza

Smith et al. (1994) proponen que es posible calcular fuerzas de resultados obtenidos usando el mismo equipo que para medir masa. Se puede usar balanzas de tipo resortes para medir fuerzas en herramientas manuales o implementos livianos arrastrados manualmente o por animales. Sin embargo, bajo condiciones de campo por falta de efecto amortiguador, puede ser difícil leer con exactitud. Las fuerzas de tiro de tractores y máquinas pueden ser considerablemente mayores que la capacidad de estas unidades de pesaje, tal es el caso de utilizar una disposición de un sistemas de palancas como se muestra en la figura 2.5.

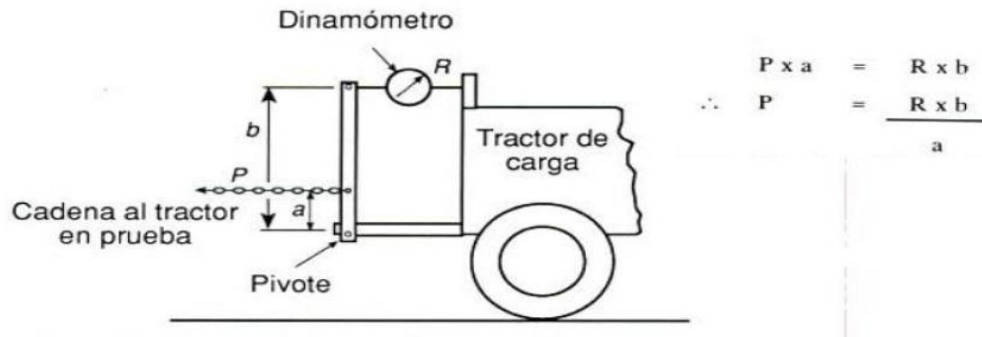


Figura 2.5. Método para aumentar la capacidad del pesaje de una unidad. Tomando momentos alrededor del pivote.

Los dinamómetros hidráulicos (ver figura 2.6) que usan indicadores de celdas de presión calibradas están disponibles para medir cargas de tiro pesadas pero han quedado obsoletos por la aparición de celdas de carga tensiva electrónicas. Estas unidades con sus indicadores pueden adquirirse en varios tamaños para medir fuerzas de tiro muy pequeñas en máquinas manuales a fuerzas muy grandes en tractores y otras máquinas. Las unidades pueden ser calibradas fácilmente, son portátiles y pueden usar batería para trabajo en terreno. También pueden conectarse a equipos apropiados de registro y análisis (Smith *et al.*, 1994).



Figura 2.6. Dinamómetro hidráulico.

Camacho y Rodríguez (2007) evaluaron tres implementos a diferentes humedades del suelo y concluyen que el contenido de agua del mismo afecta directamente la fuerza de tracción necesaria para cada implemento, como se observa en la figura 2.7, el contenido de agua H<sub>2</sub> resulta ser el más adecuado para el labrar el suelo.

Para los cinceles vibratorio y rígido se observó que para H1 (alta cohesión) y H3 (alta adhesión), la fuerza de tracción es alta. Para la unidad del arado de discos se observó que la fuerza de tracción presenta una relación directa con el contenido de agua, debido a que la adhesión crece, pues la superficie de contacto entre el suelo y la herramienta es mayor en el caso de los discos. La diferencia de la fuerza de tracción requerida por los implementos en estudio, igualmente se explica por la geometría de éstos y por la diferencia presentada en la profundidad de trabajo.

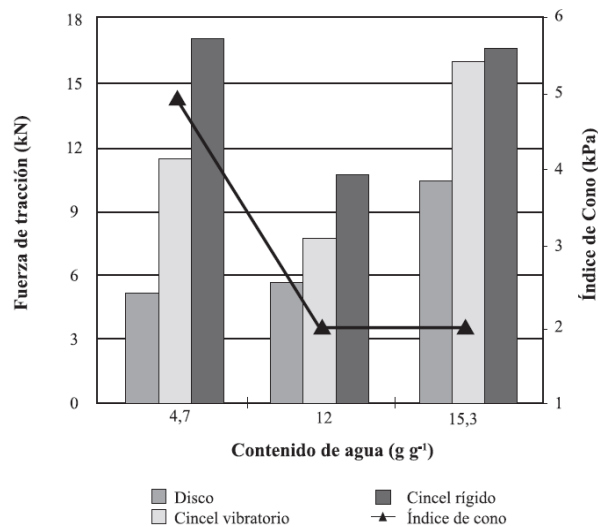


Figura 2.7. Fuerza de tracción (F) e índice de cono (IC) para tres implementos de labranza y diferentes contenidos de agua del suelo.

Cuando se habla de potencia, se debe entender que ese valor es el resultado de la multiplicación de dos magnitudes muy diferentes como son la fuerza de arrastre en kilos por la velocidad de avance medida en kilómetros por hora, para medir la potencia en el terreno de cultivo se necesita un dinamómetro que nos da la fuerza de arrastre (Smith *et al.*, 1994).

### 2.7.1 Transductor integral

Asís (2013) realizó un estudio sobre uso de energía en tres sistemas de labranza (Convencional (**LC**), Vertical (**LV**) y Cero (**NL**)) en un suelo franco arcilloso al que se

agregaron mejoradores de suelo. El equipo utilizado fue un transductor dinamómetro axial en conjunto de los sensores octagonales previamente calibrados en laboratorio y sometidos a pruebas de campo para comparar el índice de confiabilidad dando un resultado del 99.8 %. En base a los datos obtenidos en el estudio en un suelo franco-arcilloso, entre labranza convencional y 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 tal como se muestra en el cuadro 2.3.

Cuadro 2.3. 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)	47.57 98 B
Nivel de significancia= 0.01	DMS= 157.0275

**Nota:** Los valores con letras diferentes significan valores estadísticamente distintos.

Fuente: Asís, 2013

Ramos (2010) rediseño, construyó y evaluó un sensor integral con capacidad de 80 kN para las fuerzas horizontal y vertical así como 70 kN de transferencia de peso. Los elementos que integran el diseño propuesto son dos anillos octagonales extendidos, un sensor axial y un marco de enganche de tres puntos, categoría II. Para cada uno de ellos se montaron galgas extensiométricas sobre los elementos sensores, en arreglos completos de Wheatstone. Los resultados de la calibración con cargas individuales, mostrados en sus ecuaciones de respuesta Newtons vs miliVolts mostraron una alta linealidad con un coeficiente de correlación R-sq arriba del 98 % para la carga en el plano vertical (Fy); no así para la ecuación de respuesta en el plano horizontal (Fx) con diferentes posiciones de esta con solo una R-sq del 86%.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Campo experimental

##### 3.1.1 Entorno fisiográfico

Las pruebas en campo de este proyecto se hicieron en el área experimental llamado “el bajío” que está situado dentro del territorio de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, éste se localiza en la ex-hacienda de Buenavista (ver figura 3.1) que se encuentra a los 7 kilómetros del sur de la ciudad de Saltillo, Coahuila, México. Se localiza entre las coordenadas geográficas 25° 22" de latitud norte y 101° 02" longitud oeste y a una altitud de 1742 msnm. El clima es muy seco, BW hw (x" ) (e); semicálido, con invierno fresco, extremoso, con lluvias en verano, y una precipitación invernal superior al 10% del total anual. La precipitación total anual media 350-400 mm; régimen de lluvias: la temporada lluviosa es de junio a octubre. El mes con lluvias más abundante es julio y marzo es el mes más seco y una precipitación invernal superior al 10% del total anual



Figura 3.1. Localización del terreno experimental.

La temperatura media anual de 19.8 °C. Las heladas comienzan en noviembre, son más intensas en enero (hasta -10°C). Terminan en marzo, mes que ni son muy intensas, ni se presentan frecuentemente, en algunas ocasiones, pueden



presentarse ligeras heladas en abril. El suelo es de textura migajón y migajón arcillosa aunque en este caso se ha determinado que la textura del suelo exactamente donde se encuentran las parcelas de prueba de este proyecto es un suelo franco arcilloso, con bajos contenidos de materia orgánica y poseen una capa subyacente de carbonato de calcio (Dirección de Investigación UAAAN, 2011).

### 3.1.2 Especificación de parcelas experimentales

Para el estudio se utilizaron 10 parcelas experimentales de 40 metros de largo y 12 metros de ancho cada una, de las cuales, se asignaron tres para cada uno de los sistemas de labranza (convencional, vertical y cero labranza), la parcela restante fue asignada como parcela de calibración, en la figura 3.2 se aprecia la distribución de las mismas.

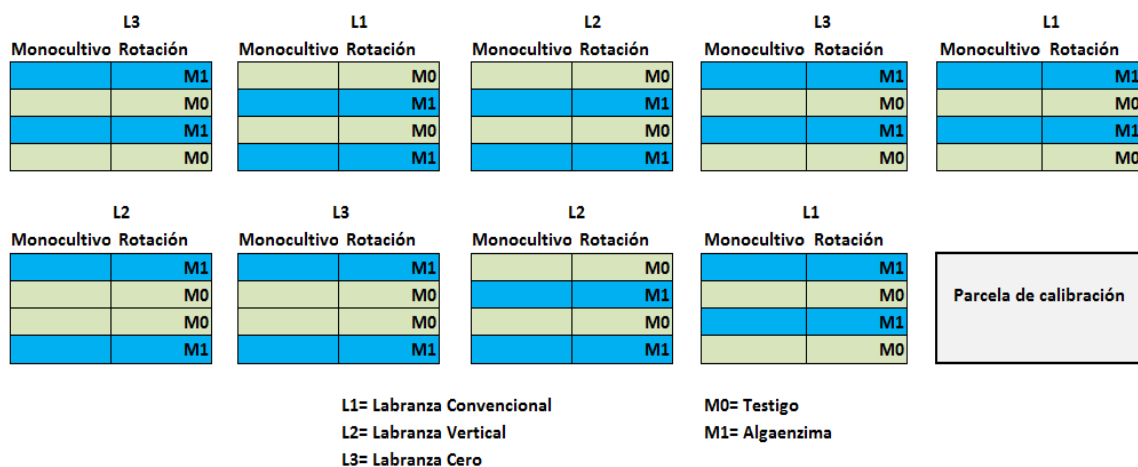


Figura 3.2. Distribución de parcelas del terreno experimental.

Los cultivos que se utilizaron para el experimento fueron avena forrajera (monocultivo) durante el ciclo invierno-verano 2014 aplicando entre 100 y 120 kg/Ha, y maíz-frijol (rotación de cultivos) que abarcó el ciclo verano-invierno 2013 aplicando 40 kg/Ha de frijol y de maíz entre 20 y 25 kg/Ha. La dosis de Algaenzima fue de 2.5 L/Ha, aplicándose una semana después de la siembra de cada cultivo.

### 3.2 Esquema de proceso de metodología

Las pruebas que se realizaron en este proyecto se hicieron en condiciones bajo laboratorio y en campo, en el cuadro 3.3 se muestra el orden cronológico de las actividades realizadas en esta investigación.

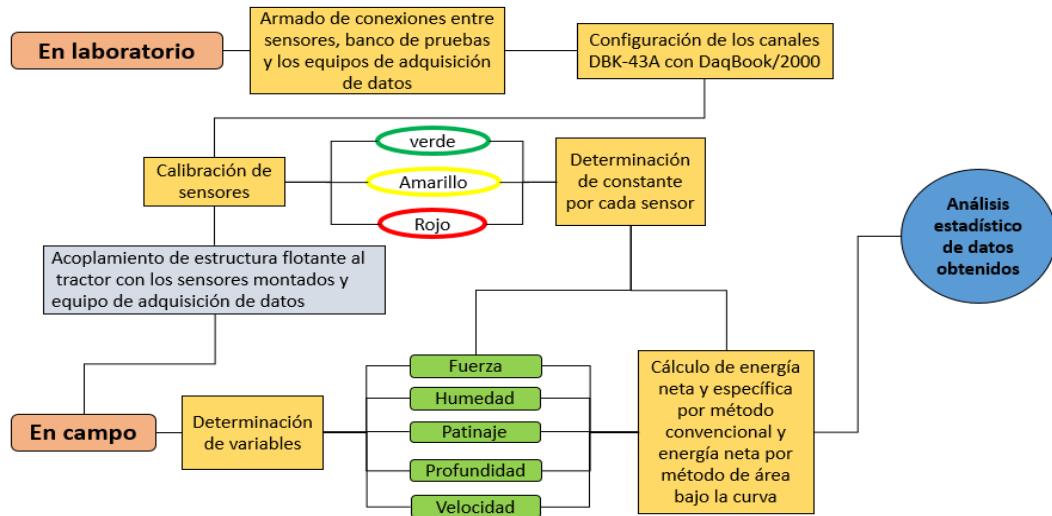


Figura 3.3. Mapa conceptual de metodología.

### 3.3 Banco de calibración

Para hacer posible la calibración de los sensores octagonales, fue necesario hacer pruebas en laboratorio utilizando el banco de calibración (figura 3.4) que está conformado por una estructura flotante, sensores octagonales: amarillo, rojo, verde, y rojo-amarillo.



Figura 3.4. Estructura de banco de calibración.

### 3.3.1 Estructura flotante

La estructura flotante se utilizó como chasis de acoplamiento ubicado entre el enganche del tercer punto del tractor y el implemento como se muestra en la figura 3.5, de igual manera, funcionó como base para posicionar los sensores para realizar el cálculo de las fuerzas de reacción del suelo. Esta estructura fue desarrollada utilizando una parte del arado de cinceles del modelo MCC-357 BISON, acondicionado con placas para el montaje de los sensores octagonales (Cruz, 2014).



Figura 3.5. Estructura flotante y posicionamientos de los sensores octagonales.

### 3.4 Equipo para adquisición de datos

Para la calibración de los sensores en laboratorio, así también, en el campo se acopló un sistema de adquisición de datos que es alimentado por la corriente de la batería del tractor, los componentes son los siguientes:

- Un amplificador – acondicionador (DBK – 43A), está formado por módulos de 8 canales, con ganancia de  $10x$  a  $1250x$  ( $\epsilon$ ), marca Iotech, Inc. se usa para amplificar la señal del transductor y proporcionar una salida estandarizada de voltaje, y de esta forma nos facilita el envío a el convertidor analógico-digital. El amplificador lanza el voltaje de excitación al transductor en un rango de 1 - 10 V y 100 mA (DBK Option Cards and Module, Iotech).
- Un convertidor analógico-digital DakBook/2000, se define como el módulo que se conecta al puerto paralelo de la computadora y que convierte los valores

de voltaje en digitales para que puedan ser monitoreados por otros softwares en la computadora, está formado por sub-sistemas, el primero se encarga de procesar la información y el segundo es una línea de acumuladores de energía que hace posible el procesamiento. Su ganancia es de 0.01 – 10 V y con una velocidad de muestreo de 25 – 625 E3 muestras por segundo. Con 16 canales analógicos y ocho canales digitales con rangos de ganancias en micro deformaciones de 100 a 10 K. Su proceso es muy rápido, en el momento en que todo el sistema en conjunto con el amplificador-acondicionador trabaja, arrojan los datos en el software Daq View 9.1 instantáneamente (DaqBook 2000 Series, Iotech).

- Una computadora de escritorio marca *Dell*, procesador *Genuine Intel*, memoria RAM de 512 MB, capacidad en Disco Duro de 34.1 GB,

### **3.4.1 Softwares**

Los softwares que se utilizaron permitieron procesar la información que nos arrojaba el convertidor analógico-digital, facilitar las calibraciones de los sensores e interpretar estadísticamente los resultados.

- El programa Daq View 9.1 de IOtech., compatible con Windows 7 y Vista, se utilizó para adquisición de datos a través del DaqBook/2000, en el cual se hicieron las configuraciones y calibraciones de los voltajes de los sensores, el número de datos por corrida y especificación de nombre y ruta de los archivos con los datos que se iban almacenando en el disco duro de la computadora.
- Se utilizó el programa Matlab en la versión R2010b, es un lenguaje de alto desempeño diseñado para realizar cálculos técnicos, integra el cálculo, la visualización y la programación en un ambiente fácil de utilizar donde los problemas y las soluciones se expresan en una notación matemática. Esto permite resolver muchos problemas computacionales, en un tiempo mucho menor al requerido para escribir un programa en un lenguaje escalar no

interactivo (Esqueda, 2002). Facilitó crear un pequeño programa para calcular la energía neta mediante el proceso del área bajo la curva, así también, encontrar el valor de las fuerzas y espectral para determinar las fuerzas promedio de las pruebas.

- Para encontrar el valor de las constantes de calibración de los sensores, fue necesario hacer una regresión lineal de cada grupo de datos, esto se hizo en el programa Minitab en la versión 16, este software es un paquete estadístico que abarca todos los aspectos necesarios para el aprendizaje y aplicación de la estadística en general (Vila et al., 2006).
- Software estadístico R versión 2.14.0, es un conjunto integrado de programas para manipulación de datos, cálculo y gráficos (R Development Core Team, 2000). En este programa se procesaron los datos para obtener los resultados estadísticos y gráficas de comparación entre los sistemas de labranza.

### **3.5 Calibración de sensores**

Anteriormente se mencionó que esta investigación abarca dos ciclos de cultivo (otoño-invierno 2013-2014 e invierno-verano 2014), los datos de constantes del primer ciclo se tomaron de datos que se habían hecho en el rancho Navidad en donde se hicieron pruebas sobre fuerzas de arrastre a cargo de alumnos tesistas del departamento de maquinaria agrícola de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Por esta razón las calibraciones de los sensores que se describe en este proyecto de tesis es del ciclo invierno-verano 2014. Cabe mencionar que el procedimiento es igual para los dos ciclos en las calibraciones.

Las calibraciones de los sensores se realizaron en el laboratorio (taller) del departamento de maquinaria agrícola de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, se usaron contrapesos de tractor (tres de 48 *kg* , uno de 73 *kg* , dos de 35 *kg* y dos de 30 *kg* ) como se muestra en la figura 3.6, para simular cargas de manera proporcional por los pesos mismos, estos contrapesos se fueron acumulando

directamente sobre una canastilla que se coloca en la punta de un cincel a una distancia de 0.59 metros, en el caso del sensor rojo no se calculó la constante debido a que el promedio de los datos del sensor verde y del amarillo es igual a los datos del sensor rojo.



Figura 3.6. Acomodo de contrapesos en la canastilla del banco de calibración.

En el anexo A se explica el orden en que se iban colocando los contrapesos en la canastilla, se programó en el DaqView 6400 datos, de esta forma cada contrapeso se subió a cada 400 datos. El siguiente paso es abrir los datos que nos arroja el DaqView, se hicieron 6 conjuntos de datos por cada sensor (número de repeticiones).

Para obtener el promedio de la constante de los sensores, se determinó el promedio de los datos inicialmente, esto se hizo con el objetivo de hacer más confiable el resultado y ahorrar tiempo en este proceso. Un punto que no debemos dejar pasar es que los datos deben iniciar desde cero, generalmente el equipo de adquisición de datos tiene variaciones al iniciar una corrida, es decir, que en algunas ocasiones iniciaron con números negativos muy cercanos a cero o de la forma contraria, con valores arriba de cero.

Se modificaron los datos para que el primer valor se colocara en justo en el punto cero, esto se hizo restando a todos los datos el valor del primer dato. En algunos

casos cuando las gráficas resultaron negativas, se multiplicaron los valores por -1 y de esa forma se ajustaron a positiva. Los valores que nos arroja el sistema de adquisición de datos están en Volts, siendo así, se convirtieron todos los datos en miliVolts.

### 3.5.1 Sensor Amarillo

Cuando se obtuvieron los datos promedio de las 6 corridas y en miliVolts, se obtuvo un punto promedio por cada contrapeso que se acomodó sobre la canastilla del banco de calibración como se muestra en el cuadro 3.1. Se determinó la fuerza que producían los contrapesos en Newtons que posteriormente serían los datos junto con los de miliVolts para hacer el análisis de gráfica de línea de regresión lineal

Cuadro 3.1. Datos de pesos de contrapeso en Newtons y puntos promedios definidos en miliVolts del sensor amarillo.

Contrapeso (kg)	Peso (N)	Punto promedio (mV)
0	0	0
48	470.880	31.02
96	941.760	62.86
144	1412.640	94.58
217	2128.770	143.4
252	2472.120	166.47
287	2815.470	188.29
317	3109.770	207.44
347	3404.070	227.68

Finalmente se llevan los datos de peso en Newtons y de miliVolts al programa Minitab, ahí se creó la gráfica de regresión lineal o de línea ajustada, se acomodaron los valores de peso (N) en el eje “Y” contra los valores de miliVolts en el eje “X”. De esta forma se obtuvo la constante del sensor amarillo, el valor es 14.93 (ver figura 3.7) que multiplica a el valor de miliVolts que resultaron más delante de las pruebas en campo, el coeficiente de correlación fue de 100 %.

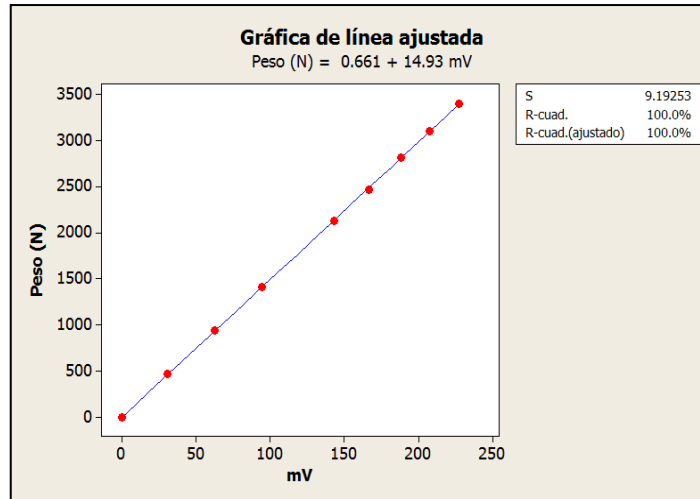


Figura 3.7. Gráfica de línea ajustada para el sensor amarillo.

### 3.5.2 Sensor verde

El procedimiento para encontrar la constante para el sensor verde es el mismo que se utilizó para el sensor amarillo, en el cuadro 3.2 se muestran listos los datos en Newtons de los contrapesos y los miliVolts de cada uno.

Cuadro 3.2. Datos de pesos de contrapeso en Newtons y puntos promedios definidos en mV del sensor verde.

Contrapeso (kg)	Peso (N)	Punto promedio (mV)
0	0	0
48	470.880	29.52
96	941.760	57.83
144	1412.640	86.39
217	2128.770	130.15
252	2472.120	150.98
287	2815.470	171.76
317	3109.770	189.11
347	3404.070	206.91

De igual manera, para este sensor se calculó la línea de regresión lineal en el software Minitab, y se obtuvo un valor de constante de 16.47 (ver figura 3.8) que



multiplica al valor de miliVolts de las pruebas que se hicieron más adelante en campo, el coeficiente de correlación fue de 100 %.

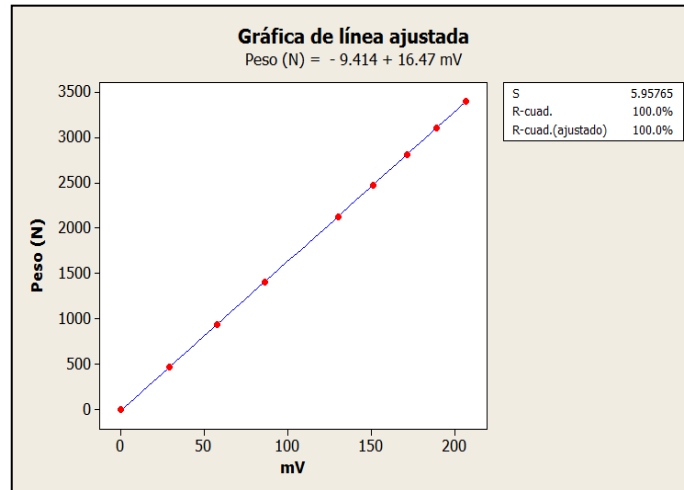


Figura 3.8. Gráfica de línea ajustada para el sensor amarillo.

### 3.6 Determinación de parámetros en campo

Para conocer los valores del gasto de energía específica y neta de una labor, es imprescindible tener las variables que se ven involucradas en este proceso. Es por esta razón que se midieron los parámetros humedad del suelo al hacer las pruebas en campo, el ancho de trabajo, velocidad de trabajo, profundidad de trabajo y fuerza de arrastre. Los datos de densidad del suelo por cada ciclo fueron obtenidos de las investigaciones que actualmente se están haciendo por parte de alumnos tesistas de licenciatura y maestría del Departamento de Maquinaria Agrícola de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

#### 3.6.1 Humedad del suelo

Al terminar de cada corrida con la rastra, se tomaron muestras de humedad en las parcelas de labranza convencional y labranza vertical, para mayor confiabilidad en el cálculo de la humedad, fue necesario sacar dos frascos de suelo por cada parcela.

### 3.6.2 Ancho de trabajo

Para el cálculo de energía neta y energía específica fue necesario hacer mediciones del ancho de trabajo. Se trazó una longitud de 20 metros con respecto al centro del largo de la parcela y se midieron 3 posiciones por cada corrida de tractor, se situó un punto cerca de cada extremo de la longitud trazada y el tercer punto en el centro, en la figura 3.9 se muestra la forma en que se obtuvo este parámetro. Generalmente se midió el ancho de trabajo con base a 2 corridas de tractor por cada parcela, debido a que fueron dos corridas con el implemento trabajando.

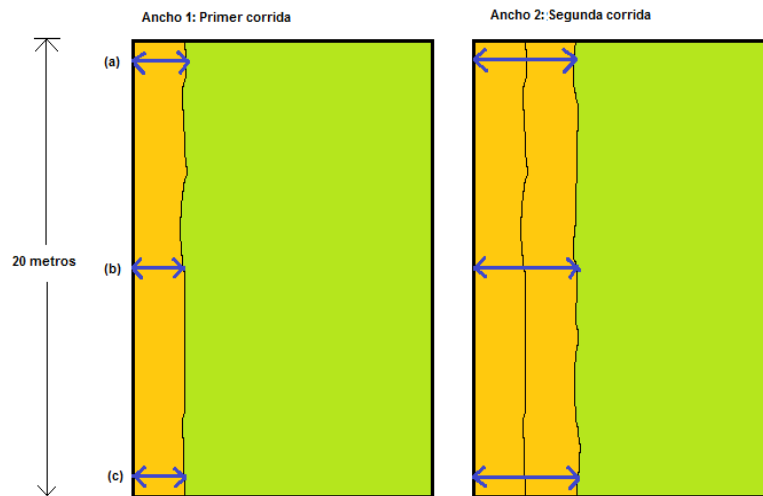


Figura 3.9. Medición del ancho de trabajo de dos corridas.

De acuerdo a la figura anterior, se tomó el ancho de cada punto (inciso a, b y c) y de esta forma determinar un promedio por cada labor y por cada parcela para su posterior uso en el proceso de calcular la energía neta y específica. En el caso de la sembradora se determinó desde un principio que el ancho de trabajo sería de 2.3 metros, debido a que es la distancia entre los discos abre-surcos laterales.

### 3.6.3 Velocidad de trabajo

Por cada corrida con el tractor, independientemente si el implemento se accionaba, se midió la velocidad de avance en metros por segundo (m/s) y posteriormente

convertirlos a kilómetros por hora (Km/h), en todas las pruebas realizadas se hizo con una longitud de 20 metros, es decir que si las parcelas miden 40 metros de largo, el conteo empezaba después de los primeros 10 metros y terminaba 10 metros antes de cruzar por completo cada parcela. Para que el registro de datos de velocidad tuvieran un alto grado de confianza, todas las corridas se hicieron a 2200 rpm (en tercera baja) y en algunas ocasiones accionando el trabe diferencial del tractor.

### 3.6.4 Profundidad de trabajo

En esta variable se tomaron 5 datos (puntos) con separación aproximada de 5 metros entre cada uno por cada corrida, para una mayor confiabilidad en la profundidad de trabajo, de igual manera que otros parámetros medidos, este se iba midiendo enseguida que el tractor terminaba de trabajar una franja (con el implemento accionado). En la figura 3.10 se aprecia la forma la distribución de los puntos mencionados anteriormente.

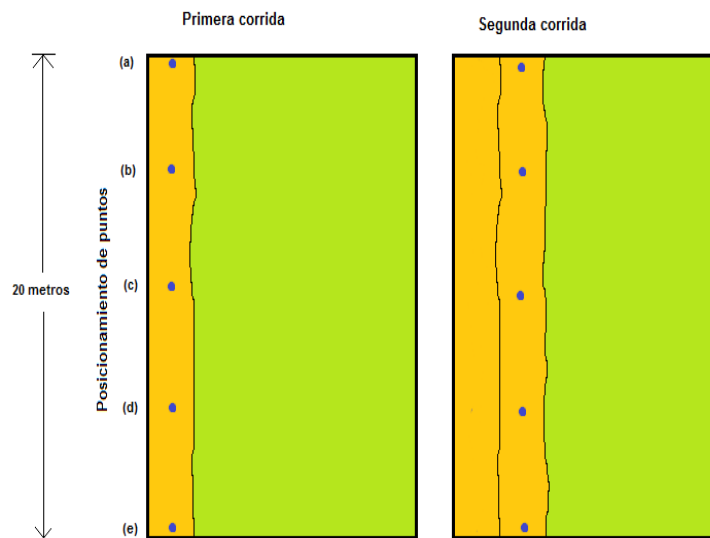


Figura 3.10. Medición de profundidad de trabajo de una labor.

Para obtener la profundidad de cada corrida, simplemente se calculó el promedio de cada franja y se obtuvo los valores en metros.

### 3.6.5 Patinaje

Se midió el porcentaje de cada labor y corrida con el implemento trabajando y con el mismo levantado, el método que se utilizó fue por medio de las llantas motrices, se designaron 5 vueltas y la variable que cambiaría es la distancia que recorre en ese número de revoluciones, la fórmula utilizada para calcular el porcentaje de patinaje fue:

$$\% \text{ Patinaje} = \frac{D1-D2}{D1} \times (100)$$

Donde:

*D1 = Distancia recorrida con el implemento levantado*

*D2 = Distancia recorrida con el implemento trabajando*

En la figura 3.11 se observa que cuando el implemento esta levantado, el tractor corre de forma libre y por lo tanto la distancia es mayor que cuando el implemento está trabajando, es importante resaltar que en los dos ejemplos la rueda motriz (trasera) dio el mismo número de revoluciones.

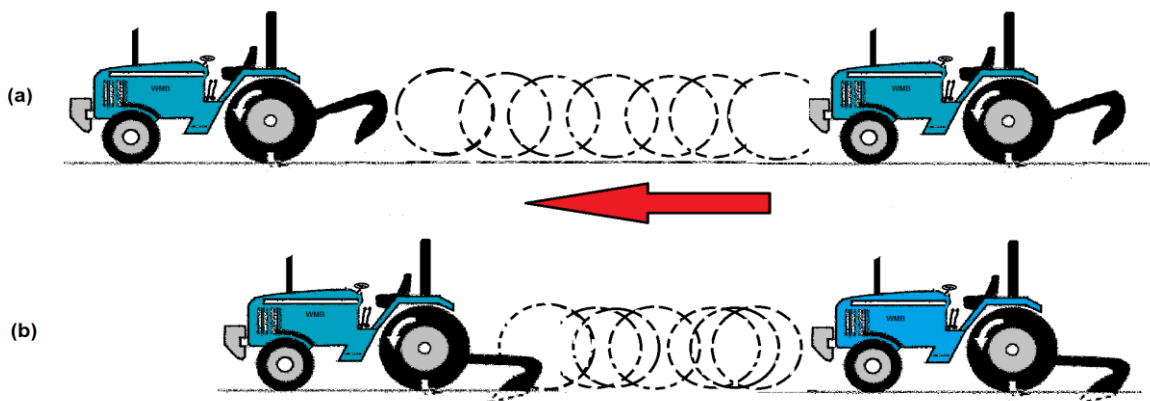


Figura 3.11. Patinaje de tractor. (a) Distancia con el implemento levantado. (b) Distancia con el implemento trabajando.

### 3.7 Montaje de transductor integral al tractor

Se utilizó un tractor New Holland 6810 4WD (doble tracción) con las siguientes características certificada por el OCIMA (anexo B):

- ❖ Potencia al motor 110 hp
- ❖ Potencia a la Toma de Fuerza 96 hp
- ❖ Motor 4 cilindros, aspiración natural
- ❖ Transmisión engranaje constante 8x2
- ❖ Doble Tracción con acoplamiento electrohidráulico
- ❖ Dirección hidrostática
- ❖ TDF independiente 540 rpm
- ❖ Válvula de control remoto doble
- ❖ Capacidad de levante 1,780 Kg.

El transductor integral tiene la facilidad de acoplarse a los brazos de levante y del tercer punto del tractor, primero se montó la estructura flotante seguido por los tres sensores (amarillo, verde y rojo) como se muestra en la figura 3.12, se montaron los componentes de sistema de adquisición de datos, se hicieron las conexiones entre la computadora, el DaqBook, y el DBK-30A, para finalmente conectar todo a la fuente de alimentación de energía (batería de tractor).

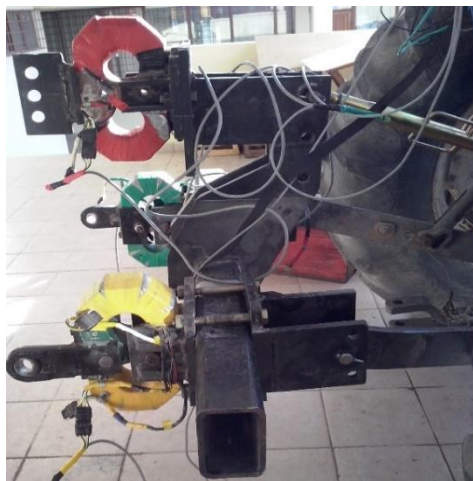


Figura 3.12. Transductor integral acoplado al tractor.

### 3.7.1 Configuración del sistema de adquisición de datos para obtener las fuerzas.

La configuración que se realiza al ejecutar las pruebas en campo son parecidas a las de laboratorio, la diferencia es la definición del número de datos, es decir que en laboratorio depende del número de contrapesos que se montan en la canastilla del banco de calibración, en campo depende de la longitud del terreno o parcela a evaluar y de la velocidad de avance con respecto al implemento con el que se está trabajando.

La secuencia de operaciones que se utilizó para la configuración en el sistema de adquisición de datos fue por medio del software DaqView:

- a) Una vez que se hayan conectado todos los componentes, se verifica si el software DaqView está recibiendo señales del convertidor analógico-digital DakBook, esto es notable al arrancar el programa mencionado, si la conexión no es la adecuada, aparecerá un mensaje de error al inicio que informa que no está recibiendo señales de algún dispositivo.
- b) Se configura el programa de acuerdo a la serie del amplificador-acondicionador DBK (en este caso fue DBK-43A) y del convertidor analógico-digital DaqBook, esta opción se encuentra en el menú de opciones *Device* (dispositivo), buscar la opción *Select Device*, y elegir DaqBook-2K0 y aceptar, de nuevo entrar a menú *Device*, seleccionar *Configure Hardware Settings* y buscar el tipo de amplificador-acondicionador que se está utilizando (*DBK-43A Strain Gage*).
- c) Se localizan los puertos de entrada y los canales de señales, el sistema automáticamente acomoda los canales a un puerto de entrada, generalmente los cambia de dirección, y entonces es necesario identificar en que puertos hay que colocar cada señal de cada sensor (anexo C)

- d) Se calibran los voltajes de excitación de cada sensor con un multímetro, en los extremos de los cables que unen a los sensores con el DBK-43A hay unos pequeños reguladores verdes donde se colocan las agujas del multímetro y así poder medir el voltaje de excitación, éste debe estar alrededor de 9.5 Volts.
- e) Se calibra el inicio de los valores de la lectura de datos, en la columna *Reading* se puede apreciar esos valores (anexo C), esos valores tienen que estar lo más cercano a 0, no importa si este en negativo o positivo, posteriormente se desactivan los canales que no se utilizarán.
- f) Para guardar un conjunto de pruebas de una parcela, se debe especificar la ruta de archivos para que se vayan guardando en una sola carpeta. En la pestaña *Acquisition Setup* se configura la velocidad de toma de datos, en estas pruebas se eligió a 20 datos por segundo, el número de datos totales por corridas dependen de la longitud a recorrer y del implemento con que se trabaja.
- g) Las corridas con diferentes implementos pueden variar en el número de datos necesarios para obtener una gráfica exacta o completa, es por eso que cuando se cambia de implemento se evalúa una corrida de muestra para saber el número de datos óptimo. Para que el contador de datos se active, se presiona el botón *Play* en la pantalla principal, rápidamente se observa que los datos empiezan a variar, lo cual significa que, el programa está listo y los dispositivos están listos para guardar los datos, para hacer esto posible se elige en el menú la opción *Data* seguido de *Acquire*.
- h) Para evaluar con el implemento funcionando se esperaban de 400 a 500 datos antes de que el tractor arrancara y bajara el implemento mutuamente, de igual forma se calculaba el tiempo de manera que al terminar de labrar una corrida

sobrarán de 400 a 500 datos, esto se hizo con la finalidad de que arrojará graficas que tuvieran el área bajo la curva lo mejor regular posible.

### **3.7.2 Laboreo con diferentes implementos**

Se trabajaron con diferentes implementos, esto se realizó con base a las distribuciones de parcelas (ver figura 3.2) y algunas pruebas se configuraron con diferentes números de datos en el DaqView por el tipo de implemento requerido.

En el sistema de labranza convencional se utilizó un arado de discos Massey Ferguson MFAH03 de 3 discos, el tractor se accionaba en velocidad tercera baja a 2200 rpm, se trabajó con 1500 datos.

Para el sistema de labranza vertical se empleó un arado de cinceles Jonh Deere de 8 cinceles, el tractor se accionaba en velocidad tercera baja a 2200 rpm, en las pruebas con este implemento se trabajó con 1500 datos.

Se utilizó una rastra Massey Ferguson MF-RL2024 de 20 discos para los sistemas de labranza convencional y vertical, la velocidad empleada en este implemento fue de 2200 rpm, el cual se accionaba desde el tractor en tercera baja, se trabajó con 1500 datos para este implemento.

En el sistema de labranza cero se empleó una sembradora Gaspardo de discos abre-surcos, se trabajó con este implemento para los tres sistemas de labranza a 2200 rpm.



## 3.8 Análisis de datos obtenidos

### 3.8.1 Determinación de fuerzas por análisis espectral

Para calcular los valores de fuerzas se utilizó un comando-programa creado en Matlab por Mojica (2000) basado en el análisis espectral, dicho programa calcula el promedio de una corrida en volts y le suma el valor del espectral. Generalmente se trabaja con el concepto de toma de decisiones en este método, es decir, debido a que el suelo es heterogéneo los datos suelen ser variables.

En el análisis de cada corrida y sensor se toman los valores donde la gráfica parece estabilizarse, se utilizaron rangos múltiples de 2 (256, 512, 1024, etc.) dependiendo del valor más ajustable.

El comando-programa mencionado tiene por nombre *analisis3* y sus características son:

- Solo trabaja con archivos con extensión *.DAT*
- Trabaja con 3 columnas o sensores (en este caso son verde, amarillo y rojo)
- No admite letras en el contenido de los datos, solo números con caracteres generales
- Si los datos arrojan una gráfica negativa, manualmente los convierte a positivos
- Nos muestra las gráficas con opción de vista aumentada para definir los rangos de análisis.
- Manualmente se definen los rangos de análisis de acuerdo a las gráficas.

Al concluir cada análisis, el programa nos arroja dos valores por cada sensor; el primero pertenece a la media en Volts y el segundo al valor del espectral, posteriormente se convirtieron a miliVolts la suma de estos dos datos.

Finalmente para calcular la fuerza de cada sensor por corrida se aplicó la fórmula que arrojó el Minitab en el proceso de calibración, y así, obtener la fuerza promedio del sensor amarillo y verde que sería la fuerza total por cada corrida:

$$F = (k)x(mV)$$

Donde:

$F$  = Fuerza (kN)

$K$  = Constante de calibración

$mV$  = Valor en miliVolts obtenida del análisis en Matlab.

### 3.8.2 Energía específica

Para calcular la energía específica de cada corrida, se determinó con anticipación la potencia (kW) de las mismas, esta surge del resultado de la multiplicación de fuerza (kN) por la velocidad (m/s). Otra de las variables para obtener la energía específica fue el peso del suelo movido por cada segundo (kg/s), la fórmula utilizada para la energía específica fue:

$$Ee = \frac{P}{G/s} = \frac{(F)x(v)}{(h)x(a)x(v)x(D)} x(1000)$$

Donde:

$Ee$  = Energía específica (J/kg)

$P$  = Potencia (kW)

$G/s$  = Peso del suelo removido por segundo (kg/s)

$F$  = Fuerza de arrastre del suelo (kN)

$v$  = Velocidad de avance de laboreo (m/s)

$h$  = Profundidad de trabajo (m)

$a$  = Ancho de trabajo (m)

$D$  = Densidad del suelo

### 3.8.3 Energía neta

Asís (2013) evaluó la energía neta en los tres sistemas de labranza (LC, LV y L0) en un suelo franco arcilloso, con base a esto, en este proyecto se determinó la energía neta para continuar con la investigación mencionada y obtener resultados precisos y comparativos en un futuro para estos sistemas de labranza y en el suelo con las mismas características.

Para conocer el gasto de energía neta de una corrida fue indispensable calcular el tiempo que se necesita trabajar para cubrir una hectárea y la potencia de trabajo:

- Se determinó el número de surcos que caben en una hectárea

$$N^{\circ} \text{ surcos} = \frac{\text{ancho de una hectárea (100 m)}}{\text{ancho de trabajo (m)}}$$

- Se obtuvo el valor de la longitud total de trabajo que recorre un implemento trabajando en una hectárea con base al número de surcos

$$\text{Longitud total (m)} = (N^{\circ} \text{ de surcos}) \times [\text{longitud de una hectarea (100 m)}]$$

- Se dividió la longitud del punto anterior entre la velocidad, y de esta forma, conocer el tiempo en que el implemento trabaja una hectárea completa.

$$\text{Tiempo de trabajo en una hectárea } \left(\frac{s}{Ha}\right) = \frac{\text{Longitud total (m)}}{\text{Velocidad } \left(\frac{m}{s}\right)}$$

- Finalmente multiplicamos el tiempo empleado en una hectárea por la potencia de la corrida.

$$\text{Energía Neta} = [\text{Potencia (kW)}] \times [\text{Tiempo de trabajo } \left(\frac{s}{Ha}\right)]$$

### 3.8.4 Energía neta por método de área bajo la curva

De acuerdo a la propuesta de López (2014) se aplicó el método de área bajo la curva para determinar el gasto de energía neta en este proyecto, dicha propuesta consiste en graficar los datos obtenidos y calcular el área que se encuentra por debajo de la línea de comportamiento que crea el transductor integral. El proceso para este método acoplado a las pruebas de este estudio es el siguiente:

- a) De los valores que arrojó el sistema de adquisición de datos en las pruebas de campo, se tomaron los del sensor verde y amarillo, en cada uno se determinó la fuerza en Newtons con ayuda de las constantes calculadas inicialmente en las pruebas de calibración (ver capítulo 3.5).
- b) Con ayuda del programa Excel se obtuvo el promedio de los dos sensores, se corrigen los datos para que la gráfica sea positiva (si es necesario), se ajustan los valores iniciales en cero como y se convierten en miliVolts.
- c) Se determinó el rango de valores, se inicia con el valor donde los valores del eje "Y" parecen despegarse de cero y termina regresan aproximadamente a cero.
- d) Se dividió la longitud (m) de la parcela entre el rango para obtener la distancia de cada intervalo que posteriormente formaron los valores del eje "X" y los nuevos valores del eje "Y" fueron aquellos que quedaron dentro del rango.
- e) Se graficaron los datos obtenidos en Matlab con el comando *plot(x,y)*, seguidamente se sombreó el área con el código *area(x,y)* para comprobar que cubriera la superficie que se encuentra bajo la curva. Finalmente se calculó dicha área con el comando *trapz(x,y)* para obtener un valor en Joules que equivale el gasto por una corrida, entonces, se aplicó una regla de tres para encontrar la equivalencia en Joules por cada hectárea.

### 3.8.5 Procesamiento de datos en análisis estadístico

Generalmente se hicieron dos corridas por cada implemento en cada labor, en el anexo D se presentan las combinaciones de pruebas en campo. Antes de analizar los datos en el programa R, se hicieron las sumatorias de energía por cada sistema de labranza (cuadro 3.5), en el caso de la siembra en la labranza convencional y vertical se usaron las mismas que labranza cero.

Cuadro 3.3. Suma de energías por sistema de labranza.

Parcela	Repetición	Energía
LC	R1	LC1+RLC1+L01
LC	R2	LC2+RLC2+L02
LC	R3	LC3+RLC3+L03
LV	R1	LV1+RLV1+L01
LV	R2	LV1+RLV2+L02
LV	R3	LV1+RLV2+L03
L0	R1	L01
L0	R2	L02
L0	R3	L03

Finalmente, la suma de los valores de energía neta y específica se analizó en el software R para obtener los datos y gráficas de análisis estadístico.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Energía neta

En el cuadro 4.1 se presenta los resultados de energía neta de las diferentes labores en el cultivo de maíz-frijol del ciclo verano-invierno 2013, cada dato de energía son el promedio de las dos corridas por cada labor.

Cuadro 4.1. Energía neta 2013 en maíz-frijol.

ENERGÍA NETA (MJ/Ha)	
LC1	212.8465
LC2	316.3471
LC3	324.5728
LV1	109.4513
LV2	134.9519
LV3	114.7317
RLC1	66.6264
RLC2	69.4032
RLC3	86.0270
RLV1	55.6830
RLV2	68.5291
RLV3	63.6888
SL01	27.8625
SL02	28.6691
SL03	28.0503

Se sumaron los valores por cada parcela y sus correspondientes labores en el cultivo maíz-frijol de ciclo verano-invierno 2013 (cuadro 4.2).

Cuadro 4.2. Sumatorias de energía neta 2013 en maíz y frijol.

PARCELA	$\Sigma$ ENERGÍA NETA (MJ/Ha)
LC1	307.3355
LC2	414.4193
LC3	438.6501
LV1	192.9969
LV2	232.1500
LV3	206.4708
L01	27.8625
L02	28.6691
L03	28.0503

En el cuadro 4.3 se aprecian los datos de energía neta en *MJ/Ha* de todas las labores en el cultivo de avena forrajera del ciclo invierno-verano 2014.

Cuadro 4.3. Energía neta 2014 en avena forrajera.

<b>ENERGÍA NETA (MJ/Ha)</b>	
<b>LC1</b>	167.1099
<b>LC2</b>	246.4306
<b>LC3</b>	188.5039
<b>LV1</b>	107.2046
<b>LV2</b>	133.2301
<b>LV3</b>	131.2633
<b>RLC1</b>	56.2051
<b>RLC2</b>	81.3235
<b>RLC3</b>	68.1205
<b>RLV1</b>	56.5266
<b>RLV2</b>	65.7859
<b>RLV3</b>	65.4530
<b>SL01</b>	29.5853
<b>SL02</b>	28.2729
<b>SL03</b>	32.5403

En el cuadro 4.4 se presentan las sumatorias de cada labor con las parcelas correspondientes del cultivo avena forrajera de ciclo invierno-verano 2014.

Cuadro 4.4. Sumatorias de energía neta 2014 en avena forrajera.

<b>PARCELA</b>	<b>Σ ENERGÍA NETA (MJ)</b>
<b>LC1</b>	252.9003
<b>LC2</b>	356.0270
<b>LC3</b>	289.1647
<b>LV1</b>	193.3165
<b>LV2</b>	227.2889
<b>LV3</b>	229.2566
<b>L01</b>	29.5853
<b>L02</b>	28.2729
<b>L03</b>	32.5403

## 4.2 Energía específica

En el cuadro 4.5 se presentan los datos de energía específica en *Joules/kg* para el cultivo de maíz-frijol del ciclo verano-invierno 2013, se muestran todas las labores que se hicieron en total.

Cuadro 4.5. Energía específica en maíz-frijol 2013.

ENERGÍA ESPECÍFICA (J/kg)	
LC1	130.2827
LC2	73.8671
LC3	91.2526
LV1	66.1614
LV2	64.6951
LV3	64.2060
RLC1	50.8957
RLC2	54.8327
RLC3	71.7101
RLV1	43.3407
RLV2	54.1147
RLV3	55.6721
SL01	44.8254
SL02	44.6150
SL03	48.0943

En el cuadro 4.6 se muestran las sumatorias de cada labor con las parcelas correspondientes del cultivo maíz-frijol de ciclo verano-invierno 2013.

Cuadro 4.6. Sumatorias de energía específica en maíz-frijol 2013.

PARCELA	$\Sigma$ ENERGIA ESPECÍFICA (J/kg)
LC1	226.0038
LC2	173.3148
LC3	211.0570
LV1	154.3275
LV2	163.4248
LV3	167.9725
L01	44.8254
L02	44.6150
L03	48.0943



En el cuadro 4.7 se presentan los datos de energía específica en *Joules/kg* para el cultivo avena forrajera del ciclo invierno-verano 2014, se muestran todas las labores que se hicieron en total.

Cuadro 4.7. Energía específica en avena 2014.

<b>ENERGÍA ESPECÍFICA(J/kg)</b>	
<b>LC1</b>	131.9103
<b>LC2</b>	63.7703
<b>LC3</b>	65.4961
<b>LV1</b>	73.6594
<b>LV2</b>	61.2094
<b>LV3</b>	66.5687
<b>RLC1</b>	42.9349
<b>RLC2</b>	64.2504
<b>RLC3</b>	56.7836
<b>RLV1</b>	43.9973
<b>RLV2</b>	51.9486
<b>RLV3</b>	57.2143
<b>SL01</b>	47.5970
<b>SL02</b>	43.9986
<b>SL03</b>	55.7928

En el cuadro 4.8 se muestran las sumatorias de cada labor con las parcelas correspondientes para el cultivo avena forrajera del ciclo invierno-verano 2014.

Cuadro 4.8. Sumatorias de energía específica en avena 2014.

<b>PARCELA</b>	<b>Σ ENERGÍA ESPECÍFICA (J/kg)</b>
<b>LC1</b>	222.4422
<b>LC2</b>	172.0193
<b>LC3</b>	178.0724
<b>LV1</b>	165.2537
<b>LV2</b>	157.1566
<b>LV3</b>	179.5758
<b>L01</b>	47.5970
<b>L02</b>	43.9986
<b>L03</b>	55.7928

### 4.3 Energía neta por proceso del área bajo la curva

Debido al número alto de pruebas en esta investigación, se hicieron muchos análisis de proceso de determinación de energía neta por medio del área bajo la curva. Para facilitar los procesos en tiempo se creó un comando-programa en Matlab llamado *energíaneta* (Anexos D y F) que calcula la energía neta y arroja el resultado en MJ/Ha, el programa mencionado tiene las siguientes características:

- Solo admite archivos con extensión *.txt*, sin letras y puede trabajar hasta con 5 columnas o sensores. Para calcular la energía neta de una labor, el programa pide las constantes de calibración por cada sensor y la longitud de la corrida.
- El programa convierte a miliVolts los datos de cada columna y obtiene un promedio de los mismos para trabajar finalmente con una columna de datos y grafica los datos. Manualmente se teclea la distancia que se observa en la gráfica para que el inicio de valores se sitúe aproximadamente en cero y si es necesario se cambia el sentido de la gráfica mediante el cambio de signo de los datos.
- De acuerdo a la gráfica, el programa pide el rango de valores en el eje “X” para acotar el área que se analizará.
- Internamente el programa reajusta los datos del eje “X” y del eje “Y”, para que los rangos sean ajustados con base a la longitud del terreno donde se hizo la prueba y así obtener la ecuación para evaluar con una integral.
- Finalmente el programa calcula el área bajo la curva con el comando *trapz* arrojando el resultado en Joules por una corrida, posteriormente se incluye el ancho del implemento para que el programa nos calcule la energía neta en MJ/Ha.

La ventaja de este programa es el ahorro de tiempo al analizar un alto número de pruebas corridas, y la calidad de las gráficas que Matlab proporciona para acercar las vistas (*zoom*) y así poder definir los rangos para acotar las gráficas de una manera más eficiente.

Se determinaron los valores de energía neta con el programa *energianeta* en Matlab, se utilizaron los mismos datos obtenidos del transductor integral y el sistema de adquisición de datos. Esto se realizó para los dos diferentes cultivos (rotación y monocultivo).

En el cuadro 4.9 se presentan los resultados de energía neta mediante el proceso del área bajo la curva del cultivo maíz-frijol del ciclo verano-invierno 2013.

Cuadro 4.9. Energía neta en maíz-frijol 2013.

<b>Promedio Energía Neta (MJ/Ha)</b>	
<b>LC1</b>	247.3368
<b>LC2</b>	265.9799
<b>LC3</b>	275.6188
<b>LV1</b>	73.9610
<b>LV2</b>	107.1840
<b>LV3</b>	89.0386
<b>RLC1</b>	52.8443
<b>RLC2</b>	60.8329
<b>RLC3</b>	56.2019
<b>RLV1</b>	48.0545
<b>RLV2</b>	60.5041
<b>RLV3</b>	53.2486
<b>SL01</b>	24.8772
<b>SL02</b>	24.6764
<b>SL03</b>	23.3192

En el cuadro 4.10 se muestran las sumatorias de cada labor con las parcelas correspondientes para el cultivo maíz frijol de ciclo verano-invierno 2013.

Cuadro 4.10. Sumatorias de energía neta en maíz-frijol 2013.

PARCELA	$\Sigma$ ENERGÍA NETA (MJ)
LC1	325.0583
LC2	351.4892
LC3	355.1399
LV1	146.8927
LV2	192.3645
LV3	165.6064
L01	24.8772
L02	24.6764
L03	23.3192

En el cuadro 4.11 se presentan los resultados de energía neta mediante el proceso del área bajo la curva del cultivo avena forrajera del ciclo invierno-verano 2014.

Cuadro 4.11. Energía neta en avena 2014.

Energía Neta (MJ/Ha)	
LC1	186.6678
LC2	184.0000
LC3	158.0000
LV1	93.0000
LV2	101.5626
LV3	106.0835
RLC1	51.1331
RLC2	69.7049
RLC3	61.8632
RLV1	49.4156
RLV2	58.1093
RLV3	54.2128
SL01	27.1914
SL02	26.8611
SL03	29.1375

En el cuadro 4.12 se muestran las sumatorias de cada labor con las parcelas correspondientes para el cultivo avena forrajera de ciclo invierno-verano 2014.

Cuadro 4.12. Sumatorias de energía neta en avena 2014.

PARCELA	$\Sigma$ ENERGÍA NETA (MJ)
LC1	264.9923
LC2	280.5660
LC3	249.0007
LV1	169.6070
LV2	186.5330
LV3	189.4338
L01	27.1914
L02	26.8611
L03	29.1375

#### 4.4 Resultados de análisis estadístico de datos

##### 4.4.1 Energía específica en rotación de cultivos: maíz-frijol 2013

En el cuadro 4.13 se presentan los resultados de diferencia media significativa (DMS) y nivel de significancia de energía específica en el cultivo de maíz-frijol 2013, incluye la clasificación de grupos por sistema de labranza, se aprecia la gráfica (figura 4.1) para ver la comparación de medias.

Cuadro 4.13. Tabla de DMS de energía específica en rotación de cultivos: maíz-frijol 2013.

Grupo	Sistema de labranza	Media (J/kg)
a	LC	203.5
b	LV	161.9
c	L0	45.8
Nivel de significancia= 0.05		DMS= 40.63
<b>Nota:</b> Letras diferentes significan valores estadísticamente distintos.		

En el cuadro anterior se aprecia que las diferencias entre sistemas de labranza son altamente significativas.

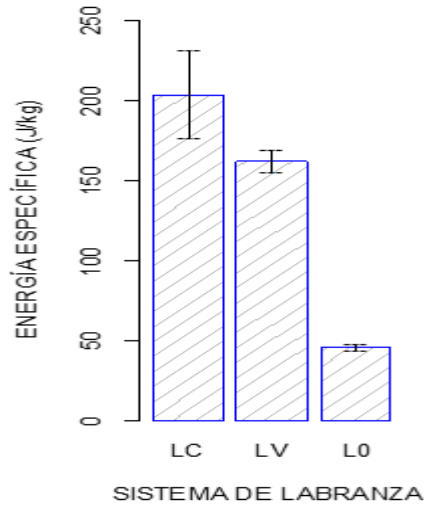


Figura 4.1. Gráfica de medias de energía específica en rotación de cultivos: maíz-frijol 2013.

#### 4.4.2 Energía específica en monocultivo: avena 2014

En el cuadro 4.14 se presentan los resultados de diferencia media significativa (DMS) y nivel de significancia de energía específica en el cultivo de avena 2014, incluye la clasificación de grupos por sistema de labranza, se aprecia la gráfica (figura 4.2) para ver la comparación de medias.

Cuadro 4.14. Tabla de DMS de energía específica en monocultivo: avena 2014.

Grupo	Sistema de labranza	Media (J/kg)
A	LC	190.8
A	LV	167.3
B	L0	49.1
Nivel de significancia= 0.05		DMS= 43.95
<b>Nota:</b> Letras diferentes significan valores estadísticamente distintos.		

En términos estadísticos la energía que demanda el sistema de labranza convencional no presenta diferencia significativa con la vertical a excepción de la labranza cero.

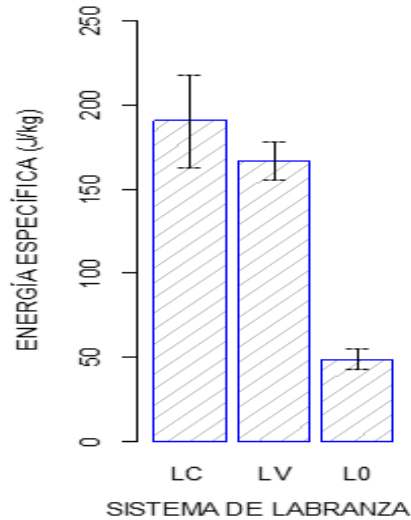


Figura 4.2. Gráfica de medias de energía específica en monocultivo: avena 2014.

#### 4.4.3 Energía neta en rotación de cultivos: maíz-frijol 2013

En el cuadro 4.15 se presentan los resultados de diferencia media significativa (DMS) y nivel de significancia de energía neta en el cultivo maíz-frijol 2013, incluye la clasificación de grupos por sistema de labranza, se aprecia la gráfica (figura 4.3) para ver la comparación de medias.

Cuadro 4.15. Tabla de DMS de energía neta en rotación de cultivos: maíz-frijol 2013.

Grupo	Sistema de labranza	Media (MJ/Ha)
A	LC	386.8
B	LV	210.5
C	L0	28.2
Nivel de significancia= 0.05		DMS= 105.08
<b>Nota:</b> Letras diferentes significan valores estadísticamente distintos.		

Los tres sistemas de labranza entre sí presentan una diferencia significativa alta.

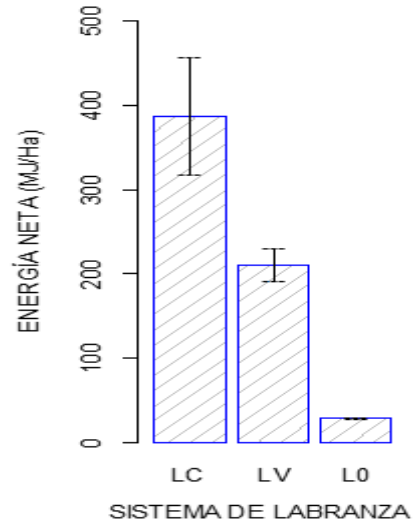


Figura 4.3. Gráfica de medias de energía neta en rotación de cultivos: maíz-frijol 2013.

#### 4.4.4 Energía neta en monocultivo: avena 2014

En el cuadro 4.16 se presentan los resultados de diferencia media significativa (DMS) y nivel de significancia de energía neta en el cultivo de avena 2014, incluye la clasificación de grupos por sistema de labranza, se aprecia la gráfica (figura 4.4) para ver la comparación de medias.

Cuadro 4.16. Tabla de DMS de energía neta en monocultivo: avena 2014.

Grupo	Sistema de labranza	Media (MJ/Ha)
A	LC	299.4
B	LV	216.6
C	L0	30.1
Nivel de significancia= 0.05		DMS= 81.17

**Nota:** Letras diferentes significan valores estadísticamente distintos.

Los valores de energía entre los tres sistemas de labranza presentan una alta diferencia significativa. Asis (2013) determinó la energía neta en un cultivo de avena forrajera en un suelo franco-arcilloso obteniendo 365.74 MJ/Ha en LC, 308.81 MJ/Ha en LV y 47.58 MJ/Ha en L0. Dichos valores se presentan más altos que las de esta tesis pero con la proporcionalidad o diferencia entre sistema de labranza parecida.



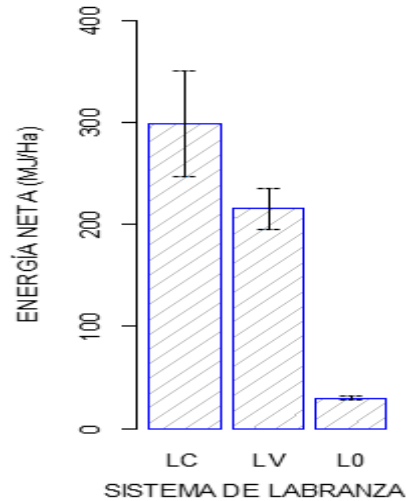


Figura 4.4. Gráfica de medias de energía neta en monocultivo: avena 2014.

#### 4.4.5 Energía neta por área bajo la curva en rotación de cultivos: maíz-frijol 2013

En el cuadro 4.17 se presentan los resultados de diferencia media significativa (DMS) y nivel de significancia de energía neta por área bajo la curva en rotación de cultivos maíz-frijol 2013, incluye la clasificación de grupos por sistema de labranza, se aprecia la gráfica (figura 4.5) para ver la comparación de medias.

Cuadro 4.17. Tabla de DMS de energía neta por área bajo la curva en maíz-frijol 2013.

Grupo	Sistema de labranza	Media (MJ/Ha)
A	LC	343.9
B	LV	168.3
C	L0	24.3
Nivel de significancia= 0.05		DMS= 40.71

**Nota:** Letras diferentes significan valores estadísticamente distintos.

Los tres sistemas de labranza presentan una alta diferencia significativa entre sí y con valores más bajos que por el método normal de cálculo energía, teniendo en cuenta que siguen presentando idénticas proporciones de diferencias entre cada sistema de labranza.

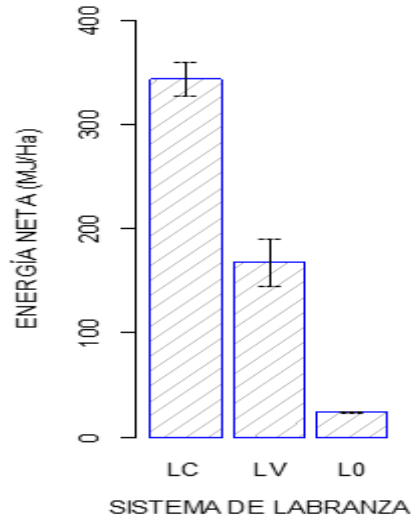


Figura 4.5. Gráfica de medias de energía neta por área bajo la curva en maíz-frijol 2013.

#### 4.4.6 Energía neta por área bajo la curva en monocultivo: avena 2014

En el cuadro 4.18 se presentan los resultados de diferencia media significativa (DMS) y nivel de significancia de energía neta por área bajo la curva en monocultivo avena 2014, incluye la clasificación de grupos por sistema de labranza, se aprecia la gráfica (figura 4.6) para ver la comparación de medias.

Cuadro 4.17. Tabla de DMS de energía neta por área bajo la curva en avena 2014.

Grupo	Sistema de labranza	Media (MJ/Ha)
A	LC	264.9
B	LV	181.9
C	L0	27.7
Nivel de significancia= 0.05		DMS= 27.64
<b>Nota:</b> Letras diferentes significan valores estadísticamente distintos.		

Al igual que en las anteriores tablas de diferencia media significativa, en este tipo de energía, el sistema de labranza cero es el que presenta los valores más bajos, y la labranza convencional los más altos.

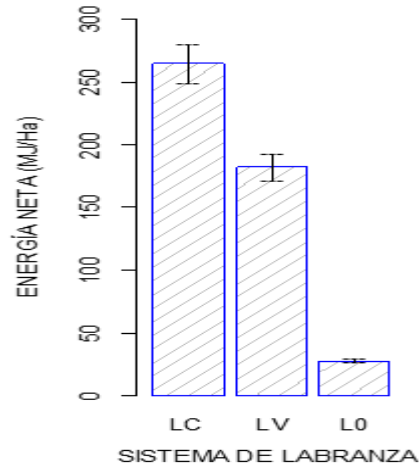


Figura 4.6. Gráfica de medias de energía neta por área bajo la curva en avena 2014.

#### 4.5 Comparación de resultados

En la figura 4.7 se muestra la gráfica comparación de medias de energía específica del cultivo maíz-frijol 2013 y de avena forrajera 2014.

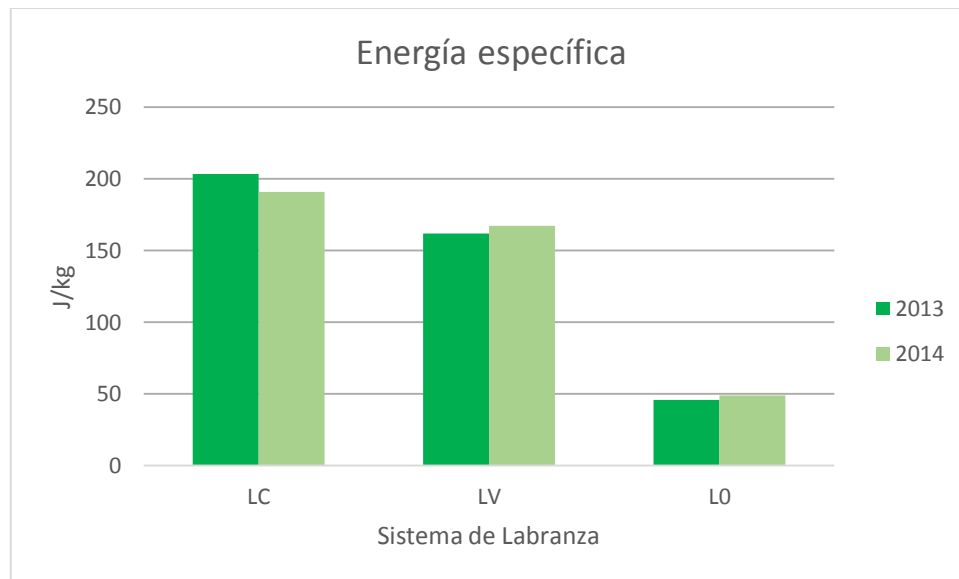


Figura 4.7. Energía específica 2013 y 2014.

A continuación, en la gráfica de la figura 4.8 se presentan las medias de energía neta de los cultivos maíz-frijol 2013 y de avena forrajera 2014, así también, las medias de

energía neta con el método del área bajo la curva de los cultivos mencionados (Figura 4.9).

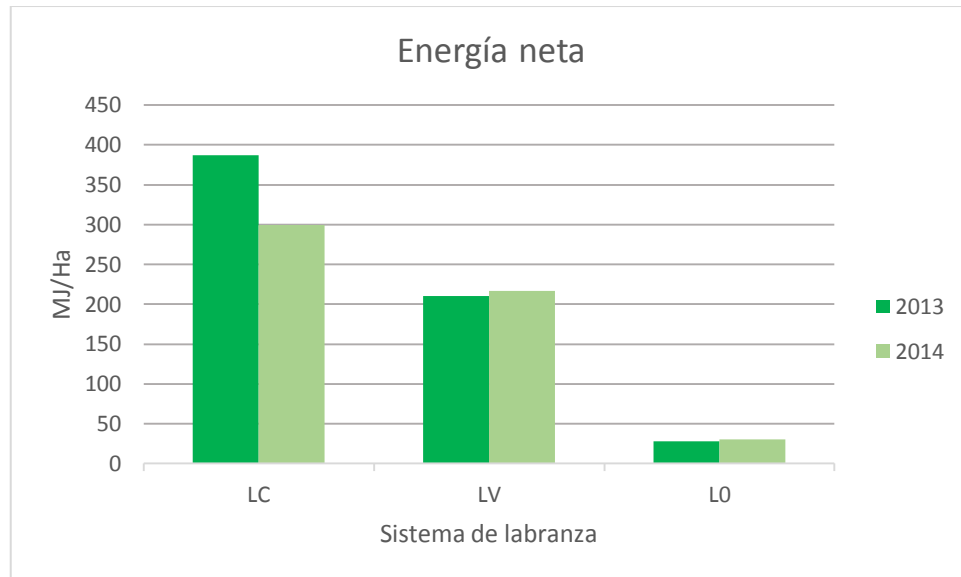


Figura 4.8. Comparación de energía neta entre 2013 y 2014.

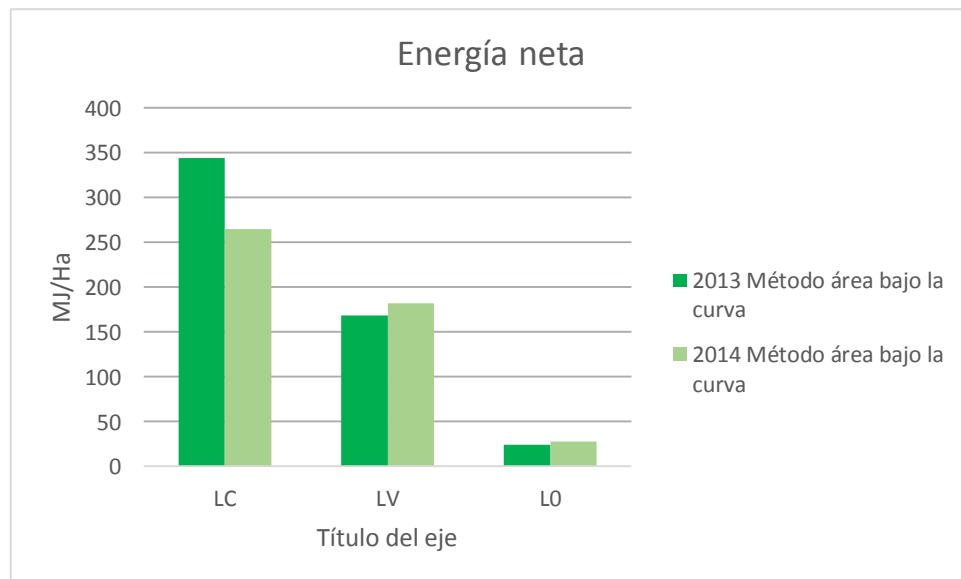


Figura 4.9. Comparación de energía neta con método de área bajo la curva 2013 y 2014.

En la figura 4.10 se presenta la gráfica de comparación entre energía neta con el proceso convencional y el método de área bajo la curva.

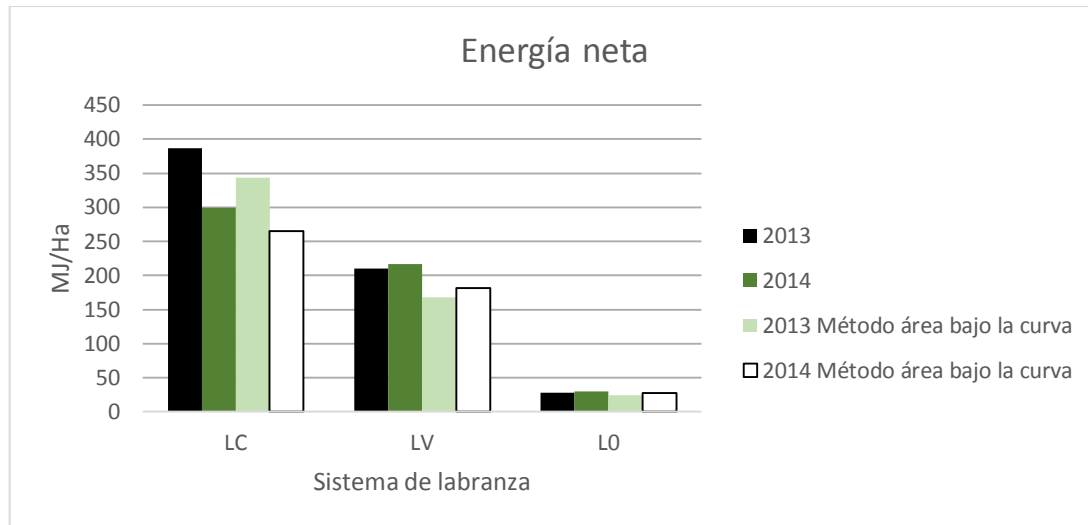


Figura 4.10. Comparación entre energía neta con el proceso convencional y el método de área bajo la curva.

El parámetro fuerza de arrastre en los sistemas de labranza es la que determina las diferencias de valores de energía entre las mismas (Pacheco, 2012 y Asís, 2013). Basado en lo anterior el sistema que demanda mayor fuerza (kN) en los dos tipos de energía y los tres sistemas de labranza es el convencional seguido por el vertical, que por consecuencia presentan los valores más altos de energía.

En las pruebas realizadas por Asís (2013), describe que entre el sistema de labranza convencional y el vertical no presentan diferencia significativa alguna, el cual es un caso contrario a los estudios de esta tesis.

Collins (1981) realizó un estudio para medir la demanda energética de tres sistemas de labranza, teniendo como resultado en la labranza convencional 247 MJ/ha, 213 MJ/ha en la labranza vertical y 50 MJ/ha en labranza cero. Lo anterior explica que no encontró diferencia significativa entre los sistemas convencional y vertical.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El sistema de labranza que demanda mayor consumo de energía es la de labranza convencional, este resultado se presentó en los dos ciclos de pruebas que se realizaron. El sistema de labranza vertical comparado con el convencional no representa una diferencia significativa en aspectos de fuerza y energía. El sistema que mostró los valores más bajos en gasto de energía fue la de cero labranza.

Los resultados con el método del área bajo la curva, presentan datos de energía menores a los del proceso normal, pero cumple con las características de proporción entre cada sistema de labranza. Se recomienda continuar la determinación de energía con este método, debido a que, los datos suelen ser más precisos cuando se toma en cuenta los datos mínimos y máximos de las corridas, es decir, no se pierden algunos valores en la determinación del rango de valores a evaluar, caso distinto al proceso de análisis espectral.

La aplicación de mejoradores de suelo no ha tenido una diferencia significativa en el ahorro de energía, por lo cual se recomienda continuar con ésta investigación.

## VI. LITERATURA CITADA

- Acevedo E., Martínez E. 2003. Sistema de Labranza y Productividad de los Suelos. Sustentabilidad en Cultivos Anuales. Santiago, Universidad de Chile, Ciencias Agronómicas N°8, pp (13-25).
- Altieri Miguel A. 1999. Rotación de cultivos y labranza mínima. Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. Montevideo, Uruguay. Pp (217)
- Asís Esteves Jorge. 2013. Tesis de licenciatura. Determinación de los requerimientos de energía de tres sistemas de labranza en un suelo franco-arcilloso. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.
- Baker C. J., Saxton K. E., Ritchie W. R., Chamen W. C. T., Reicosky D. C., Ribeiro M. F. S., Justice S. E. y Hobbs P. R. 2009. Siembra con labranza cero en la agricultura de conservación. FAO. España. 2° edición.
- Blanco Sandoval José Orlando. 2006. Acondicionadores y mejoradores del suelo. ICA-Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Colombia.
- Bravo Carlos, Florentino Adriana. 1997. Efecto de diferentes sistemas de labranza sobre las propiedades físicas del suelo y su influencia sobre el rendimiento del algodón. Bioagro. Venezuela. 9(3), pp (67-75).
- Cabrera P. Samuel R. 1996. Evaluación del efecto de diferentes métodos de labranza sobre el suelo y el sistema de producción maíz-frijol. Bioagro. Venezuela. 8 (2), pp (33-42).
- Cadena Zapata M. Campos Magaña S. G., López Santos A., Zermeño González A. 2012. Configuración de herramientas de labranza vertical para reducir demanda de energía. Terra Latinoamericana. México. 30(3), pp (279-288).
- Cadena Zapata Martín, Gaytán Muñiz Tomás, Zermeño González Alejandro. 2004. Desempeño de Implementos de Labranza en Términos de Consumo de Energía y Calidad de Trabajo. Revista Agraria Nueva Época. 1 (1): Pp (12-17).

Camacho Tamayo Jesús H., Rodríguez B. Gonzalo A. 2007. Evaluación de implementos de labranza a diferentes velocidades de operación y contenidos de agua del suelo. Agricultura técnica. Chile. 67(1), pp (60-67).

Campos M. S. G. 1995. Force measurement-recording and data analysis for tillage tools. Agric. Mechanization in Asia, Africa and Latin America. 26(4): pp (13-16)

Campos Magaña S. G., Cadena Zapata M., Jácome Maldonado Sergio., Reynolds Chávez A., Uribe Gómez S. 2004. Sistema integral de simulación de fuerzas aplicado al desarrollo de herramientas de labranza de conservación. TERRA Latinoamericana. México. 22 (2), pp. (161-168).

Campos Santos G., Jácome Sergio M., Cruz José A., Hinojosa Manuel, Cadena Martín. 2004. Desarrollo de un transductor de fuerzas para la evaluación de implementos integrales en tractores categoría II basado en el diseño octagonal extendido. INIFAP-UAAAN. México.

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

Cruz Hernández Diego. 2014. Evaluación de un prototipo articulado de cinceles para labranza vertical. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.

Dirección de Investigación, Subdirección de Operación de Proyectos. 2011. Campo Agrícola Experimental Buenavista, Saltillo. Campos experimentales. UAAAN. Coahuila, México.

Esqueda Elizondo José Jaime. 2002. Matlab e Interfaces Gráficas. Evento CONATEC 2002. Instituto Tecnológico de Ciudad Madero. Tamaulipas, México. Pp (4).

FAO. 2000. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín de tierras y aguas de la FAO.



FAO. 2009. Guía para la descripción de suelos. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Italia. 4° Edición.

FAO. 2014. Página en línea: consultado el 24 de Noviembre de 2014.  
<http://www.fao.org/ag/ca/es/3a.html>

IDAE. 2005. Ahorro de combustible en el tractor agrícola. Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura. España. Pp (5-20).

IDAE. 2006. Ahorro, Eficiencia Energética y Sistemas de Laboreo Agrícola. Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura. España. 2° Edición, N° 4, pp (9-10)

INIA. 2005. Determinación de la textura del suelo en terreno. Guías y manuales de terreno. Sistema interactivo de apoyo al riego. Chile.

Inostroza F. Juan, Méndez L. Patricio. 2009. Preparación de suelo. Instituto de Investigación Agropecuarias, Ministerio de Agricultura Centro Regional Carillanca. Temuco, Chile. Boletín INIA N° 193, pp 29.

López López Juan Antonio. 2014. Desarrollo y evaluación de sensores para la medición de parámetros físicos del suelo aplicados en la generación de mapas de diagnóstico. Tesis de Maestría. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.

Navarro Bravo A., Figueroa Sandoval B., Ordaz Chaparro V. M., González Cossío F. V. 2000. Efecto de la labranza sobre la estructura del suelo, la germinación y el desarrollo del maíz y frijol. Terra. México. 18 (1), pp (61-69).

Noya Ramiro. 1990. Tractores: La labranza vertical. Revista Plan Agropecuario N° 51. Uruguay.

Pacheco López Jorge Luis. 2012. Requerimientos de energía en la labranza Vertical basado en el principio de profundidad Crítica. Tesis de Maestría. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.

Palau Bioquim S.A. de C.V. 2013. Algaenzims MR. Potenciador Orgánico. Coahuila, México. Pp (1-2)

Paredes Diego, Roba Marcos, D'ámico Juan P., Romito Ángel, Florean Rodolfo, Cura Jorge, Tesouro Omar. 2004. Labranza vertical: Efecto sobre las propiedades físicas del suelo y el rendimiento del cultivo de soja (*Glycine max*) bajo diferentes grados de compactación. CNIA-INTA. Buenos Aires, Argentina.

Pitty A. 1997. Introducción a la biología, ecología y manejo de las malezas. Tegucigalpa, Honduras, Zamorano. Pp(13).

R Development Core Team. 2000. Introducción a R. Un entorno de programación para Análisis de Datos y Gráficos. Auckland, Nueva Zelanda. Pp. (2).

Ramos Rangel Oscar Nahum. 2010. Desarrollo de un transductor integral para determinar la Magnitud de las fuerzas que actúan en los implementos de labranza. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.

Riquelme S. Jorge. 2004. Sistemas de preparación de suelo para el establecimiento del trigo. Boletín del trigo. Chile. Pp. (29).

Ruiz S. Carlos, Riquelme S. Jorge. 2009. Ventajas de la cero labranza en el secano interior. La Discusión Rural (Publicación para el mundo rural). Chile.

Smith D. W., Sims B. G., O'Neil D. H. 1994. Principios y prácticas de prueba y evaluación de máquinas y equipos agrícolas. Boletín de servicios agrícolas de la FAO. Roma, Italia.

Valverde Franklin, Ramos Mario, Estrada Soledad, Silva Juan, Ruales Washington, Parra Rafael. 2004. Evaluación de sistemas de labranza de suelo y fertilización en la asociación maíz-frijol voluble. INIAP-PROMSA. Ecuador. Boletín N° 121.

Vila Alicia, Sedano Máximo, Angel A. Juan. 2006. Introducción a Minitab. Proyecto e-Math. Secretaría de Estado de Educación y Universidades. España. Pp (4).

## VII. ANEXOS

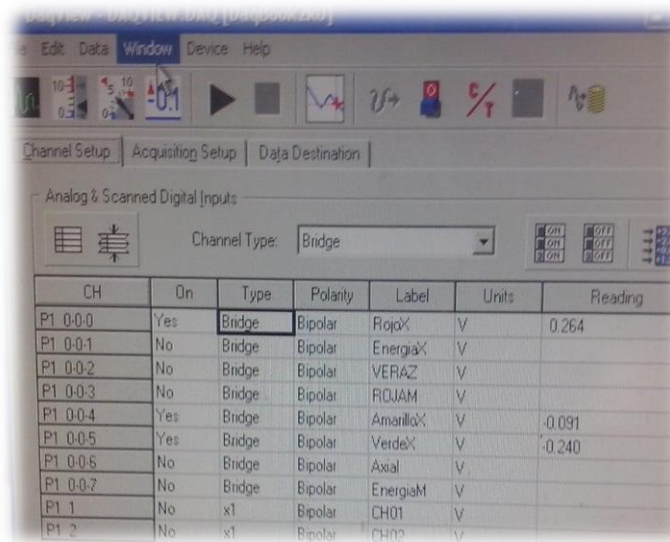
**Anexo A.** Orden en que se subieron y bajaron los contrapesos de la canastilla del banco de calibración.

Descripción	Contrapeso	Peso acumulado (kg)	N° Datos por contrapeso	N° Datos acumulados
*	0	0	400	0
Subiendo los contrapesos en la canastilla	48	48	400	400
	48	96	400	800
	48	144	400	1200
	73	217	400	1600
	35	252	400	2000
	35	287	400	2400
	30	317	400	2800
	30	347	400	3200
Quitando los contrapesos de la canastilla	30	347	400	3600
	30	317	400	4000
	35	287	400	4400
	35	252	400	4800
	73	217	400	5200
	48	144	400	5600
	48	96	400	6000
	48	48	400	6400
*	0	0	400	6800

**Anexo B.** Tractor New Holland 6810, utilizado para las pruebas en campo.



**Anexo C.** Identificación de canales por cada sensor en el programa DaqView.



**Anexo D.** Cuadro de pruebas realizadas en campo

Implemento	Código	Descripción	Repeticiones
Arado de discos	LC1	Labranza convencional, parcela 1	2
	LC2	Labranza convencional, parcela 2	2
	LC3	Labranza convencional, parcela 3	2
Arado de cinceles	LV1	Labranza vertical, parcela 1	2
	LV2	Labranza vertical, parcela 2	2
	LV3	Labranza vertical, parcela 3	2
Rastra	RLC1	Labranza convencional, parcela 1	2
	RLC2	Labranza convencional, parcela 2	2
	RLC3	Labranza convencional, parcela 3	2
	RLV1	Labranza vertical, parcela 1	2
	RLV2	Labranza vertical, parcela 2	2
	RLV3	Labranza vertical, parcela 3	2
Sembradora	SL01	Labranza cero, parcela 1	2
	SL02	Labranza cero, parcela 2	2
	SL03	Labranza cero, parcela 3	2

## Anexo E. Comando-programa completo: *energianeta*

```
% Programa que calcula la energía neta de una labor en MJ/Ha
% William Morales Bartolón
% 29 de Julio de 2014
% Versión de Matlab R2012b

% Este programa esta creado para trabajar con 1 hasta 5 columnas, eso
% depende del número de sensores con el cual trabajó el equipo de
% transductor integral, de los cuales se obtiene un promedio y al final
% solo obtenemos un valor de energía.

clc, clear
disp('-----')
disp('Este programa calcula la energía neta de una labor, los datos deben
estar en')
disp('Volts y de 1 a 5 columnas en un archivo con extensión .txt , no debe
contener')
disp('letras, solo números. Para continuar pulse una tecla...')
disp('-----')
pause
opcion=input(['¿Con cuantas columnas (de 1 a 5) se trabajarán?: ']);
archivo=input('Nombre del archivo que contiene los datos (solo nombre sin
extensión): ','s');

if opcion==1;
    filename=[archivo '.txt']; % Se determina la extensión de archivo que
se desea aceptar
eval(['load ' filename]);
disp(' ')
disp('El archivo esta listo para trabajar. Pulse una tecla...')
pause
x=eval(archivo);
s1=x(:,1);

disp(' ')
k1=input('Constante de los datos: ');

s1=s1*1000*k1; % Los Volts de la primera columna se convierten a miliVolts
y se multiplican por su constante para estar en Newtons

f=s1; % ahora se representa la variable de los nuevos datos en Newtons

else
    if opcion==2;
        filename=[archivo '.txt']; % Se determina la extensión de archivo que
se desea aceptar
eval(['load ' filename]);
disp(' ')
disp('El archivo esta listo para trabajar. Pulse una tecla...')
pause
```

```

x=eval(archivo);
s1=x(:,1);
s2=x(:,2);

disp(' ')
k1=input('Constante de la primera columna: ');
k2=input('Constante de la segunda columna: ');

s1=s1*1000*k1; % Los Volts de la primera columna se convierten a miliVolts
y se multiplican por su constante para estar en Newtons
s2=s2*1000*k2; % Los Volts de la segunda columna se convierten a miliVolts
y se multiplican por su constante para estar en Newtons

f=(s1+s2)/2; % Se obtiene el promedio las 2 columnas

else
    if opcion==3;
        filename=[archivo '.txt']; % Se determina la extensión de archivo que
se desea aceptar
eval(['load ' filename]);
disp(' ')
disp('El archivo esta listo para trabajar. Pulse una tecla...')
pause
x=eval(archivo);
s1=x(:,1);
s2=x(:,2);
s3=x(:,3);

disp(' ')
k1=input('Constante de la primera columna: ');
k2=input('Constante de la segunda columna: ');
k3=input('Constante de la tercera columna: ');

s1=s1*1000*k1; % Los Volts de la primera columna se convierten a miliVolts
y se multiplican por su constante para estar en Newtons
s2=s2*1000*k2; % Los Volts de la segunda columna se convierten a miliVolts
y se multiplican por su constante para estar en Newtons
s3=s3*1000*k3; % Los Volts de la tercera columna se convierten a miliVolts
y se multiplican por su constante para estar en Newtons

f=(s1+s2+s3)/2; % Se obtiene el promedio las tres columnas

else
    if opcion==4;
        filename=[archivo '.txt']; % Se determina la extensión de archivo que
se desea aceptar
eval(['load ' filename]);
disp(' ')
disp('El archivo esta listo para trabajar. Pulse una tecla...')

```

```

pause
x=eval(archivo);
s1=x(:,1);
s2=x(:,2);
s3=x(:,3);
s4=x(:,4);

disp(' ')
k1=input('Constante de la primera columna: ');
k2=input('Constante de la segunda columna: ');
k3=input('Constante de la tercera columna: ');
k4=input('Constante de la cuarta columna: ');

s1=s1*1000*k1; % Los Volts de la primera columna se convierten a miliVolts
y se multiplican por su constante para estar en Newtons
s2=s2*1000*k2; % Los Volts de la segunda columna se convierten a miliVolts
y se multiplican por su constante para estar en Newtons
s3=s3*1000*k3; % Los Volts de la tercera columna se convierten a miliVolts
y se multiplican por su constante para estar en Newtons
s4=s4*1000*k4; % Los Volts de la cuarta columna se convierten a miliVolts y
se multiplican por su constante para estar en Newtons

f=(s1+s2+s3+s4)/2; % Se obtiene el promedio las cuatro columnas

else
    if opcion==5;
        filename=[archivo '.txt']; % Se determina la extensión de archivo que
se desea aceptar
eval(['load ' filename]);
disp(' ')
disp('El archivo esta listo para trabajar. Pulse una tecla...')
pause
x=eval(archivo);
s1=x(:,1);
s2=x(:,2);
s3=x(:,3);
s4=x(:,4);
s5=x(:,5);

disp(' ')
k1=input('Constante de la primera columna: ');
k2=input('Constante de la segunda columna: ');
k3=input('Constante de la tercera columna: ');
k4=input('Constante de la cuarta columna: ');
k5=input('Constante de la quinta columna: ');

s1=s1*1000*k1; % Los Volts de la primera columna se convierten a miliVolts
y se multiplican por su constante para estar en Newtons
s2=s2*1000*k2; % Los Volts de la segunda columna se convierten a miliVolts
y se multiplican por su constante para estar en Newtons
s3=s3*1000*k3; % Los Volts de la tercera columna se convierten a miliVolts
y se multiplican por su constante para estar en Newtons
s4=s4*1000*k4; % Los Volts de la cuarta columna se convierten a miliVolts y
se multiplican por su constante para estar en Newtons

```

```
s5=s5*1000*k5; % Los Volts de la quinta columna se convierten a miliVolts y
se multiplican por su constante para estar en Newtons
```

```
f=(s1+s2+s3+s4+s5)/2; % Se obtiene el promedio las cinco columnas
```

```
end
end
end
end
end
```

```
a=input('Longitud de la parcela o corrida (metros): ');
titulo=input('Titulo para las graficas : ','s');
disp(' ')
disp('Espere mientras se grafican los datos, esto puede tardar un poco.. ')
disp(' ')
plot(f, '-r');title(titulo);xlabel('Rango');ylabel('Fuerza (N)');grid
on;zoom on
disp('Revise la gráfica y escriba el desplazamiento para que el inicio de')
dv=input('valores se coloque en cero: ');
f=f+dv;
plot(f, '-r');title(titulo);xlabel('Rango');ylabel('Fuerza (N)');grid
on;zoom on
disp(' ')
disp('Con respecto a la gráfica, multiplique por -1 si la gráfica es
negativa')
signo=input('ó por 1 si la grafica es positiva: ');
f=f*signo;
disp(' ')
disp('Vea la gráfica, notará que los datos se han ajustado, pulse una
tecla...')
plot(f, '-r');title(titulo);xlabel('Rango');ylabel('Fuerza (N)');grid
on;zoom on
pause
disp(' ')
```

```
ini=input('Posición inicial para el análisis (solo enteros): ');
fin=input('Posición final para el análisis (solo enteros) : ');
```

```
l=fin-ini+1;
n=a/l;
f=f(ini:fin);
```

```
t=(n/2);
p=a-t;
g=[0:n:p];
disp(' ')
disp('Revise la gráfica, se muestra lista para ser analizada. Pulse una
tecla...')
plot(g,f), grid, title(titulo);xlabel('Rango de la corrida
(m)');ylabel('Fuerza (N)');grid on;zoom on
pause
disp(' ')
```



```

disp('Vea de nuevo la gráfica, está sombreada el area para su análisis.
Pulse una tecla....')
area(g,f), grid, title(titulo);xlabel('Rango de la corrida
(m)');ylabel('Fuerza (N)');grid on;zoom on
pause
disp(' ')
disp('-----')
disp('-----')
disp('Ahora el programa esta calculando el área bajo la curva. Pulse una
tecla')
pause
disp(' ')
disp('La energía por una corrida es:')
Joules=trapz(g,f)

k=input('Para calcular la energía neta escriba el ancho del implemento
utilizado (metros): ');
w=a*k;
disp(' ')
disp('El programa esta calculando la energía neta. Pulse una tecla.... ')
pause
disp(' ')
disp('La energía neta (MJ/Ha) es:')

MegaJoules_por_Hectarea=((Joules)*10000)/(w*1000000)

disp(' ')
disp('Fin del análisis')
disp('-----')
disp('-----')

```

## Anexo F. Ejemplo del uso del comando-programa: *energianeta*

Ejemplo del análisis de una corrida en Labranza Convencional Parcela 1 con arado de discos, se utilizó el comando-programa elaborado en esta investigación.

```

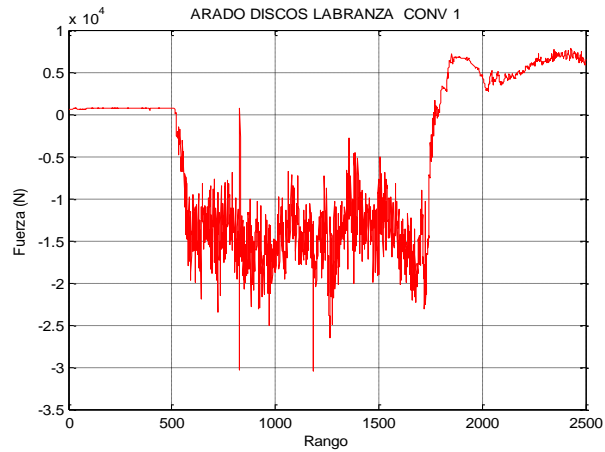
% >> energianeta
-----
Este programa calcula la energía neta de una labor, los datos deben estar en
Volts y de 1 a 5 columnas en un archivo con extensión .txt , no debe contener
letras, solo números. Para continuar pulse una tecla...
-----
¿Con cuantas columnas (de 1 a 5) se trabajarán?: 2
Nombre del archivo que contiene los datos (solo nombre sin extensión): LC1

El archivo esta listo para trabajar. Pulse una tecla...

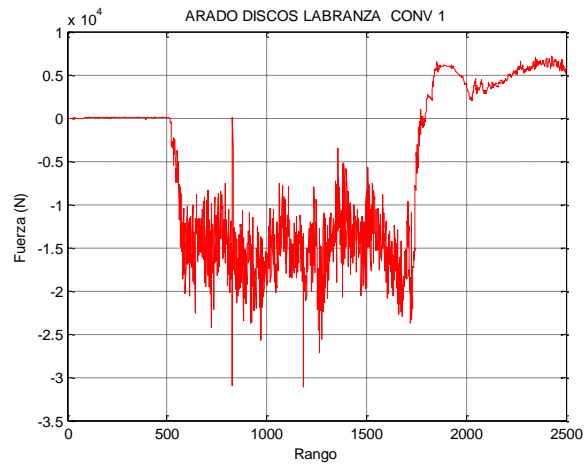
Constante de la primera columna: 14.93
Constante de la segunda columna: 16.47
Longitud de la parcela o corrida (metros): 35
Titulo para las graficas : ARADO DISCOS LABRANZA CONV 1

Espere mientras se grafican los datos, esto puede tardar un poco..

```

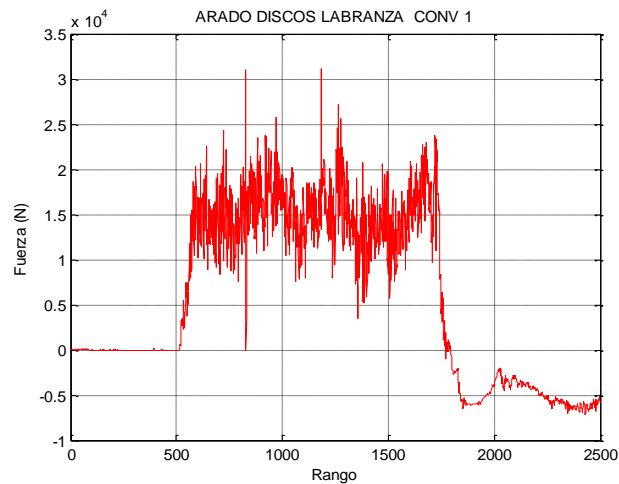


Revise la gráfica y escriba el desplazamiento para que el inicio de valores se coloque en cero: -670



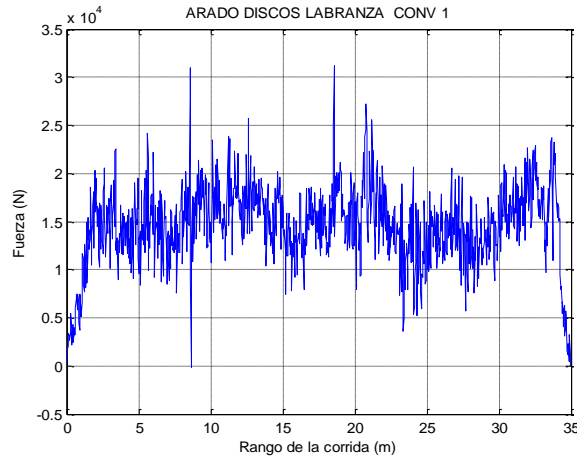
Con respecto a la gráfica, multiplique por -1 si la gráfica es negativa ó por 1 si la grafica es positiva: -1

Vea la gráfica, notará que los datos se han ajustado, pulse una tecla...

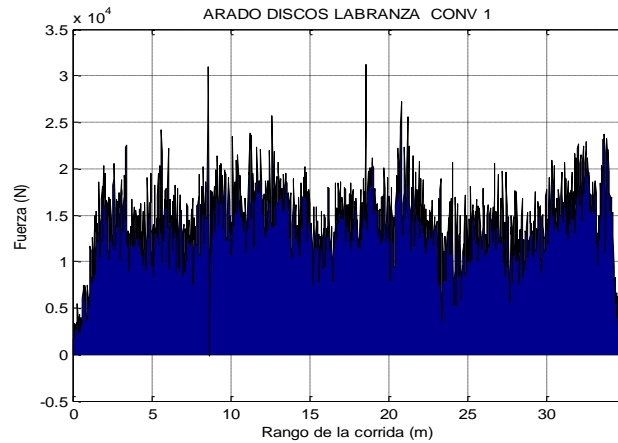


Posición inicial para el análisis (solo enteros): 520  
Posición final para el análisis (solo enteros) : 1769

Revise la gráfica, se muestra lista para ser analizada. Pulse una tecla...



Vea de nuevo la gráfica, está sombreada el área para su análisis. Pulse una tecla....



Ahora el programa esta calculando el área bajo la curva. Pulse una tecla

La energía por una corrida es:

Joules =

5.0778e+05

Para calcular la energía neta escriba el ancho del implemento utilizado (metros): 0.9

El programa esta calculando la energía neta. Pulse una tecla....

La energía neta (MJ/Ha) es:

MegaJoules\_por\_Hectarea =

161.1987

Fin del análisis

**Anexo G.** Tablas de análisis de varianza por cada ciclo y tipo de energía

<b>ANÁLISIS DE VARIANZA: ENERGÍA ESPECÍFICA MAIZ-FRIJOL 2013</b>					
	Grados de Libertad (Df)	Suma de cuadrados (SS)	Media de cuadrados (Ms)	F	Pr (>F)
<b>Factor A</b>	2	40039	20019.6	76.08	5.46e-05 ***
<b>Residuos</b>	6	1579	263.1		
CV= 11.83 %					

<b>ANÁLISIS DE VARIANZA: ENERGÍA ESPECÍFICA AVENA 2014</b>					
	Grados de Libertad (Df)	Suma de cuadrados (SS)	Media de cuadrados (Ms)	F	Pr (>F)
<b>Factor A</b>	2	34607	17303.6	56.218	0.00013 ***
<b>Residuos</b>	6	1847	307.8		
CV= 12.92 %					

<b>ANÁLISIS DE VARIANZA: ENERGÍA NETA MAIZ-FRIJOL 2013</b>					
	Grados de Libertad (Df)	Suma de cuadrados (SS)	Media de cuadrados (Ms)	F	Pr (>F)
<b>Factor A</b>	2	192918	96459	54.819	0.0001397 ***
<b>Residuos</b>	6	10558	1760		
CV= 20.12 %					

<b>ANÁLISIS DE VARIANZA: ENERGÍA NETA AVENA 2014</b>					
	Grados de Libertad (Df)	Suma de cuadrados (SS)	Media de cuadrados (Ms)	F	Pr (>F)
<b>Factor A</b>	2	114110	57055	54.34	0.0001432 ***
<b>Residuos</b>	6	6300	1050		
CV= 17.80 %					

<b>ANÁLISIS DE VARIANZA: ENERGÍA NETA POR ÁREA BAJO LA CURVA MAIZ-FRIJOL 2013</b>					
	Grados de Libertad (Df)	Suma de cuadrados (SS)	Media de cuadrados (Ms)	F	Pr (>F)
<b>Factor A</b>	2	3017.61	1508.80	274.63	1.262e-06
<b>Residuos</b>	6	32.96	5.49		
CV= 6.35 %					

<b>ANÁLISIS DE VARIANZA: ENERGÍA NETA POR ÁREA BAJO LA CURVA AVENA 2014</b>					
	Grados de Libertad (Df)	Suma de cuadrados (SS)	Media de cuadrados (Ms)	F	Pr (>F)
<b>Factor A</b>	2	153721	76860	260.95	1.063e-06 ***
<b>Residuos</b>	6	1585	264		
CV= 9.09 %					

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de Libertad (Df)	Suma de cuadrados (SS)	Media de cuadrados (Ms)	F	Pr (>F)
<b>Factor A</b>	2	86871	43435	356.72	5.8e-07 ***
<b>Residuos</b>	6	731	122		
CV= 6.98 %					

**Anexo G:** Tablas de resultados de parámetros para calcular energía.

HUMEDAD (%)				
Sistema de labranza	LC	LV	L0	Promedio por ciclo
Maiz-frijol, Diciembre 2013	11.20	10.15	---	10.68
Avena, Junio 2014	12.81	15.14	---	13.98

PATINAJE (%)				
Ciclo	LC	LV	L0	Promedio por ciclo
<b>Maiz-frijol, Diciembre 2013</b>	16.11	7.01	6.66	9.93
<b>Avena, Junio 2014</b>	7.18	4.88	0.21	4.09

VELOCIDAD (km/h)					
Descripción	Ciclo	LC	LV	L0	Promedio por ciclo
Implemento trabajando	Maiz-frijol, Diciembre 2013	4.50	4.97	6.15	5.21
Implemento levantado	Maiz-frijol, Diciembre 2013	5.09	5.12	6.05	5.42
Implemento trabajando	Avena, Junio 2014	6.65	5.84	6.10	6.20
Implemento levantado	Avena, Junio 2014	6.32	6.38	6.25	6.32

ANCHO DE TRABAJO (m)				
Ciclo	Arado de discos	Arado de cinceles	rastra	Sembradora
Los 2 ciclos	0.9	2.1	2.0	2.3

**Nota:** el ancho de cada implemento se utilizó en todas las labores de las mismas para tener resultados más congruentes al calcular energía.