

CARACTERIZACION DEL DESEMPEÑO DE CUATRO  
IMPLEMENTOS DE LABRANZA EN TERMINOS DE CONSUMO  
DE ENERGIA Y CALIDAD DE TRABAJO

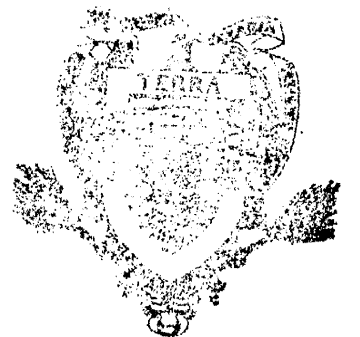
TOMAS GAYTAN MUÑIZ

**TESIS**

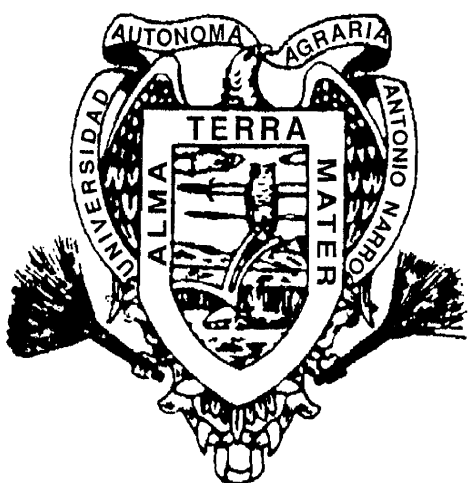
*Presentada como Requisito Parcial para  
Obtener el Grado de:*

MAESTRO EN CIENCIAS  
EN SUELOS

Universidad Autónoma Agraria  
"ANTONIO NARRO"



**BIBLIOTECA**



UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"  
PROGRAMA DE GRADUADOS

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México  
Diciembre de 2003

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO

SUBDIRECCION DE POSTGRADO

CARACTERIZACION DEL DESEMPEÑO DE CUATRO IMPLEMENTOS DE  
LABRANZA EN TERMINOS DE CONSUMO DE ENERGIA Y CALIDAD DE  
TRABAJO

TESIS

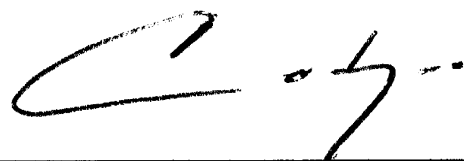
POR  
TOMAS GAYTAN MUÑIZ

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada  
como requisito parcial para optar al grado

MAESTRO EN CIENCIAS  
EN SUELOS

COMITE PARTICULAR

Asesor Principal:



Dr. Martín Cadena Zapata

Asesor:

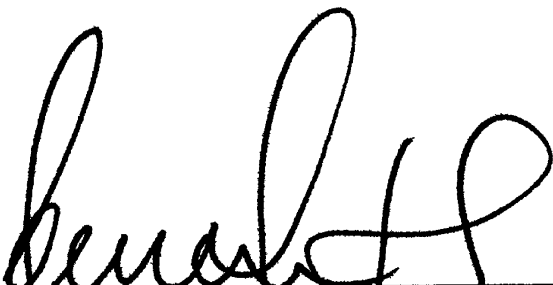


Dr. Eduardo Narro Farias

Asesor:



M.C. Idalia Hernández Torres



Dr. Jerónimo Landeros Flores  
Subdirector de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, Diciembre de 2003.

## DEDICATORIA

A mi esposa e hijas:

Alicia García López

Laura I. Gaytán García

Claudia A. Gaytán García

Por su apoyo y comprensión que me proporcionaron durante el desarrollo de mi preparación.

A mis padres:

Tomás Gaytán Ibarra †

Juana Muñiz de Gaytán

Con amor y respeto, quienes me dieron la vida y me legaron de principios, de rectitud y conducta para ser un hombre de bien.

A mis hermanos con Cariño y Gratitud:

David, Sara, Raquel, José L., Joel, Juan

Magdalena, Orfelinda, Samuel y Diana

## AGRADECIMIENTOS

“ A ti señor todo poderoso te doy gracias por la vida, salud y amor, por ser el principal motivo de todos mis logros, pero sobre todo por incluirme como un participe mas de este maravilloso universo “

A la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO, por haberme cobijado en su seno y dado la oportunidad de superarme.

A mis asesores, Dr. Martín Cadena Zapata, Dr. Eduardo Narro Farias, M.C. Idalia Hernández Torres y principalmente al Dr. Santos G. Campos Magaña por su apoyo y colaboración en la realización de este trabajo.

A mis maestros del Departamento de Suelos, Dr. Eduardo Narro Farias, M.C. Luis Miguel Lasso Mendoza, M.C. Javier Silveyra Medina, M.C. Felipe Abencerraje Rodríguez, Dr. Rubén López Cervantes, Dr. Edmundo Peña Cervantes, M.C. Rommel de la Garza Garza, por brindarme los conocimientos durante mis estudios.

A mis compañeros de trabajo, B. Elizabeth de la Peña Casas, Martín Cadena Zapata, Jesús R. Valenzuela García, Aguinaldo García Santos, H. Uriel Serna Fernández, Juan Arredondo Valdez, Juan A. Guerrero Hernández, Saúl Soto Molina, Rosendo González Garza, Ramiro Luna Montoya, José J. De Valle Treviño y Sergio Martínez Medellín, por su amistad y apoyo que me brindan.



# COMPENDIO

Caracterización del desempeño de cuatro implementos de labranza en términos de consumo de energía y calidad de trabajo

Por

TOMAS GAYTAN MUÑIZ

MAESTRIA EN

SUELOS

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Buenvista, Saltillo, Coahuila, Diciembre de 2003.

Dr. Martín Cadena Zapata. – Asesor –

Palabras Claves: Calidad de trabajo, Consumo de energía, Implementos.

Se efectuó la evaluación del desempeño tecnológico del multiarado, vibrocultivador, arado de discos y rastra de discos, tomando como base la calidad y consumo de energía que estos implementos desarrollan al labrar el suelo. El experimento se estableció en un suelo arcilloso, en un diseño de bloques al azar con seis tratamientos y tres repeticiones.

En el desempeño de la configuración tractor-implemento se encontró que los tratamientos con vibrocultivador y rastra tienen una mayor capacidad teórica, un menor consumo de combustible por área, así como un menor requerimiento de potencia, por lo que estadísticamente son diferentes a los tratamientos de arado y multiarado.

En la calidad y energía de la operación de los implementos se determinó que el tratamiento de rastra supera significativamente del de rastra después de arado, este último presenta un incremento en la densidad en vez de una disminución. El multiarado dejó los agregados más grandes y el vibrocultivador los más pequeños.

También se encontró en el índice energético y el esfuerzo unitario de los tratamientos de arado de discos y multiarado existe diferencia con el resto de los tratamientos, así mismo el arado de discos supera al multiarado en un 32 por ciento y 25.5 por ciento con relación al índice energético y esfuerzo unitario respectivamente. La diferencia entre implementos del esfuerzo se ve influenciada por la forma geométrica, la intensidad de corte y la manipulación del suelo que estos realizan.

# ABSTRACT

Performance Assessment of four tillage implements in terms of energy consumption and work quality

By

TOMAS GAYTAN MUÑIZ

MASTER IN SCIENCE

SOILS

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Buenvista, Saltillo, Coahuila, December 2003.

Dr. Martín Cadena Zapata. – Advisor –

Key wards: Work quality, Energy consumption, Implements.

The evaluation of technological performance of multiplough, vibrocultivator, disc plough and disc harrow, was carried out looking at the quality of work and energy consumption of this implements when tilling the soil.

The experiment was established in a clay soil, using as statistical design a random blocks with six treatments and three replications.

Assessing the performance of the configuration tractor – implement, it was found that the vibrocultivator and the disc harrow had the biggest capacity, less fuel consumption per worked area as well as less power requirement, then this treatments are statistically different to those of disc plough and multiplough.

When looking at the quality and energy for operation of the implements it was determined that the disc harrow treatment has a significant difference with that of harrowing after plough, which the multiplough produced the biggest aggregates and the vibrocultivator the smallest ones.

The energetic index and the unit strength from the treatments of disc plough and multiplough have significant difference with all the others, the energetic index and unit strength from the disc plough was higher in a 32 per cent and 25.5 per cent respectively compared with that figures from the multiplough. The difference of the unit strength among implements is influenced by the geometry, cutting intensity and the soil manipulation.

# INDICE DE CONTENIDO

Página

INDICE DE CUADROS.....	ix
INDICE DE FIGURAS.....	x
INTRODUCCION.....	1
Agricultura en las Zonas Aridas.....	1
Problemática de los Sistemas de Producción en las Zonas Aridas en México.....	3
Tecnologías para la Conservación de Suelo, Humedad y Energía en Sistemas de Labranza.....	5
Evaluación de Nuevas Tecnologías en Mecanización Agrícola.....	10
Objetivos e Hipótesis del Trabajo.....	13
Objetivos Específicos.....	14
Hipótesis.....	14
REVISION DE LITERATURA.....	15
Manejo del Suelo con Implementos para Labranza.....	15
Funciones de la Labranza.....	15
Tipos de Labranza.....	17
Tecnología de Implementos para el Manejo de Sistemas de Labranza con Cobertura.....	21
Evaluación de Implementos de Labranza.....	27
Sistema de Evaluación de Implementos en México.....	27
Protocolos de Evaluación de Implementos de Labranza.....	29
Consumo de Energía por los Equipos de Labranza.....	40
MATERIALES Y METODOS.....	43
Descripción del Area de Estudio.....	43
Características Generales del Equipo Agrícola.....	44
Fuente de Potencia.....	45
Implementos.....	46
Metodología.....	50
Caracterización del Sitio de Evaluación.....	51
Desempeño de la Configuración Tractor - Implemento.....	57
Calidad y Energía en la Operación de los Implementos.....	66
RESULTADOS Y DISCUSION.....	73
Caracterización del Sitio de Evaluación.....	73
Desempeño de la Configuración Tractor – Implemento.....	75
Calidad y Energía de la Operación de los Implementos.....	77

CONCLUSIONES .....82

LITERATURA CITADA .....84

APENDICE A .....88

## INDICE DE CUADROS

Cuadro No.		Página
2.1	Desempeño del tractor en laboratorio bajo diferente porcentaje de carga. ....	41
4.1	Características del sitio de evaluación antes de cada tratamiento.....	75
4.2	Desempeño de la configuración de tractor – implemento .....	77
4.3	Calidad y Energía de la Operación de los Implementos .....	79

## INDICE DE FIGURAS

Figura No.		Página
1.1	Cuerpo de un cincel .....	9
1.2	Representación de un subsolador .....	10
3.1	Ubicación geográfica del área de estudios .....	44
3.2	Tractor New Holland 5010 4WD .....	45
3.3	Tractor John Deere 2300 .....	46
3.4	Vibrocultivador NH-700 .....	47
3.5	Multiarado M - 170 .....	48
3.6	Arado de discos NH 800-3 .....	49
3.7	Rastra de discos MX221-20 .....	50
3.8	Extracción de muestras para determinar humedad .....	52
3.9	Barrena de extractor de núcleos .....	53
3.10	Medidor de cobertura vegetal .....	54
3.11	Medición del microrrelieve antes y después de la labor .....	56
3.12	Equipo para determinar la resistencia a la penetración .....	57
3.13	Determinación de la velocidad de trabajo .....	59
3.14	Medición del patinaje .....	60
3.15	Medición del consumo de combustible .....	61
3.16	Fuerza de arrastre del implemento (vibrocultivador), acoplado al tractor .....	63
3.17	Sistema de conversión analógico digital .....	63
3.18	Determinación del tamaño de agregados .....	68



3.19	Determinación del área y perfil de disturbación .....	70
4.1	Comportamiento de la densidad aparente para cada tratamiento .....	78

# INTRODUCCION

## Agricultura en las Zonas Aridas

Las zonas áridas cubren aproximadamente el 33 por ciento de la superficie de nuestro planeta y se caracterizan principalmente por una precipitación pluvial anual baja, de entre 0 y 600 mm, temperaturas generalmente altas de hasta 47 °C y una elevada evaporación de hasta 4000 mm al año (Kingsford, 1996).

Para el territorio mexicano, las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas ocupan el 53.94 por ciento del país (CONAZA, 2002), la precipitación media anual es de 300 a 400 mm (INEGI, 2002) y se caracterizan porque su cubierta vegetal es menor al 70 por ciento, predominando las especies xerófitas (Estrada-Berg *et al*, 1999), donde viven aproximadamente 8.5 millones de personas en comunidades rurales, (CONAZA, 2002). La agricultura de las regiones comprendidas dentro de las zonas áridas y semiáridas, como lo son; Coahuila, Chihuahua, Durango, Hidalgo, Nuevo León, San Luis Potosí,

Tamaulipas y Zacatecas representa, 2.7 millones de hectáreas de temporal, mientras que las de riego 1.3 millones de hectáreas (Estrada-Berg *et al*, 1999).

Los cultivos más importantes cosechados en las zonas semiáridas y subhúmedas secas en el año 2000, fueron; Maíz con 955 199 ha, Sorgo con 1 094 236 ha y frijol con 933 355 ha (INEGI, 2001). Esto representa el 12.25 por ciento de la superficie nacional sembrada con maíz, el 44.44 por ciento de frijol y el 57.59 por ciento de sorgo (Lara, 2000).

El estado de Coahuila representa el 7.7 por ciento de la superficie del país, en la entidad más del 97 por ciento de la superficie es considerada semidesierto; su precipitación media anual es de 398 mm (INEGI, 2002), sin embargo existe actividad agrícola, representando esta actividad sólo alrededor de 3 por ciento del total de la superficie estatal, en esta actividad los principales cultivos que se siembran son maíz con 43 112 ha, sorgo para forraje con 28 231 ha, avena para forraje con 16 040 ha, frijol con 12 438 ha y trigo con 7 799 ha, el rendimiento promedio de estos cultivos es de 0.65 ton/ha para el maíz, 27 ton/ha para el sorgo forrajero, 25.4 ton/ha para la avena forrajera, 0.36 ton/ha para el frijol y 2.42 ton/ha para el trigo (INEGI, 2001).

## **Problemática de los Sistemas de Producción en las Zonas Áridas en México**

La agricultura de temporal se considera una de las actividades más arriesgadas y sobre todo más inciertas e inseguras del semidesierto; está limitada principalmente por la falta de agua de lluvias, es decir los eventos lluviosos son escasos y generalmente en sólo una región. Los agricultores de estas áreas empiezan con la preparación del suelo, generalmente en los meses de abril y mayo, utilizando el arado y la rastra. Posteriormente esperan a que se presente algún evento de precipitación pluvial, para inmediatamente empezar a sembrar sus cultivos, sin embargo existe la posibilidad de que la semilla sembrada no llegue siquiera a germinar, ya que la humedad que existe en el suelo no es suficiente, y las pocas semillas que logran germinar mueren posteriormente al no presentarse lluvias en los días próximos (Velasco, 2000).

La labranza se usa para controlar la distribución de los agregados en un perfil y el resultado del tamaño de éstos depende mucho del contenido de humedad al momento de realizar la labranza, y del tipo de implemento usado para esta actividad (Larney y Bullock, 1993; citado por Cadena, 1999). Los requerimientos del tamaño de agregados varían según el tamaño de la semilla y deben de tender a maximizar el contacto suelo – semilla para la germinación. Cadena (1999), sugiere que los agregados deben estar de un quinto a un décimo del tamaño de la semilla.

Cuando el suelo presenta una estructura favorable, con una alta proporción de agregados estables al agua y buena permeabilidad, la disturbación mecánica de suelos para el establecimiento de cultivos es probable que incremente el riesgo de la erosión. Por otra parte cuando la superficie del suelo está suave, sin rugosidad, con capas inferiores compactas, estructura masiva y no porosa, la labranza mecánica es probable que disminuya el riesgo de la erosión del suelo (Hoogmoed, 1999).

Los agricultores de las zonas áridas enfrentan problemas por la escasa disponibilidad de agua y los altos costos de cultivo, especialmente con relación a las labores de preparación de suelos. Lo anterior se pudo confirmar durante el monitoreo de actividades en el Ejido “El Porvenir”, municipio de General Cepeda, Coahuila, durante el ciclo 2001, en esta área cuando se utiliza el tractor, se realiza un paso de arado y uno de rastra, posteriormente se siembra manualmente y se da otro paso de rastra para tapar la semilla. Todo lo anterior tiene un costo de \$700 pesos. Los mejores rendimientos en promedio son de 2 ton/ha y en condiciones muy desfavorables de 0.657 ton/ha, por lo que el costo de la labranza podría ser en el mejor de los casos entre el 35 y 40 por ciento del valor de la producción y en algunos casos hasta el 100 por ciento (Cadena *et al*, 2001).

La labranza vertical con implementos tipo cincel se empieza a utilizar por los agricultores como una manera para disminuir los efectos de la erosión sobre

el suelo, para captar y conservar la humedad, y proporcionar un espacio poroso para cuando se presente un evento de lluvias, así el agua que cae será captada, infiltrada y retenida en el suelo. Entre otras empresas este tipo de labranza en México está siendo introducida por la empresa Agroingeniería – New Holland, la cual propone al multiarado como el implemento más apropiado para realizar la preparación de los suelos.

### **Tecnologías para la Conservación de Suelo, Humedad y Energía en Sistemas de Labranza.**

En los últimos años se incrementó el interés por el uso eficiente de la energía y la conservación de los recursos de suelo y agua principalmente donde es escasa, lo que ha traído un cambio en actitudes con respecto a las prácticas de manejo del suelo y los residuos. Cada año se da más énfasis al uso de las labranzas mínimas y a la preparación de la cama de siembra en la agricultura de temporal. Sin embargo algunos trabajos de investigación identificaron los efectos de algunas características físicas del suelo en la infiltración y en el almacenamiento del agua en el perfil del suelo; consecuentemente los agricultores alteran tales propiedades físicas, con el uso de labranzas primarias o secundarias en un intento por crear condiciones óptimas para la siembra, la germinación, el desarrollo y el rendimiento del cultivo (FAO <sup>b</sup>, 2003).

En los sistemas que ahorran energía se usan arados de cinceles que requieren menos tracción; generalmente un tractor capaz de tirar un arado de vertederas de 6 cuerpos, y 40 cm de ancho puede también tirar un cultivador de cobertura de rastrojo de 3.30 m o mayor, a una velocidad igual o un poco más rápido, de esta manera se puede trabajar mayor terreno en el mismo periodo de tiempo (Buckingham, 1976). No se dejan surcos ciegos ni contra surcos y la inversión de dinero en las maquinas es más o menos la misma. La profundidad de trabajo del cultivador en otoño puede ser de hasta 25 a 30 cm para roturar el fondo compacto del surco o suelo endurecido, o para aumentar la capacidad de retención de humedad del suelo en invierno (Buckingham, 1984).

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

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

preparar la tierra con implementos que no invierten el suelo y causan poca compactación, esta labranza se considera como labranza vertical (Martínez, 1999).

La labranza vertical es parte de la labranza de conservación y puede realizarse con implementos tales como el arado de cincel, la cultivadora de campo, el vibrocultivador y en especial por el multiarado. El multiarado que es un implemento de labranza vertical se caracteriza, de acuerdo a su fabricante, por proporcionar una mejor aireación del suelo debido a que puede romper o fracturar las capas producidas por la compactación de otros equipos de labranza, creando de este modo una excelente porosidad del mismo, lo que permite la aireación, la infiltración y el almacenamiento del agua, al favorecer la formación de un lecho más apropiado para la penetración de las raíces de las plantas y el mejor desarrollo de los cultivos. Estos factores, unidos al mantenimiento de la cobertura vegetal sobre el suelo, crean las condiciones propicias para evitar la erosión y conservar la humedad del suelo (New Holland, 2001).

Ronzoni, *et al.* (1993), reporta que la preparación de suelos con el multiarado ha sido evaluada en Cuba, y ha reportado beneficios que no se logran con otros equipos como lo son los arados y las rastras; sin embargo, en nuestro país no se ha realizado una evaluación profunda de este implemento para saber si al igual que en aquellas condiciones, este implemento brinda



beneficios significativos en la retención de humedad para otro tipo de suelo y condiciones ambientales.

Otros implementos utilizados en los sistemas de captación de humedad son los arados de cincel, cuyo diseño le permite penetrar en suelos firmes y romper capas compactas. La superficie se deja partida y abierta para atrapar y mantener el agua de la lluvia y resistir la erosión del viento. La experiencia ha demostrado que la tracción mínima de estas herramientas tales como los arados de cincel y los subsoladores, ocurre cuando el ángulo de elevación es de 20 grados entre la superficie de la herramienta y la horizontal. El desmenuzamiento ocurre con el menor esfuerzo cuando la herramienta está aplicando fuerza de elevación, que cuando se corta horizontalmente o empuja verticalmente contra el suelo (Buckingham, 1984).

El cuerpo de un cincel (Figura 1.1) corta verticalmente a través del suelo. El suelo se mueve hacia arriba y a lo largo de la curva del cincel y es estallado por las fuerzas de empuje hacia arriba. Los resultados del efecto de la vibración lateral (comienzan a ser más pronunciados hacia la superficie) aflojan completamente la parte baja del suelo. Un aflojamiento y mezcla satisfactoria se asegura cuando el suelo se encuentra relativamente seco, el cual es roto hacia arriba en forma perpendicular a la dirección del corte en un ángulo aproximado de 50 grados desde la superficie (Krause *et al*, 1984).

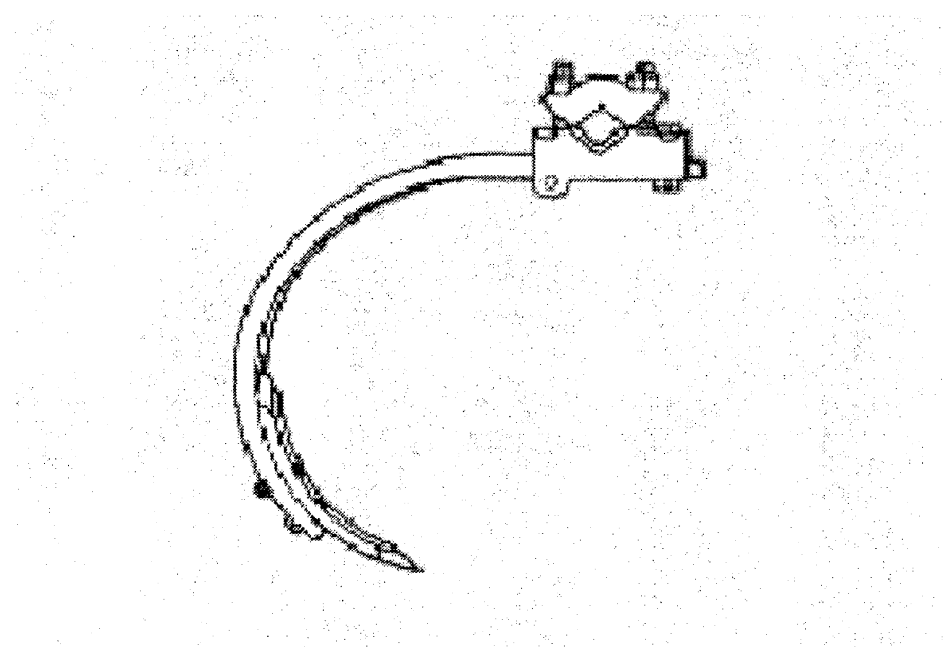


Figura 1.1 Cuerpo de un cincel

Los arados de escardillas combinados con discos cortadores de residuos y el de cincel son muy parecidos, sin embargo el arado de escardillo es mejor y requiere una tracción menor; el funcionamiento de estos implementos se basa en el corte o rebanado de las raíces de las malezas, por lo cual éstas permanecen en la superficie reduciendo de este modo la erosión del viento ayudando a atrapar y mantener el agua de la lluvia (Buckingham, 1984).

El subsolador (Figura 1.2) es otro implemento que puede fragmentar capas compactas causadas por el paso de la maquinaria, ayudando con esto que el agua de lluvia se infiltra en lugar de escurrir sobre la superficie del suelo. Otra ventaja al utilizar este equipo es que también airea el subsuelo y ayuda a que las raíces de las plantas exploren mayor profundidad en búsqueda de humedad disponible y los nutrientes (Buckingham, 1984).

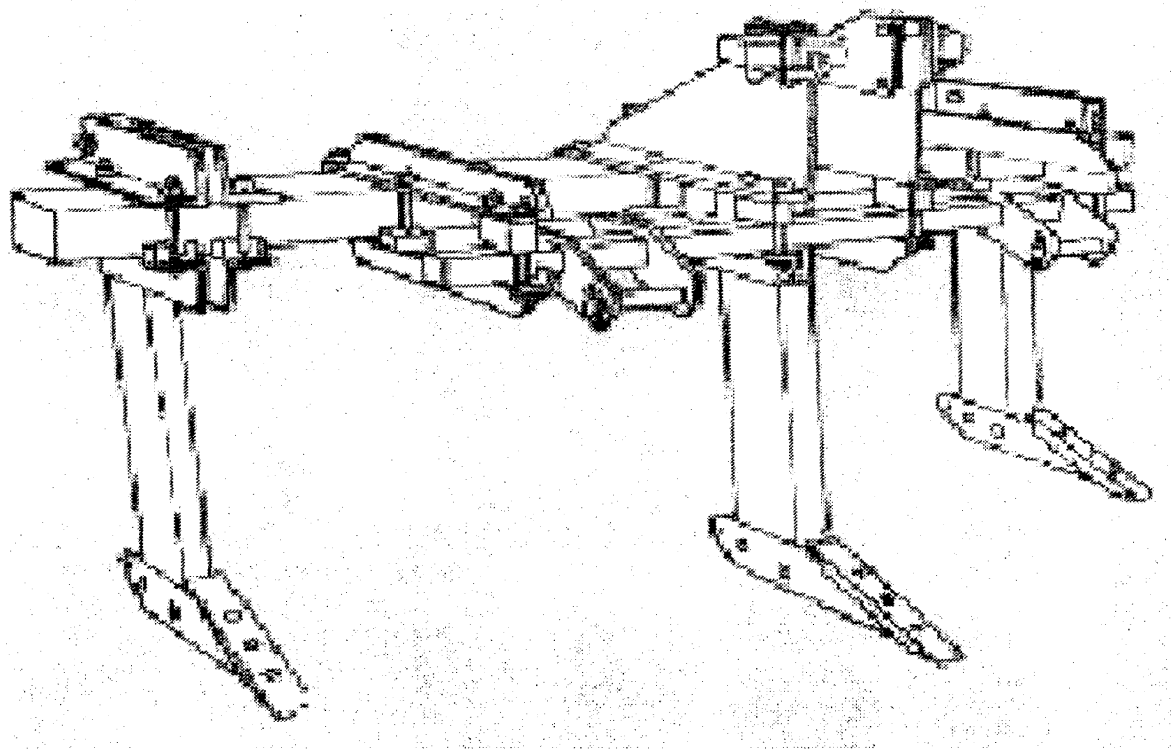


Figura 1.2 Representación de un subsolador

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

### **Evaluación de Nuevas Tecnologías en Mecanización Agrícola**

Las nuevas tecnologías desarrolladas en el área de ingeniería agrícola sólo tienen posibilidad de incorporarse exitosamente a un sistema de

producción si reúnen características de compatibilidad con el sistema mismo, considerando aspectos técnicos, sociales y económicos (Smith y Sims, 1990).

El término evaluación se refiere a un análisis del comportamiento de una tecnología bajo condiciones agrícolas reales, es decir, se compara el desempeño con los requerimientos para los que fueron diseñados (Crossley y Kilgour, 1983).

Dada la variedad de condiciones de trabajo reales y los niveles de sofisticación de implementos agrícolas diseñados para un objetivo, se hace difícil compilar procedimientos o metodologías estandarizadas a nivel internacional para la evaluación de los mismos, por lo que cada país ha optado por elaborar metodologías adaptadas a sus condiciones locales (Smith y Sims, 1990).

El multiarado es un implemento que sirve como ejemplo de la tecnología que se ha generado para la preparación del suelo, que se fundamenta en el corte horizontal del suelo, estallándolo y produciendo un movimiento de ascenso del suelo mullido por encima de los órganos de trabajo sin invertirlo, por lo que se puede usar en la preparación del terreno (Ronzoni, 1993).

En México se ha iniciado la elaboración de normas y procedimientos para la prueba y evaluación de maquinaria agrícola, y dada la problemática del alto uso de energía, así como la pérdida de suelo y humedad que se tiene con la

labranza convencional, una de las prioridades es contar con información sobre el desempeño de la tecnología disponible para implementar sistemas conservacionistas. La evaluación se debe basar en los objetivos que la maquinaria debe cumplir para satisfacer los requerimientos de un buen establecimiento del cultivo, conservación de los recursos del suelo y agua, así como un mínimo uso de energía. Para lo anterior se tendrá que determinar qué variables son adecuadas para caracterizar el desempeño, así cómo y con qué instrumentación se deben cuantificar las variables, y dentro de qué rangos pueden satisfacer los requerimientos mencionados (Domínguez, 2001).

Dado que existe poca información acerca del desempeño y de la calidad de la labor que realizan los implementos utilizados para la preparación del suelo, es necesario que se realice investigación en esta área y generar información técnica, de esta manera los usuarios del equipo agrícola puedan saber en que condiciones se pueden utilizar estos en forma mas eficiente, tanto técnica como económicamente.

El mayor problema para la agricultura en las zonas áridas y semiáridas como son las condiciones del estado de Coahuila, es la baja disponibilidad de agua, por lo cual es necesario evaluar y validar sistemas de labranza donde se promueva la máxima captación y conservación de humedad con el menor número de operaciones de movimiento de suelo. Con base a lo descrito, se llevó a cabo la evaluación del desempeño y calidad de labor de cuatro implementos para la preparación del suelo, así como un análisis técnico y

financiero. Los implementos evaluados fueron: Arado de discos, rastra de discos, vibrocultivador y multiarado.

Para realizar la evaluación se tomaron como base los procedimientos de evaluación de implementos para labranza primaria, desarrollado por Smith y Sims (1990); el de la RNAM (Regional Network for Agricultural Machinery), además también se tomaron algunos aspectos del proyecto de norma para arados desarrollado por el Centro Nacional de Estandarización de Maquinaria Agrícola (CENEMA).

### **Objetivos e Hipótesis del Trabajo**

Dada la necesidad de aumentar eficiencia y reducir costos en las labores de preparación del suelo en los sistemas de producción de las zonas semiáridas, el principal objetivo de esta investigación es evaluar el desempeño del multiarado y vibrocultivador como componentes de un sistema alternativo de labranza reducida, haciendo una comparación técnica tomando como referencia el desempeño del sistema convencional local de preparación con arado y rastra de discos.

## Objetivos Específicos

Evaluar el desempeño tecnológico en base a calidad de trabajo y consumo de energía del multiarado, vibrocultivador, arado y rastra de discos.

Determinar mediante un análisis técnico la factibilidad para la introducción de esta tecnología en la preparación de los suelos en zonas semiáridas.

## Hipótesis

Con los nuevos implementos agrícolas de labranza vertical se puede realizar la labranza del suelo con la misma calidad de labor y con un menor consumo de energía.

# REVISION DE LITERATURA

## Manejo del Suelo con Implementos para Labranza

### Funciones de la Labranza

Actualmente la investigación brinda una mejor capacidad de explicar el efecto de la labranza sobre los suelos, aunque definitivamente no todos los procesos se entienden bien. La labranza es una actividad que modifica la estructura de la capa superficial del suelo, sin embargo existen efectos directos e indirectos que se logran con la labranza, entre los cuales se encuentran; facilitar la producción de los cultivos, el control de malezas, acondicionar la superficie del suelo para permitir una buena irrigación y una cosecha más fácil, además de facilitar la incorporación de materia orgánica, fertilizantes, pesticidas, entre otros (Hoogmoed, 1999).

La labranza de suelos en los climas semiáridos debe de cubrir los siguientes objetivos:



- Captación total del agua de lluvia por parte del suelo (alta infiltración y capacidad de retención de agua)
- Reducción de la evaporación
- Control de malas hierbas (las malas hierbas compiten por el agua con las plantas)
- Reducción de la velocidad de descomposición de la materia orgánica
- Control de la erosión del suelo

Los métodos requeridos para alcanzar estos objetivos difieren en algún grado para regiones con lluvias en invierno y verano (Krause *et al*, 1984).

La labranza del suelo se hace con el propósito de alterar sus propiedades físicas, principalmente la densidad aparente, y posibilitar a las plantas la expresión de todo su potencial. Las técnicas de labranza del suelo se utilizan a fin de proporcionar una buena cama de siembra y desarrollo de raíces, controlar malas hierbas, manejar los residuos de los cultivos, reducir la erosión, nivelar la superficie para la plantación, riego, drenaje, trabajos culturales y operaciones de cosecha.

El hombre incorpora la labranza cuando intenta controlar la vegetación natural, con el fin de poder desarrollar especies de su interés. Los principales objetivos de la labranza son el control de malas hierbas, preparación de la cama de siembra y el acondicionamiento de las propiedades físicas del suelo (FAO <sup>b</sup>, 2003).

Figueroa y Morales (1992) definen a la labranza como cualquier manipulación mecánica del suelo, que permita proporcionar y mantener condiciones óptimas para la germinación de las semillas y desarrollo de las plantas.

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

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

### Tipos de Labranza

Existen diversos tipos de labranza como lo son la labranza convencional y la labranza de conservación.

#### Labranza convencional

La labranza convencional involucra la inversión del suelo, normalmente con el arado de vertedera o el arado de discos como labranza primaria, seguida

por labranzas secundarias con la rastra de discos. El propósito principal de la labranza primaria es controlar las malezas por medio de su enterramiento, y el objetivo principal de la labranza secundaria es desmenuzar los agregados y crear una cama de siembra. La característica negativa de este sistema es que al suelo le falta una protección de rastrojos y queda casi desnudo, por lo tanto es susceptible a las pérdidas de suelo y agua debido a los procesos de erosión (FAO <sup>a</sup>, 2003).

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

### Labranza primaria

Generalmente en este tipo de labranza se realiza un trabajo profundo que afloja y fractura el suelo, reduciendo la densidad aparente de este, arrastrando o mezclando residuos y fertilizantes a la capa del suelo labrada, los implementos usados para este tipo de labranza incluyen entre otros a los arados de discos o rejas, rastras pesadas, subsuelos y rotocultivadores para trabajo pesado.

## Labranza secundaria

Ésta se utiliza para matar la hierba, cortar y cubrir los residuos vegetales, así como para preparar una cama de semilla bien pulverizada, en este sistema los implementos usados pueden ser rastras, cultivadoras rotativas, rotocultivadores, formadores de cama para semilla, así como combinaciones entre ellos.

## Labranza de conservación

La labranza de conservación se define como cualquier secuencia de labranzas que reduce las pérdidas de suelo y agua en comparación con las de la labranza convencional, además este sistema debe de mantener al menos 30 por ciento de la superficie del suelo cubierta con residuos.

La labranza de conservación intenta conservar, mejorar y realizar un uso más eficiente de los recursos naturales a través del manejo integrado del suelo y el agua. Esta labranza trata de mantener una capa orgánica de suelo permanente o semipermanente. Esta se forma con plantas muertas; la función de esta capa es proteger físicamente al suelo del sol, la lluvia y el viento (FAO <sup>a</sup>, 2003).

Dentro de la labranza de conservación se encuentra la labranza vertical, la cual se refiere a un sistema donde toda la tierra está preparada con

implementos que no invierten el suelo y causan poca compactación. Por lo tanto, el suelo queda normalmente con una buena cobertura de rastrojo de más de 30 por ciento sobre la superficie. además del multiarado los implementos más comúnmente utilizados son el arado de cincel, la cultivadora de campo y el vibrocultivador.

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

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

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

Debido a que la labranza vertical no invierte el suelo, hay menos descomposición de la materia orgánica y menos pérdida de humedad, que es

muy importante antes de la siembra. La labranza vertical es un sistema ventajoso en un amplio rango de tipos de suelo, inclusive en los que tienen problemas de drenaje y que son susceptibles a la compactación. La eficacia operativa del sistema de labranza vertical es más alta que la de labranza convencional, sobretodo debido a que los implementos trabajan a una mayor velocidad y tienen mayor ancho de trabajo (FAO <sup>b</sup>, 2003).

### **Tecnología de Implementos para el Manejo de Sistemas de Labranza con Cobertura**

Los arados de cincel descompactan el suelo lo que permite una mejor infiltración del agua, dejando la mayor parte de los residuos sobre la superficie, lo que ayuda a reducir la evaporación y erosión, (Buckingham, 1984).

Los cinceles, por su modo de acción, son la herramienta de labranza que más se parece al arado de madera. Al introducir el cincel en el suelo causa la compresión de este. El suelo finalmente escapa hacia arriba dejando una zona de rotura que parte de la punta del cincel aproximadamente en un ángulo de 45° en suelos secos. Por lo tanto, el cincel sirve para roturar el suelo. Los cinceles usados con tracción animal se limitan prácticamente a este tipo de acción. Aplicando velocidades mayores el suelo es también movido a los lados. Por esta razón los arados de cinceles para tractores usados a velocidades

alrededor de 10 - 12 km/hr, tienen una buena acción mezcladora. El impacto del cincel sobre los grumos y los terrones lleva también a una pulverización del suelo. Sin embargo, este efecto no es muy pronunciado en suelos sueltos. Por lo tanto, la repetición de un pase de cincel en suelos sueltos no lleva a una mayor pulverización del suelo. Los cinceles dejan el suelo ondulado tanto en la superficie como en el fondo por la zona de rotura partiendo de la punta en un ángulo de  $45^\circ$ . Las fuerzas que actúan sobre un cincel en el suelo dependen mucho de la forma y sobre todo del ángulo de ataque. Un ángulo de ataque agudo mejora la penetración y reduce la fuerza de tracción. Además mejora el efecto de la roturación y la mezcla del suelo porque lleva una parte del material del suelo de horizontes inferiores hacia arriba. Esta característica puede ser una desventaja en situaciones donde la punta del cincel toca material húmedo de horizontes inferiores y los transporta a la superficie en forma de pequeños cilindros o terrones que después son difíciles de desmenuzar. Mientras el cincel simple no necesita mucha fuerza de tracción y se presta para la tracción animal, el uso de grupos de cinceles para la homogeneización del suelo y la mezcla a altas velocidades está limitado a tractores relativamente potentes. Esto resulta de la necesidad de cubrir con el implemento al menos el ancho del tractor y de usarlo a altas velocidades. Los cinceles vibratorios montados sobre resortes sirven generalmente para mejorar la acción de pulverización y para arrancar malezas. Generalmente se usan para la labranza secundaria en profundidades hasta 0.15 m, mientras que los cinceles rígidos y subsolador se usan para la labranza primaria (FAO <sup>b</sup>, 2003).

Antes de la labranza primaria, algunas veces los residuos vegetales, son desmenuzados o incorporados solos o con fertilizantes y limos, algunos implementos de labranza primaria como el arado de cinceles o los subsuelos dejan la superficie del suelo muy rugosa y los residuos vegetales los dejan en la superficie o muy cerca de ella, lo contrario del arado de rejas, el cual deja una superficie muy nivelada y cubre los residuos vegetales. La labranza con residuos es cualquier sistema de laboreo que incluya el uso de implementos que remuevan los residuos vegetales en toda la superficie del suelo, antes de sembrar con implementos de labranza, tales como arados de cinceles, arados de cuchillas, rodillos dentados o cultivadoras para campo, por lo menos el 30 por ciento de la superficie del suelo debe estar cubierta con rastrojo antes de la siembra (New Holland 2001).

Los arados de cincel para la labranza primaria existen tanto para tracción animal con un máximo de tres cinceles o para tractores. Son usados para roturar y en el caso del tractor - mezclar la capa arable. Según el tipo de suelo y el efecto deseado pueden ser equipados con una variedad de rejas. Sin embargo para esta labor normalmente se usan rejas angostas. Existen también los cultivadores con cinceles rígidos para la labranza secundaria y el deshierbe, para tracción animal con hasta cinco cinceles y para tractor. Las rejas en este caso son más anchas como pata de ganso o alas abiertas con anchos de hasta más de un metro para el control superficial de malezas en zonas áridas.



Los cinceles vibratorios son tanto para tracción animal como para uso con tractor. Las formas más pesadas se usan para mezclar el suelo, las más livianas para la labranza secundaria, la preparación de la cama de siembra y el deshierbe.

Los rodillos desterronadores se usan para desmenuzar terrones. Existen en forma de rodillos para uso separado o en combinación con otros implementos como arados o cultivadores de cincel para pulverizar y recompartar la superficie de una cama de siembra. Sobre todo en los suelos pesados es recomendable pasar un rodillo desterronador inmediatamente después del arado para desmenuzar los terrones húmedos antes que se vuelvan secos y duros (FAO<sup>b</sup>, 2003).

La eficacia operativa del sistema de labranza vertical es más alta que la de labranza convencional, sobretodo debido a que el vibrocultivador trabaja con mayor velocidad y tiene mayor ancho de trabajo que la rastra de discos. Por consiguiente es posible preparar entre 50 hasta 80 por ciento más de superficie por día (Cook y Lewis, 1989).

En labranza primaria para el cultivo de verano se recomienda el uso del arado cincel tipo rastrojero es decir, un arado cincel con discos cortadores de rastrojero delanteros con puntas rectas de aproximadamente 0.04 a 0.05 m de ancho. Los brazos debe ser distribuidos sobre cuatro barras para reducir las

posibilidades de atascamiento y el tractor debería avanzar con una velocidad de 6 a 9 km/hr Por lo general se necesitan 7 a 9.5 kW (9 a 12 hp) por cada cincel.

Se recomienda trabajar con el arado cincel rastrojero cuando el suelo esté friable, lo que corresponde a un contenido de humedad entre seco y ligeramente húmedo. En esta condición el suelo se desagrega fácilmente y los cinceles romperán los terrones por su acción vibratoria. Además controlará las malezas. Si el contenido de humedad del suelo es demasiado alto, el suelo es más plástico, y los cinceles sólo producirán hendiduras sin desagregar los terrones y sin controlar las malezas. En cambio si el suelo está muy seco, los terrones estarán muy duros y no se desintegrarán (Barber *et al.*, 1993).

Si el suelo es de textura liviana o mediana con síntomas incipientes de compactación, se aconseja una segunda pasada del arado cincel rastrojero de por lo menos 0.25 m de profundidad. Es importante recordar que el arado cincel no es un subsolador. Si el suelo está verdaderamente compactado, será necesario descompactar con dos pasadas cruzadas del subsolador. En esta situación no será necesario hacer las labranzas primarias con el arado cincel rastrojero, sino que se harán las labranzas secundarias directamente.

Las vibraciones del vibrocultivador favorecen el desmenuzamiento de los terrones y el desprendimiento de tierra de las raíces de las malezas. En los suelos livianos y medianos se requieren aproximadamente 4.7 kW (6 hp) por brazo; para que el tractor funcione en forma óptima, debe trabajar a una

velocidad alta, de 8 a 12 km/h; por lo tanto tiene una eficacia operativa mayor que el arado cincel rastrojero. Sin embargo, debido a la falta de discos cortadores delanteros, se pueden encontrar problemas de atascamiento cuando hay grandes cantidades de malezas o rastrojos (Barber *et al.*, 1993).

Para la labranza secundaria se recomienda el uso del vibrocultivador que reemplaza con ventajas a la rastra liviana de discos en la preparación de la cama de siembra. El vibrocultivador consta de brazos vibratorios, espaciados a 0.10 m y montados en cuatro barras. En el caso que haya bastante rastrojo y/o malezas, se recomienda aumentar la distancia entre los brazos hasta 0.15 m para reducir los riesgos de atascamiento. La acción vibratoria deja los terrones grandes en la superficie, que resiste mejor la formación de costras, y deja agregados más pequeños en la parte inferior, lo que facilita la germinación de las semillas; El vibrocultivador funciona bien en suelos friables, provocando un buen desmenuzamiento de los terrones, pero con terrones grandes y en condiciones secas, causa muy poca desagregación. Bajo estas condiciones podría ser necesario hacer una pasada con la rastra liviana de discos con discos de no más de 0.55 m de diámetro (22 pulgadas) para desmenuzar los terrones más grandes. Para suelos pesados se recomienda dos pasadas con el arado cincel rastrojero con puntas rectas hasta 0.10 a 0.15 m de profundidad. Seguidamente se hará una pasada del vibrocultivador con puntas rectas hasta 0.08 a 0.10 m de profundidad con un doble rodillo tipo helicoidal o canasta detrás. Concluidos estos pasos el terreno estará pronto para la siembra (Barber *et al.*, 1993).

Cada implemento tiene un rango de velocidad en el cual el resultado del trabajo es el mejor: para arados de vertedera cilíndrica y vertical son velocidades bajas, hasta 4 o 5 km/hr; para vertederas helicoidales e inclinadas puede ser hasta 10 km/hr. Sin embargo, a más alta velocidad el arado pulveriza demasiado el suelo y lo tira demasiado lejos. Al contrario, el arado de cincel y la rastra de púas solo trabajan bien con velocidades comprendidas entre 8 y 12 km/hr porque desmenuzan y mezclan los grumos por impacto. Por otro lado la rastra de púas o la de disco usadas con tracción animal no tienen tanto un efecto de pulverización sino solamente de nivelación (FAO <sup>b</sup>, 2003).

## **Evaluación de Implementos de Labranza**

### Sistema de Evaluación de Implementos en México

Una evaluación involucra la medición del comportamiento de una máquina bajo condiciones agrícolas reales; el propósito principal de obtener datos del comportamiento de un equipo es compararlo con el requerimiento para el cual fue diseñado (Crossley y Kilgour 1983), ya que las pruebas realizadas bajo condiciones ideales a veces no permite conseguir datos directamente relevantes a las condiciones agrícolas y dada la gran variedad de condiciones de trabajo y niveles de sofisticación de los implementos agrícolas,

se ha dificultado la compilación de procedimientos de prueba de estos (Smith y Sims, 1990).

En México, la modernización de la explotación agrícola y el mejoramiento del estatus social y económico de las zonas rurales a través del fomento de la mecanización de las labores agrícolas de los productores de pequeña escala, se consideran como tareas prioritarias de políticas agropecuarias. Sin embargo existen factores que inhiben la mecanización agrícola, dentro de los cuales están los siguientes:

A). Actualmente no existe un sistema de investigación para el desarrollo y el mejoramiento de las máquinas agrícolas, ni de pruebas de durabilidad o de economía de las mismas y por lo tanto no existen suficientes conocimientos científicos y técnicos acumulados sobre estos aspectos.

B). Los productores agrícolas se interesan en la introducción de las máquinas agrícolas; sin embargo tienen que correr muchos riesgos al intentar adquirirlas, ya que no existe un sistema confiable de aseguramiento de la calidad y de la función de las mismas.

Por lo tanto se hace necesario establecer un sistema de pruebas y evaluación de las máquinas agrícolas, para asegurar la calidad y funcionalidad de estas máquinas que se usan en el campo. Estos sistemas de aseguramiento de calidad de las máquinas agrícolas además de beneficiar a los productores,

también servirán para que los fabricantes se integren en un futuro a un padrón de proveedores confiables para los programas de mecanización y equipamiento de alianza para el campo, ya que con esto se dará a sus productos una difusión como máquinas confiables en cuanto a su funcionamiento y calidad (Takao, 2002).

El Centro Nacional de Estandarización de Maquinaria Agrícola (CENEMA) fue creado en marzo de 1999, bajo un acuerdo de cooperación técnica entre los gobiernos de México y Japón, con el objetivo de coadyuvar al desarrollo y extensión del uso de maquinaria agrícola adecuada y segura para pequeños y medianos productores. Para lograr lo anterior se pretende fortalecer el sistema de pruebas y evaluación aunado al mejoramiento de la técnica para la conducción de pruebas de maquinaria agrícola. Para lograr esto se ha implementado una estrategia que involucra a usuarios, fabricantes, distribuidores, importadores de maquinaria agrícola, así como investigadores, académicos, diseñadores y en general todos los sectores de interés en el desarrollo tecnológico de la maquinaria agrícola (Aragón, *et al.*, 2000).

### Protocolos de Evaluación de Implementos de Labranza

Actualmente existen varios protocolos de evaluación de implementos de labranza que han sido desarrollados por investigadores de distintos países entre los que se encuentra la Gran Bretaña, Estados Unidos de Norteamérica y Cuba; en México a partir del año de 1999 se comenzó con la formulación de

estos protocolos de prueba. Actualmente ya se cuenta con la aprobación de dos de ellos, que son el de sembradoras y aspersoras, y algunos otros se encuentran en proceso como lo son el de arados y rastras.

Entre los procedimientos para la evaluación de arados se encuentran los siguientes:

Códigos y Procedimientos de Prueba para Arados desarrollado por RNAM (1995). El protocolo incluye los siguientes aspectos:

#### I. Alcance de la Prueba.

Indica los tipos de arados que se podrán evaluar con este procedimiento.

#### II. Definición de Términos

En este punto se definen los términos que serán usados en el transcurso de las pruebas.

#### III. Especificaciones del Implemento

Aquí se hace mención sobre recopilar toda la información que pueda ser proporcionada por el fabricante, sobre desempeño y capacidad de trabajo, tal como manuales, libros de instrucciones, lista de partes de reserva, datos técnicos, etc., e incluir esta información en el formato para el reporte de la prueba.

#### IV. Pruebas de Laboratorio

El objetivo de esta prueba es confirmar las especificaciones y componentes esenciales proporcionados por el fabricante y hacer estudios para modificaciones y mejoras para el implemento.

Algunos puntos que se deben examinar son:

- Ajuste para ancho de trabajo, profundidad y nivel
- Tipo de cortador disponible
- Ajuste vertical del cortador
- Material de la reja del arado, vertederas o discos
- Aspectos de seguridad
- Peso de las partes en contacto con el suelo antes y después de la prueba

#### V. Condiciones de la Prueba

Se considera el desempeño del arado según el tipo de suelo, contenido de humedad, distribución del suelo, crecimiento de malas hierbas, residuos de cultivo, etc. Las condiciones de prueba son como sigue:

##### A) Condiciones de Campo

- Area y forma de la prueba de campo
- Tipo y características del suelo
- Ultimo cultivo en el terreno
- Altura del rastrojo del último cultivo



- Grado de infestación de las malas hierbas
- Irrigación antes de arar
- Contenido de humedad del suelo, densidad, perfil del penetrómetro e índice de cono en la profundidad de la aradura.

## B) Condiciones del Implemento y el Operador

- Fuente de la potencia de tiro
- Ajuste de las partes de trabajo del implemento
- Patrón de trabajo del implemento
- Velocidad de trabajo
- Destreza del operador

## VI. Desempeño de la Prueba

El objetivo principal de esta prueba es obtener datos confiables del implemento como: su capacidad de trabajo, calidad, eficiencia de campo y adaptación a las diferentes condiciones del suelo en comparación con implementos tradicionales, para controlar y proveer información técnica básica.

Los parámetros a tomar y a observar son:

- Ancho de trabajo
- Profundidad de trabajo
- Velocidad de trabajo real
- Tiempo de operación real
- Tiempo usado para las vueltas en las cabeceras

- Tiempo usado para ajustes del implemento
- Tiempo usado para contratiempos y otros
- Consumo de combustible
- Grado de inversión
- Grado de pulverización
- Atascamiento de malas hierbas y residuos de cultivo en el implemento
- Adhesión del suelo en el implemento
- Uniformidad de la superficie arada
- Uniformidad del fondo del surco
- Porcentaje de patinaje en las ruedas
- Fuerza de tiro

## VII. Formato para el Reporte de las Pruebas

El reporte de la prueba debe de incluir la información en el orden siguiente:

- Título de la prueba
- Introducción y antecedentes
- Meta y objetivo de la prueba
- Planeación de la prueba y procedimiento
- Principales tipos de especificaciones del implemento a probar
- Principales datos de las condiciones de prueba y resultados
- Discusión, conclusión y recomendaciones

## Procedimiento para la Evaluación de Implementos de Labranza Primaria

Dentro del Programa de Cooperación técnica México – Gran Bretaña se desarrollo este procedimiento para la evaluación de implementos de labranza, y los aspectos principales que se incluyen en el mismo son (Smith y Sims, 1990):

### I. Propósito

Este procedimiento es aplicable para la evaluación de varios tipos de arados de disco y vertedera para tracción animal y para tractor.

### II. Definiciones y Procedimientos Generales

#### A) Arados

- Partes del arado de vertederas (se presenta un esquema con sus respectivas partes)
- Tipos de succión del arado de vertederas

#### B) Propiedades del suelo

- Textura
- Contenido de humedad
- Densidad en masa
- Diámetro medio de los agregados
- índice de cono
- Resistencia al corte

- Inversión del suelo
- Medidas de la prueba
- Ancho de trabajo
- Profundidad de trabajo
- Velocidad de trabajo
- Tiempo total de trabajo
- Capacidad de campo efectiva
- Capacidad teórica de campo
- Eficiencia de campo
- Fuerza de arrastre
- Patinaje de las ruedas

### III. Procedimiento de Prueba

#### A) Implemento a probar

El fabricante debe de proporcionar el implemento completo, junto con las especificaciones referentes a materiales, construcción, rendimiento esperado y rango de ajustes.

#### B) Trabajo de laboratorio

El objetivo de este punto es estudiar y confirmar las especificaciones y componentes esenciales, comparándolos con los datos proporcionados por el fabricante y considerar las pruebas que puedan ayudar en la modificación y mejoramiento del diseño del implemento.

- Ajuste del ancho de trabajo, profundidad y nivelación
- Tipo de cuchilla o disco cortador disponible
- Ajuste vertical del mismo
- Material de la reja del arado, vertedera o disco
- Aspectos de seguridad
- Peso de las partes que trabajan en contacto con el suelo antes y después de la prueba
- Arreglo de las partes de tiro

### C) Trabajo de campo

Condiciones de campo en que se desarrolla la prueba de tractores o animales de tiro.

- Área y forma de la parcela de prueba
- Tipo y carácter del suelo
- Topografía
- Último cultivo de la parcela
- Altura del rastrojo del último cultivo
- Grado de infestación de malezas
- Contenido de humedad del suelo
- Densidad en masa
- Pruebas de penetrómetro a diferentes profundidades de suelo
- Índice de cono a la profundidad de la aradura
- Resistencia a la cizalla

Pruebas preliminares

## Pruebas de rendimiento

- Ancho de aradura
- Profundidad de aradura
- Area total arada
- Velocidad de trabajo
- Fuerza y ángulo de tiro o geometría
- Patinaje
- Tiempo empleado en dar vueltas y cabeceras
- Tiempo empleado por cualquier otra razón
- Tiempo total de operación

## Pruebas de durabilidad

## Pruebas en las parcelas de los agricultores

### IV. Reporte de la Prueba

#### A) Diagrama y/o fotografía

#### B) Especificaciones

- Tipo de implemento
- Fuente de la tracción (marca, modelo, número de serie, nombre y dirección del fabricante)
- Dimensiones generales en cm (largo, ancho, alto)
- Peso en kg
- Detalle de las partes en contacto con el suelo
  - Tipo
  - Número de cuerpos o discos

- Ancho de trabajo de cada cuerpo o disco
  - Tipo de vertedera
  - Diámetro del disco y concavidad
  - Material de la reja o disco
  - Grueso de la reja, vertedera o disco
  - Grado de dureza
  - Succión horizontal
  - Succión vertical
- Cuchilla o disco cortador (tipo, tamaño y ajuste)
  - Detalles de la rueda del implemento
  - Detalles del bastidor (tipo de construcción y dimensiones)
  - Detalles de la viga (tipo de construcción y dimensiones)
  - Detalles de la mancera (tipo de construcción, dimensiones, detalles)
  - Detalles del enganche (tipo de construcción y forma)
  - Tipo y rango de ajuste del ancho de corte, profundidad y nivelación
  - Velocidad recomendada de trabajo (km/hr)
  - Capacidad de trabajo (ha/hr)

Prueba y Evaluación de Arados, proyecto de norma (NM ) elaborada por el Centro Nacional de Estandarización de Maquinaria Agrícola, contempla los siguientes aspectos:

1. Generalidades
2. Objetivos
3. Alcance de la aplicación de la norma
4. Definiciones
5. Metodología para la prueba y evaluación del arado
  - a. Item de la evaluación
  - b. Estudio técnico de la estructura
  - c. Evaluación en campo
  - d. Condiciones de la parcela de prueba
  - e. Prueba de ajuste
  - f. Evaluación de funcionamiento
  - g. Fuente de potencia
  - h. Estudio de seguridad y maniobrabilidad
    - i. En el laboratorio
    - j. Durante la operación en campo
  - k. Prueba continua
  - l. Condiciones de la prueba
  - m. Tiempos de la prueba
  - n. Procedimiento de la prueba
  - o. Estudio mediante el desarme



## Consumo de Energía por los Equipos de Labranza

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

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

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

Con el aumento de la velocidad de labranza hay un aumento exponencial de la fuerza de tiro y por lo tanto de la energía necesaria. Esto se refleja en el consumo de combustible del tractor y así en los costos operativos. Por esta

razón el aumento de velocidad no es la manera adecuada para aumentar el rendimiento de una operación de labranza: con el doble de velocidad (8 km/h en vez de 4 km/h) se duplica el rendimiento pero se necesitan cuatro veces más energía y combustible (FAO <sup>b</sup>, 2003).

La configuración de los tractores e implemento es un factor importante para el ahorro de energía en la preparación del suelo, para ahorrar energía se debe realizar una configuración del equipo de manera que la potencia requerida por la herramienta esté cerca de la potencia nominal del tractor. Si el tractor se opera a un nivel de potencia debajo de su potencia nominal mientras que el motor opera a su velocidad nominal, la eficiencia se reduce y el consumo de combustible será más alto de lo necesario, como se puede observar en el Cuadro 2.1 (Hughes 19881).

Cuadro 2.1 Desempeño del tractor en laboratorio bajo diferente porcentaje de carga.

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

La selección del implemento de labranza tiene un efecto directo sobre energía requerida por hectárea, esta depende y varia con las condiciones locales del suelo y clima. Los arados de vertedera estorban más suelo que la mayoría de las demás herramientas de labranza, así que éstos por lo general requieren más combustible por hectárea. Los arados de cinceles, por ejemplo, los arados de cinceles requieren solamente un 30 por ciento al 40 por ciento del combustible por hectárea que los arados de vertedera, dependiendo de la profundidad y velocidad.

El tipo y las condiciones del suelo también tienen un efecto importante en la energía requerida para la labranza. El tiro para la aradura puede variar de 14 a 140 kPa (2 a 20 psi) de corte de surco en suelos arenosos a arcillosos, respectivamente. Las condiciones del suelo que afectan la energía requerida para labranza incluye; el contenido de humedad, tratamientos anteriores y siembra de protección del suelo. En una serie de pruebas, el tiro de arado fue reducido desde un 15 a un 35 por ciento cuando el contenido de humedad del suelo fue aumentado del 9.1 al 11.7 por ciento (Hughes 1981).

# MATERIALES Y METODOS

## Descripción del Area de Estudio

El presente trabajo de investigación se realizó en el campo experimental de Buenavista de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (Figura 3.1), el cual se encuentra ubicada en la ex hacienda de Buenavista, localizada a 7 km al sur de la ciudad de Saltillo, en las coordenadas  $100^{\circ}59'57''$  longitud oeste y  $25^{\circ}23'42''$  latitud norte, a una altitud de 1743 msnm. De acuerdo a la clasificación climática de Koppen modificado por García (1973), el clima de Buenavista es "Bsohw", que significa muy árido, semicálido, con régimen de lluvias de verano e invierno seco extremoso. La temperatura media anual es de  $19.8^{\circ}\text{C}$ , con una precipitación media anual de 455 mm, la evaporación media anual oscila entre los 1956 mm. Los vientos predominantes tienen una dirección noreste, con velocidades de 22.5 km/hr (González, 1999).

## COAHUILA DE ZARAGOZA

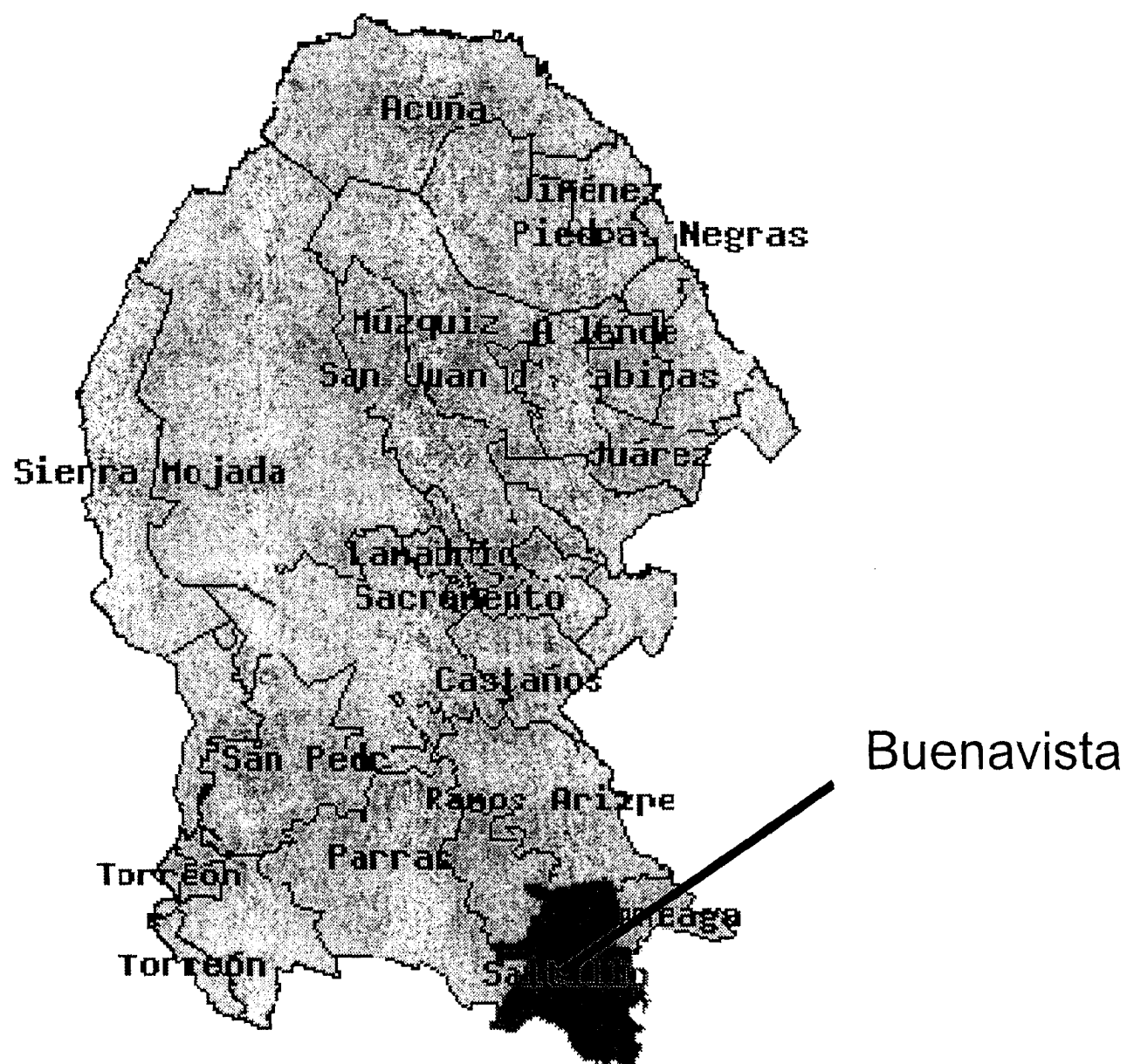


Figura 3.1 Ubicación geográfica del área de estudios

### Características Generales del Equipo Agrícola

El equipo empleado para el desarrollo de este trabajo fue; tractor agrícola, arado de tres discos, vibrocultivador, multiarado y rastra de discos.

## Fuente de Potencia

### Tractores agrícolas (Figura 3.2 y 3.3)

Marca	New Holland	John Deere
Modelo	5010 4WD	2300
Potencia al volante (hp)	70	84
Potencia a la TDF (hp)	63	64
Motor	4 cilindros	4 cilicndros
Dirección	Hidrostática	Hidrostática
TDF	Independiente 540 rpm	Independiente 540 rpm
Capacidad de levante (Kg)	1835	2532
Transmisión	semi – sincronizada 8x2	semi – sincronizada 10x2



Figura 3.2 Tractor New Holland 5010 4WD

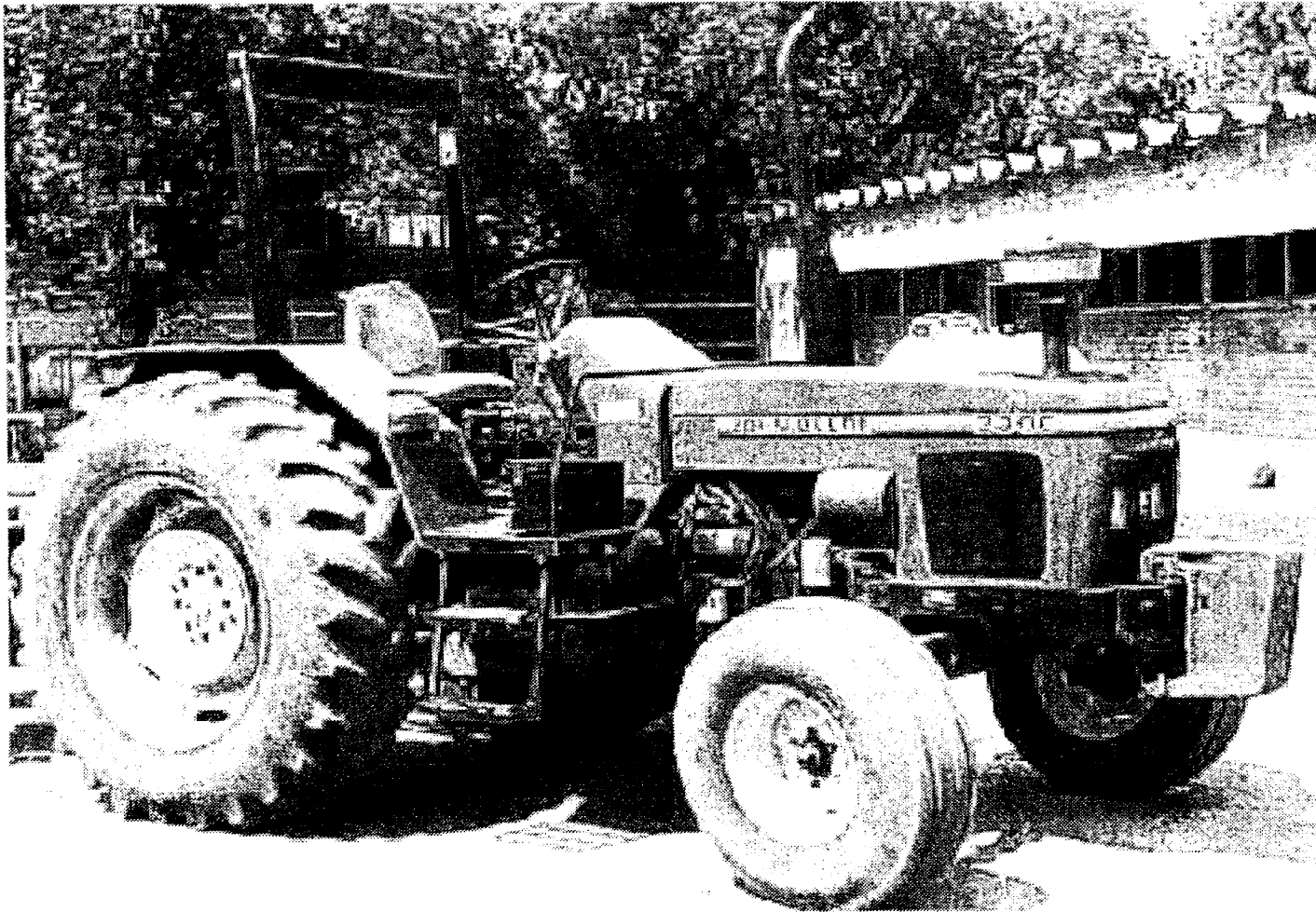


Figura 3.3 Tractor John Deere 2300

### Implementos

#### Vibrocultivador (Figura 3.4)

Marca	New Holland
Modelo	NH-700
Número de cinceles	7
Potencia requerida	70-80 hp
Profundidad de trabajo	280 mm
Ancho de trabajo	1550 mm
Enganche	3 puntos categoría II
Peso aproximado	363 kg

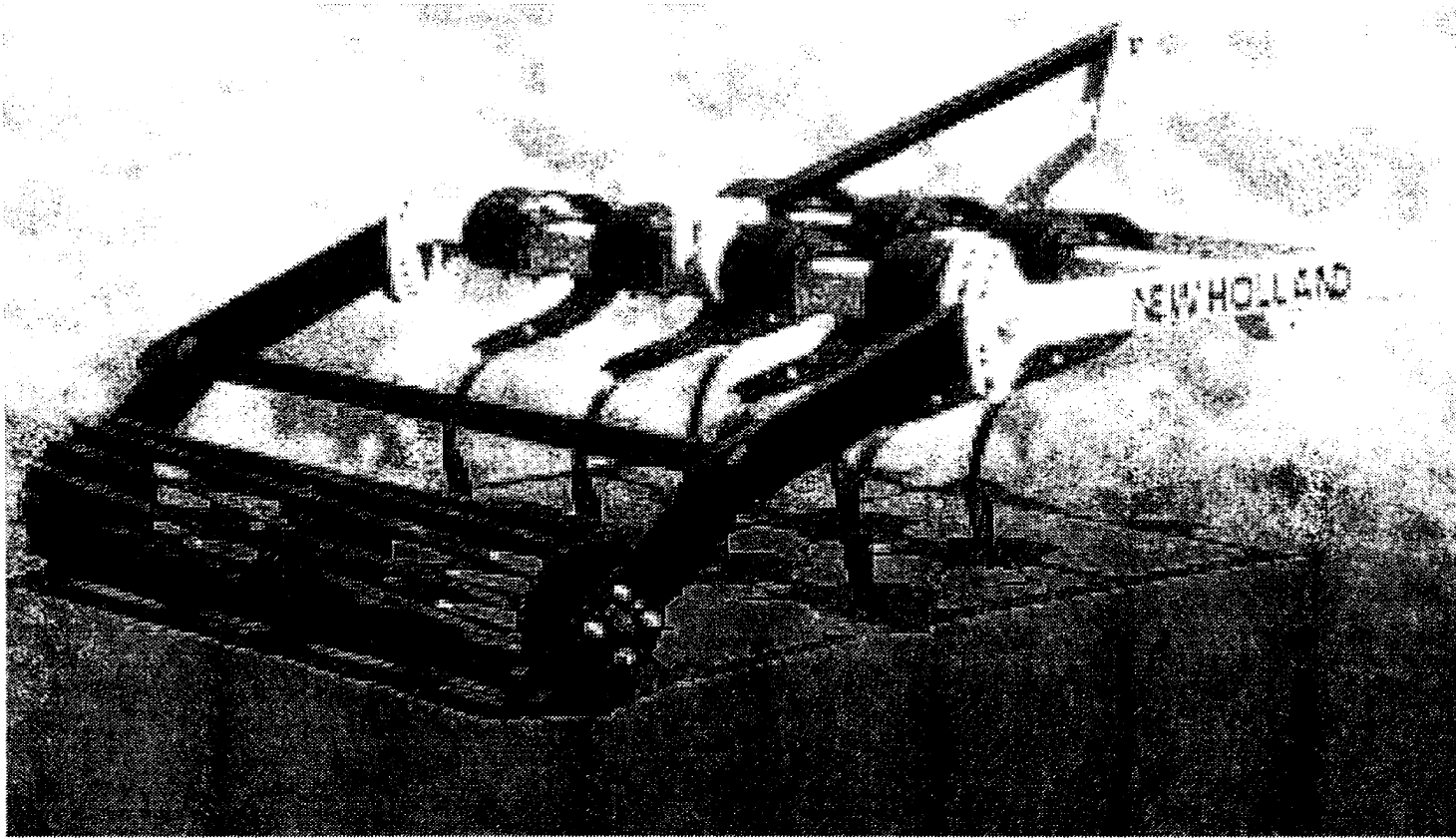


Figura 3.4 Vibrocultivador NH-700

#### Multiarado (Figura 3.5)

El multiarado es un implemento integral, constituido por dos timones con aletas en la parte inferior, los cuales van montados en una barra rectangular hueca con ruedas reguladoras de profundidad en los extremos.

Marca	New Holland
Modelo	M - 170
Numero de cuerpos	2
Potencia requerida	60-80 hp
Profundidad de trabajo	400 mm
Ancho de trabajo	740 -1660 mm
Enganche	3 puntos categoría II
Peso aproximado	528 kg



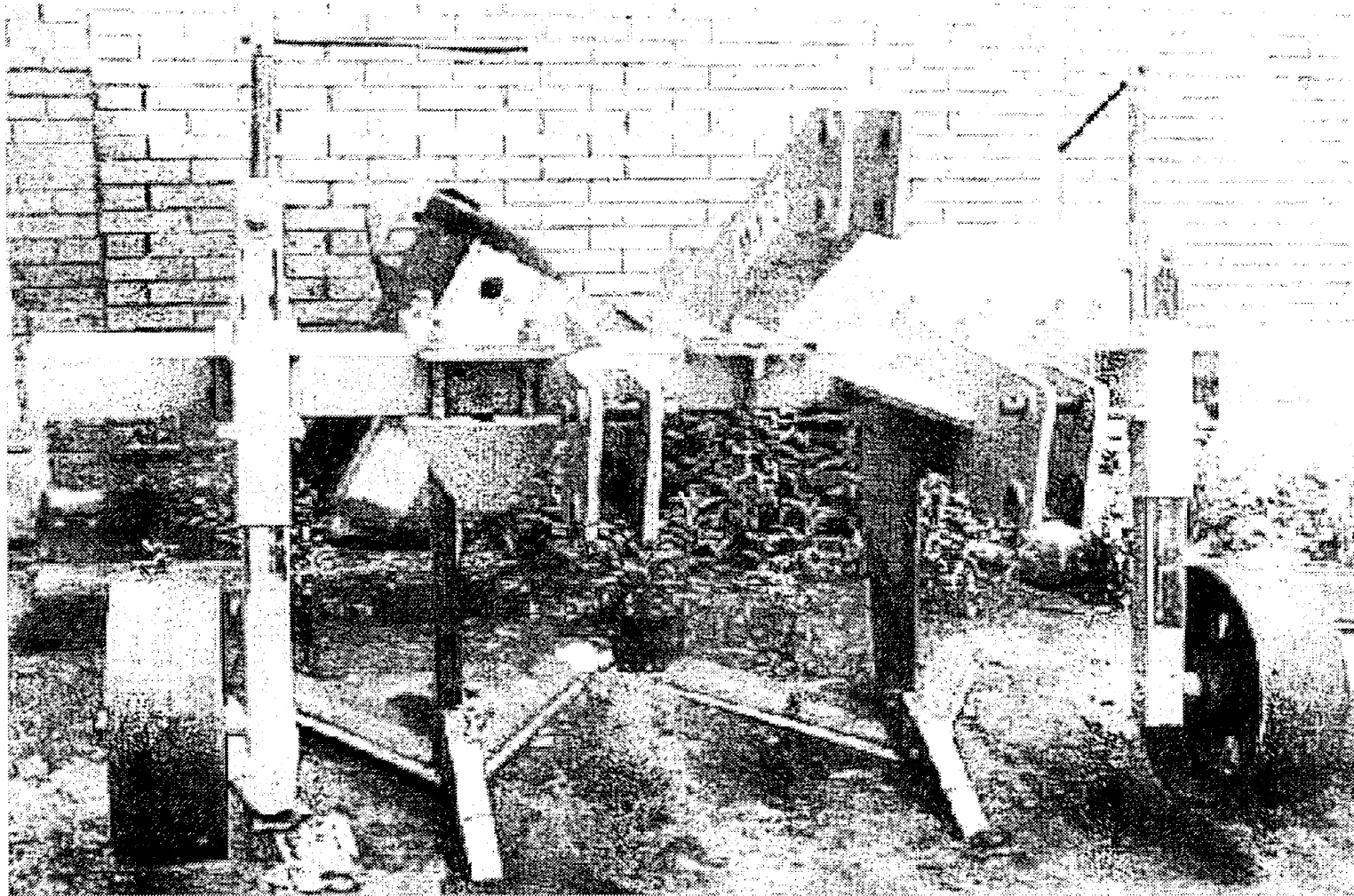


Figura 3.5 Multiarado M - 170

### Arado de Discos (Figura 3.6)

Marca	New Holland
Modelo	NH 800-3
Numero de discos	3
Potencia requerida	70-80 hp
Profundidad de trabajo	355 mm
Ancho de trabajo	840 mm
Enganche	3 puntos categoría II
Peso aproximado	579 kg

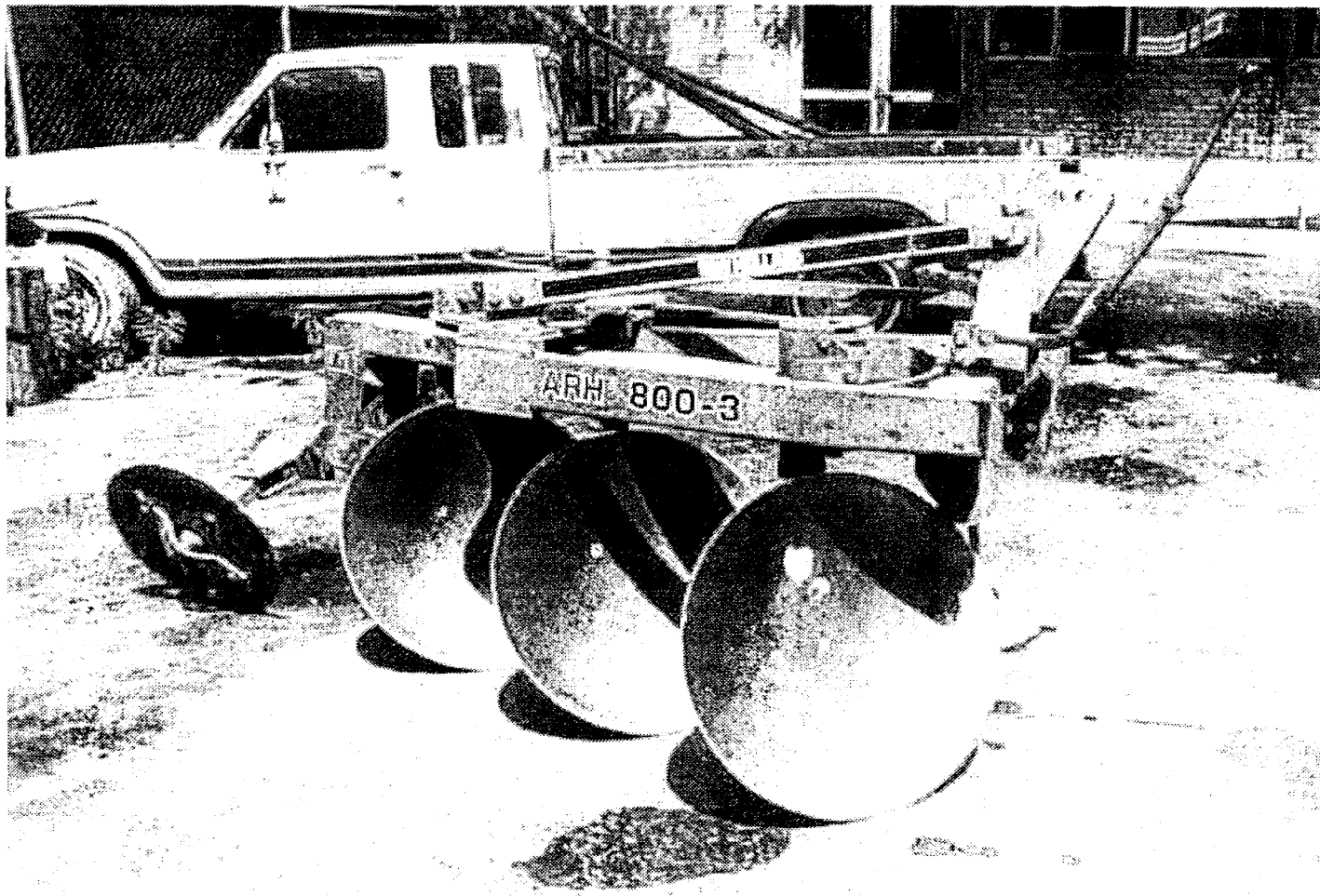


Figura 3.6 Arado de discos NH 800-3

### Rastra de Discos (Figura 3.7)

Marca	John Deere
Modelo	MX221-20
Numero de discos	20
Potencia requerida	60-80 hp
Profundidad de trabajo	no disponible
Ancho de trabajo	2280 mm
Enganche	3 puntos categoría II
Peso aproximado	700 kg

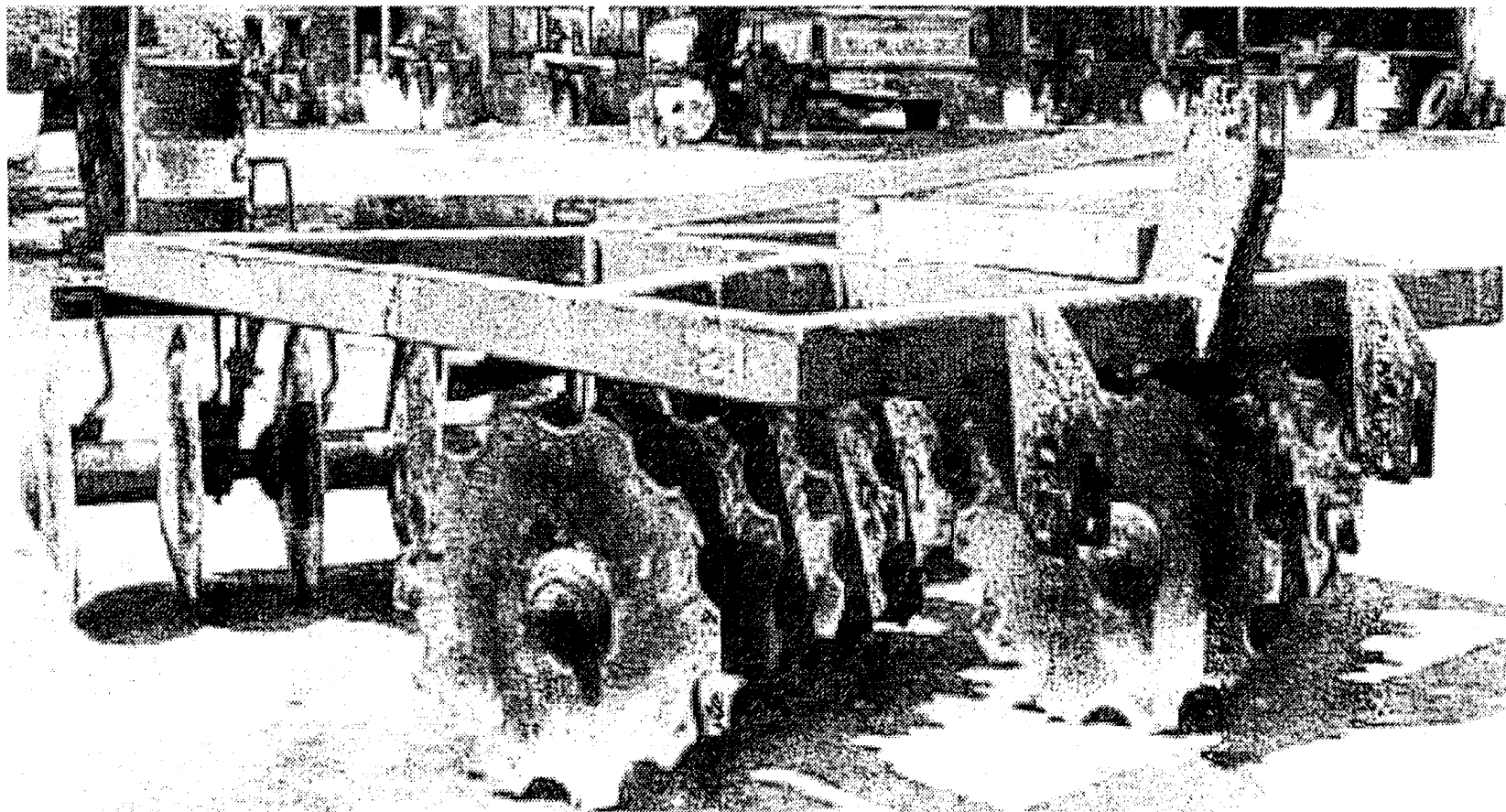


Figura 3.7 Rastra de discos MX221-20

## **Metodología**

Para llevar a cabo el presente trabajo de investigación se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con seis tratamientos y tres repeticiones, con un tamaño de parcelas de 8 x 50 m, sumando un total de 18 parcelas.

## Caracterización del Sitio de Evaluación

### Tipo de Suelo (Determinación de la Textura)

Para determinar la textura del suelo se tomaron cuatro muestras por parcela, de las cuales se mezclaron en una sola, posteriormente esta muestra se llevó al laboratorio de Física de suelos, utilizando el método del hidrómetro de Bouyoucos se determinó el grupo textural.

### Humedad del Suelo

En el momento en que se realizaron las pruebas en campo se tomaron con una barrena cuatro muestras de humedad en el perfil del suelo hasta una profundidad de 20 cm, con intervalos de 5 cm entre ellas (Figura 3.8); se pesaron en una balanza con una precisión de 0.01 g, y se llevaron al laboratorio de física de suelos para secarse en una estufa a 105 °C durante 24 hr, posteriormente volverse a pesar, y se determinara el contenido de humedad por el método gravimétrico, medio de la siguiente formula:

$$P_w = \left[ \frac{PSH - PSS}{PSS} \right] * 100$$

Donde:

$P_w$  = Contenido de humedad (%)

$PSH$  = Peso de suelo húmedo (g)

$PSS$  = Peso de suelo seco (g)

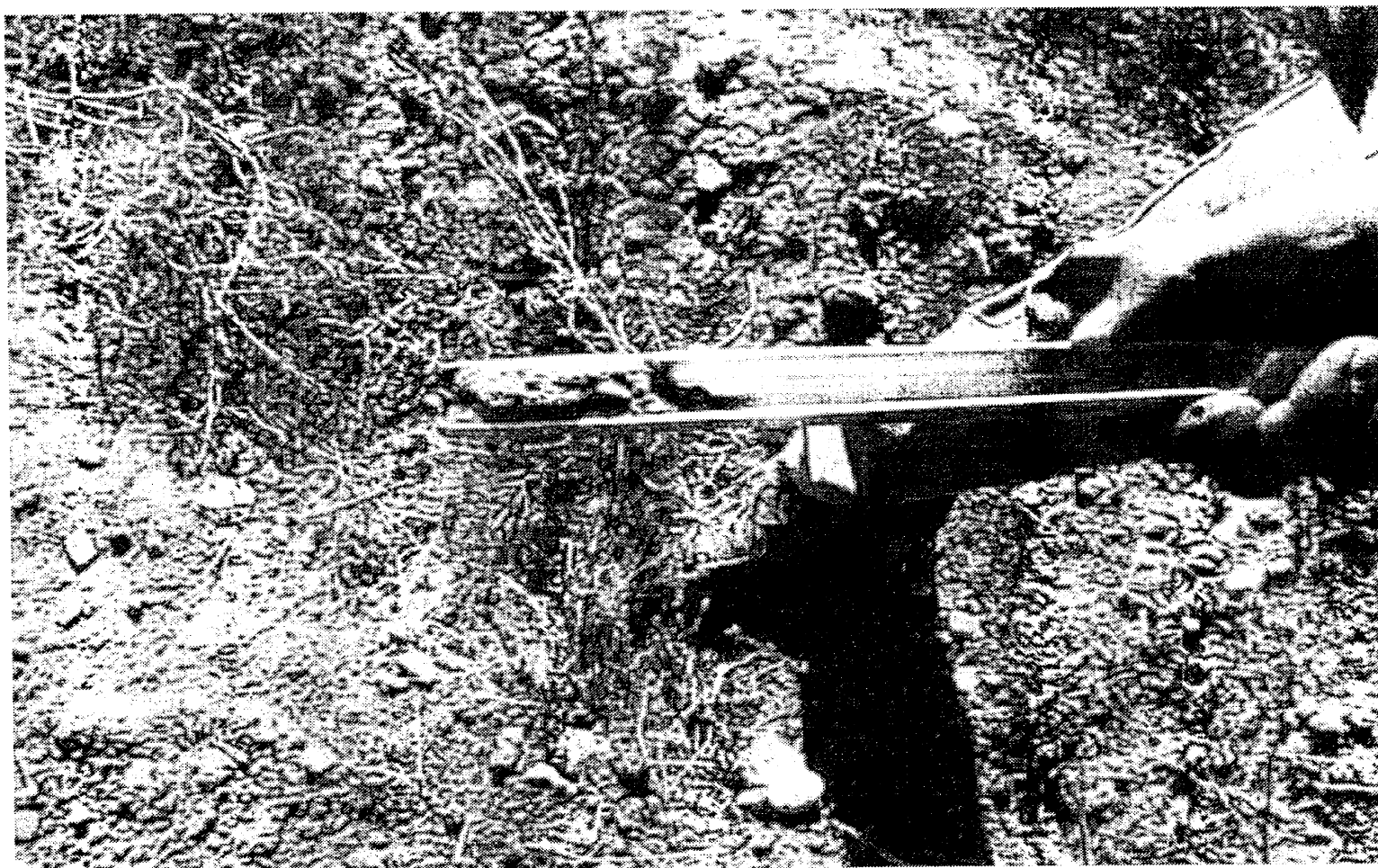


Figura 3.8 Extracción de muestras para determinar humedad

### Densidad Aparente

Para determinar la densidad en esta etapa se utilizó el método de extractor de núcleos (Figura 3.9). Se tomaron cuatro muestras en el perfil del suelo con una barrena en cilindros de volumen conocido, hasta la profundidad de 20 cm, con intervalos de 5 cm entre ellos, cada muestra se pesó inmediatamente después de ser sacada y fueron llevadas al laboratorio para ser



secadas en una estufa por 24 hr a 105°C, posteriormente se pesaron y se calculó la densidad aparente medio de la siguiente expresión:

$$Da = \frac{M}{V}$$

Donde:

Da = Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)

M = Peso de la muestra de suelo seca (g)

V = Volumen del cilindro (cm<sup>3</sup>)



Figura 3.9 Barrena de extractor de núcleos

## Cobertura Vegetal

Esta prueba se llevo a cabo antes del paso de los implementos, con el objeto de determinar el porcentaje y cantidad de cobertura vegetal existente en el terreno. Para la realización de esta prueba se utilizó un marco de un metro cuadrado (Figura 3.10) con un arreglo matricial de 10x10 cm cada uno, por lo que cada cuadrado representa el uno por ciento, se tomaron lecturas en base al porcentaje de vegetación que cubría dichos cuadros de 10 cm<sup>2</sup>, esta prueba se realizó por cada parcela con tres repeticiones; posteriormente la cobertura de cada punto fue pesada y enviada al laboratorio para secar en una estufa con circulación de aire caliente durante 96 horas a 70 – 75 °C, se procedió a pesar y con esto a realizar los cálculos correspondientes para determinar la cantidad de cobertura por unidad de superficie que se encontraba al inicio de paso del implemento.



Figura 3.10 Medidor de cobertura vegetal

## Medición del Microrrelieve

Para la determinación del microrrelieve se realizaron las mediciones en la parcela donde se estableció el experimento antes y después del paso con los implementos, el objetivo de conocer el microrrelieve antes y después de los tratamientos es la realizar una comparación, cuantificar el efecto del implemento y determinar los cambio en la densidad del suelo, como también la desviación estándar la cual se toma como un indicador de rugosidad. Para la determinación del mismo, se utilizó un instrumento llamado perfilómetro este es una estructura metálica rectangular de 2 metros de ancho por 4 metros de largo, en su parte mas larga cuenta con espaciamientos de 20 centímetros, que es donde se realizaran las mediciones por medio del perfil tubular de aluminio y las varillas graduadas (Figura 311).

Para realizara las mediciones se selecciona el punto de muestre al azar, se instala el perfilómetro el cual debe estar completamente nivelado, cuidando de ubicar un punto de referencia en cada uno de los limites extremos de las parcelas a medir (estaca), a fin de regresar después del paso del implemento al mismo sitio. Por ultimo se prosigue a la toma de lectura en el bastidor y varillas estas se realiza en la parte superior del bastidor. Los datos del microrrelieve se utilizan para calcular el índice de rugosidad, el cual es el equivalente a la desviación estándar de los datos obtenidos en cada muestreo.



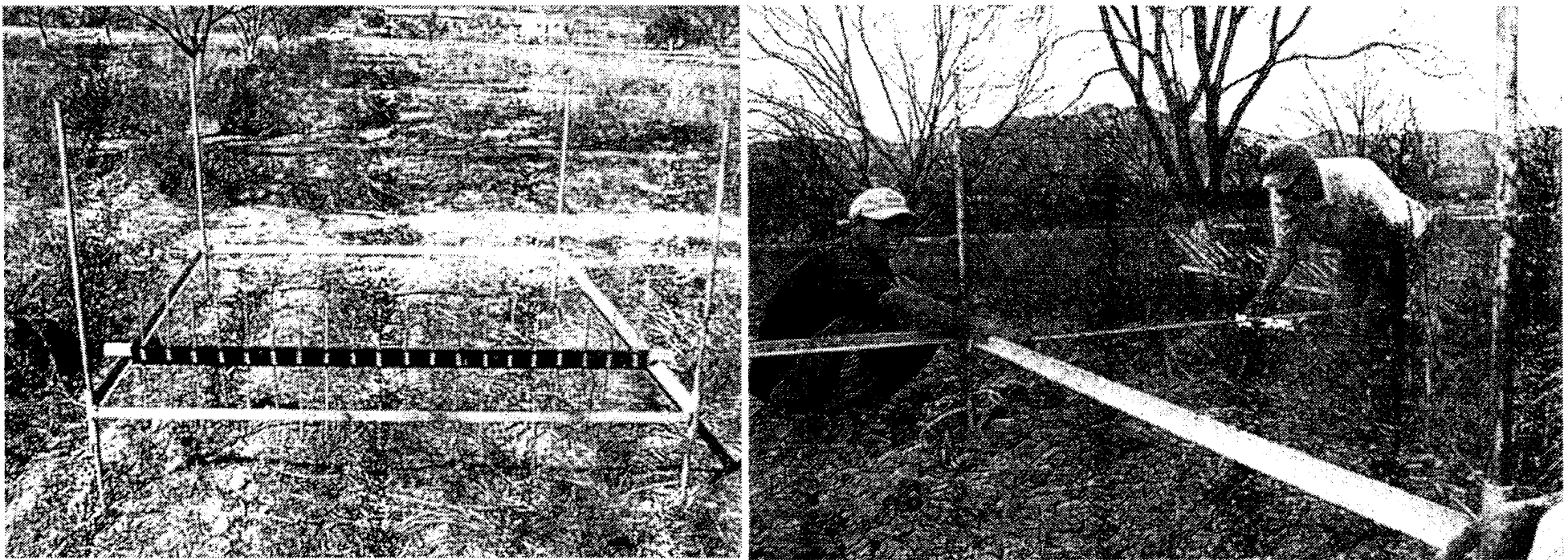


Figura 3.11 Medición del microrrelieve antes y después de la labor

### Resistencia a la Penetración

La resistencia a la penetración se midió usando un penetrómetro de cono conectado a un dinamómetro de anillo, en la medición del mismo se utilizó un paquete computacional ( daq view ), que registro la resistencia a la penetración del suelo expresado en fuerza por área (kPa). El ángulo de la punta y el diámetro de la base fueron especificados de acuerdo a los estándares de ASAE, la fuerza de la penetración fue continuamente medida y registrada en gráficas a lo largo y ancho de la parcela, cinco mediciones fueron tomadas en los sitios de evaluación al azar. Para la obtención de los datos se empleo un sistema de conversión analógico digital citado por ( Moo, 1999), como se muestra en la Figura 3.12.

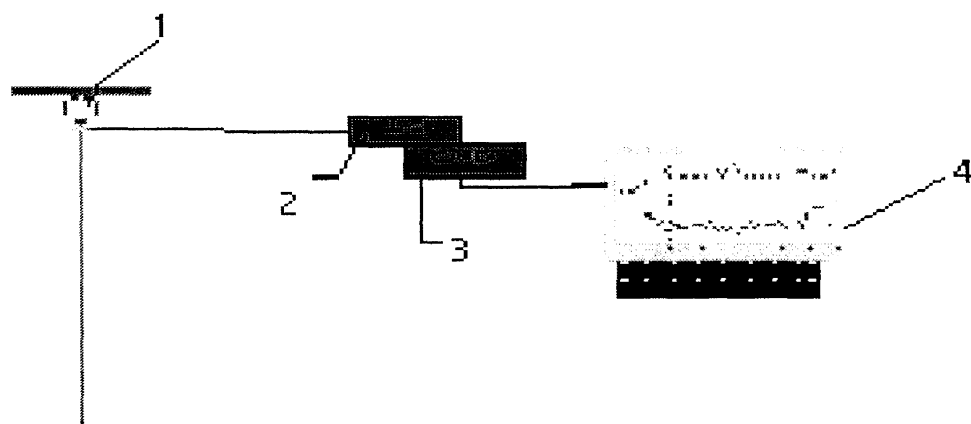


Figura 3.12 Equipo para determinar la resistencia a la penetración

1. Penetrómetro con transductor (Dinamómetro)
2. Amplificador- acondicionador (DBK -16)
3. Convertidor analógico digital
4. Computadora personal

### Desempeño de la Configuración Tractor - Implemento

#### Ancho de Trabajo

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

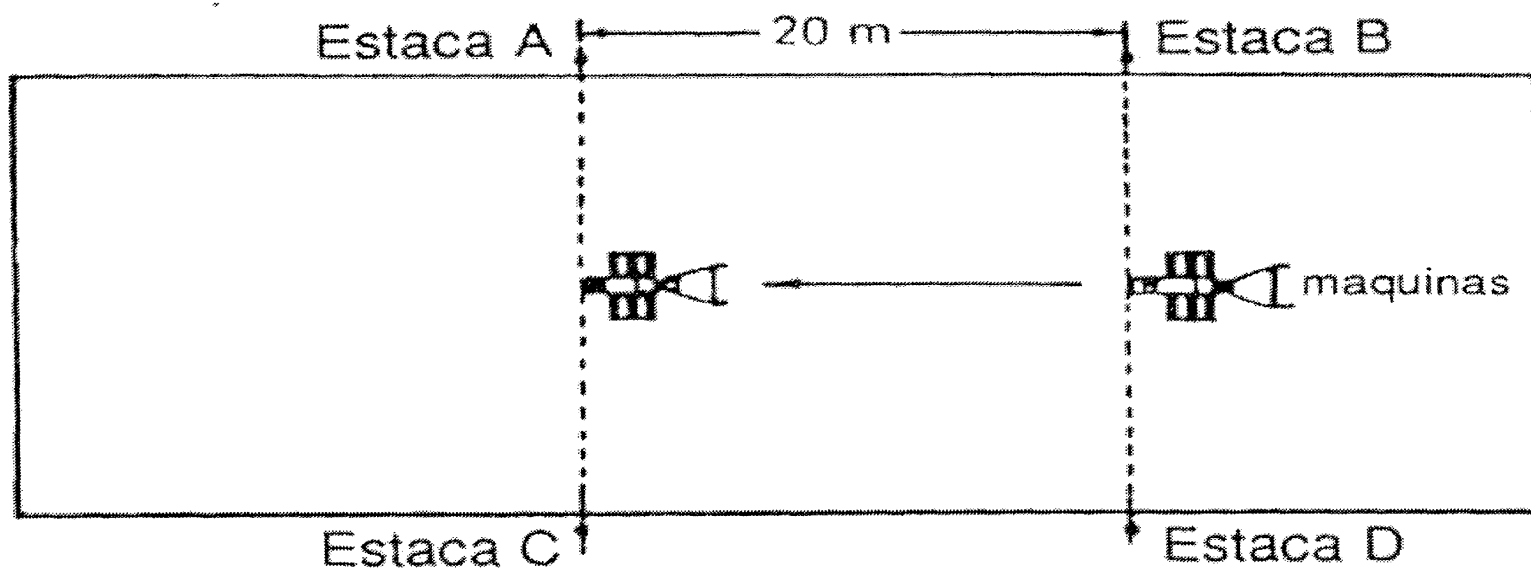


Figura 3.13 Determinación de la velocidad de trabajo

### Patinaje de las Ruedas

El tractor produce patinaje en cualquier operación de campo. La distancia que un tractor recorre se reduce cuando las ruedas motrices patinan, un método simple que se utilizó para medir la cantidad de patinaje es haciendo una marca en la rueda tractiva del tractor, después se hace un recorrido con el tractor sobre el terreno con carga (A) y sin carga (B), se realizan marcas sobre el terreno de cada cinco revoluciones de la rueda motriz para posteriormente determinar las distancias recorridas (Figura 3.14).

Formula para el cálculo del porcentaje de patinaje:

$$PP = \frac{A - B}{A} \times 100$$

Donde:

PP = Por ciento de patinaje

A = Distancia recorrida por la rueda con el implemento levantado (m)

B = Distancia recorrida por la rueda con el implemento trabajando (m)

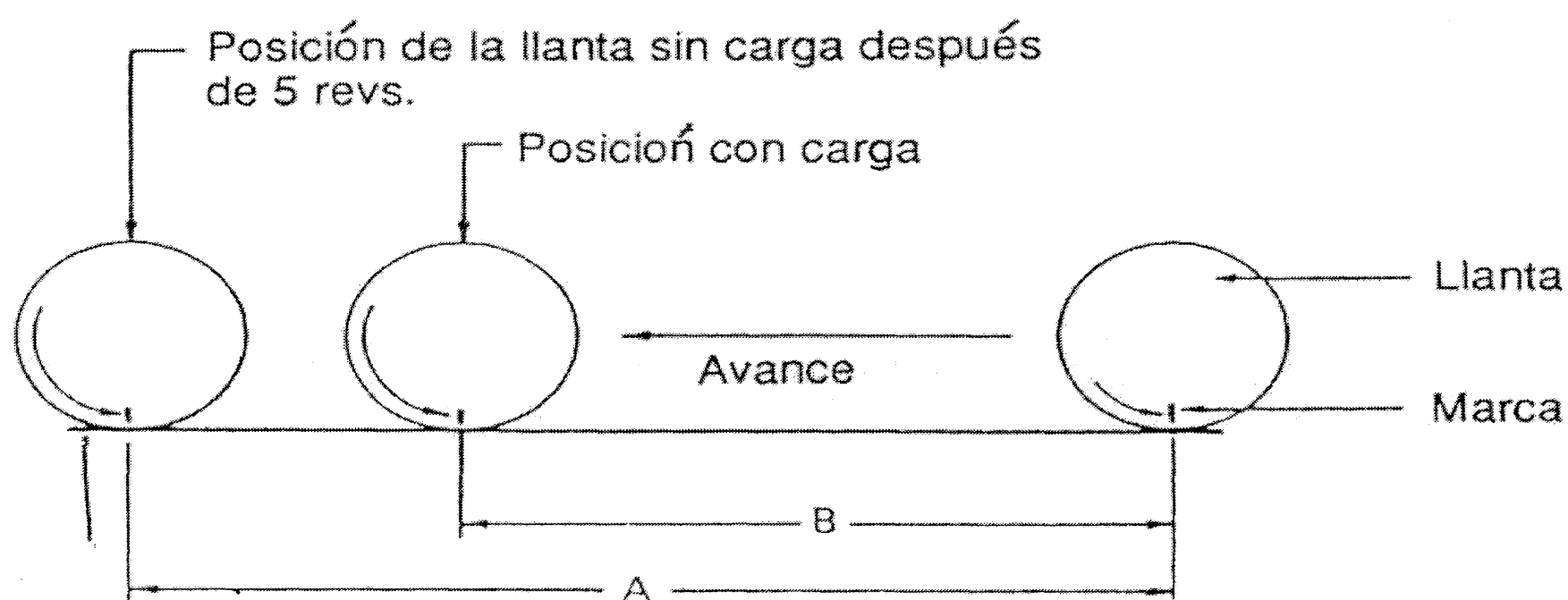


Figura 3.14 Medición del patinaje

### Consumo de Combustible

La medición del consumo de combustible se realizó con una probeta de mil mililitros, como se muestra en la Figura 3.15, esta alimentaba en forma directa la línea de combustible (sistema de inyección), cuidando de no dejar pasar el diesel antes o después de la toma del tiempo de inicio y término de la labor, al inicio del trabajo con el implemento se toma una lectura referencia del nivel de combustible en la probeta y al terminar de trabajar la parcela se vuelve

a toma la lectura del nivel del combustible y así determinar el consumo de combustible por unidad de superficie trabajada (lt/ha).



Figura 3.15 Medición del consumo de combustible

### Capacidad Teórica de Campo

Utilizando los valores promedios del ancho y velocidad de trabajo, tomadas en campo, la capacidad teórica de trabajo del implemento es determinada con la siguiente formula (sin tomar en cuenta la eficiencia):

$$CTC = \frac{(APT).(VP).(36)}{10000}$$

Donde:

CTC = Capacidad teórica de trabajo (ha/hr)

APT = Ancho promedio de trabajo (cm)

VP = Velocidad de trabajo (m/seg)

### Determinación de la Fuerza de Tiro Requerido por el Implemento

Para determinar la fuerza de arrastre o potencia que demanda los implementos se utilizó un dinamómetro de tiro con capacidad de 40 kN, acoplado a la parte delantera del tractor en el cual va montado el implemento, otro tractor debe jalar al primero junto con el implemento a través del dinamómetro, como se muestra en la Figura 3.16. El tractor con el implemento no debe de realizar fuerza (transmisión en neutral) solo el que va al frente, esta operación se realiza con el implemento en la posición de trabajo y con el implemento arriba. Se toman las lecturas de la fuerza de tiro y el tiempo requerido para cubrir una distancia de la parcela. Para la obtención de los datos se empleo un sistema de conversión analógico digital (Moo,1999), que consta de las partes que se ilustra en la Figura 3.17.

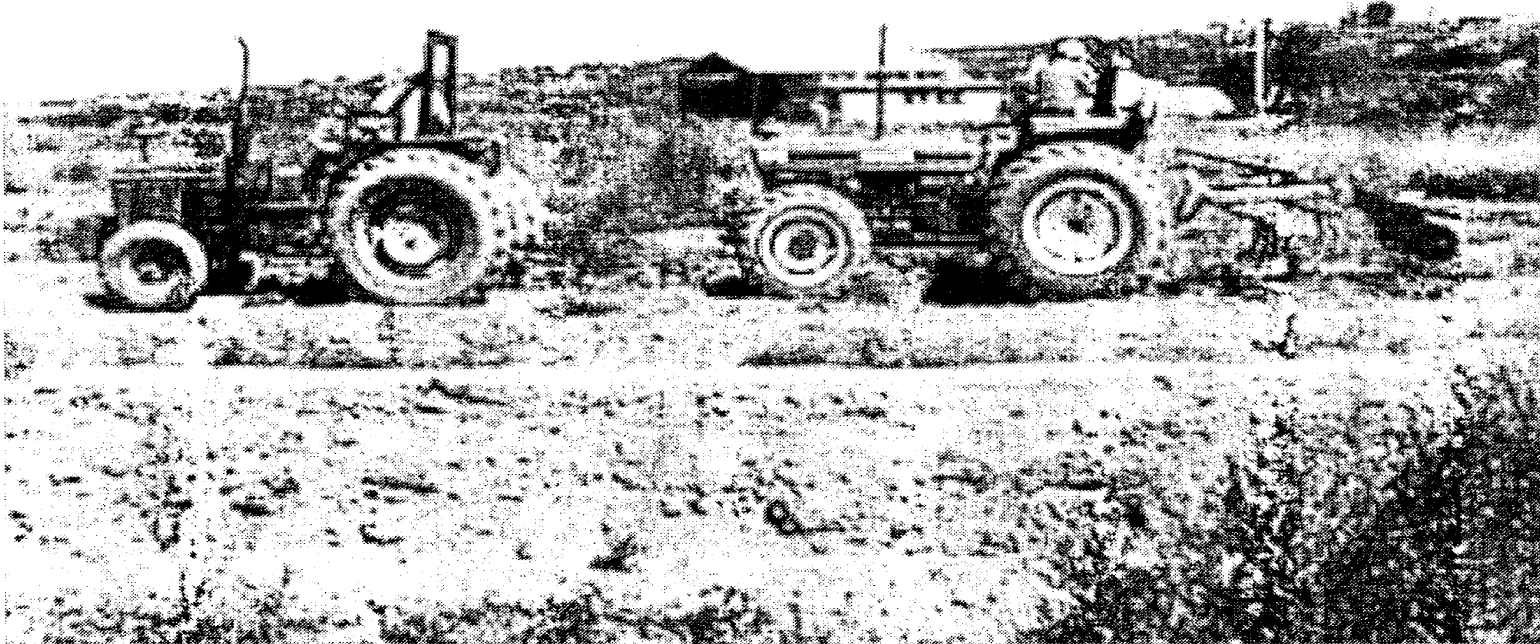


Figura 3.16 Fuerza de arrastre del implemento (vibrocultivador),  
acoplado al tractor

A). Transductor:

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

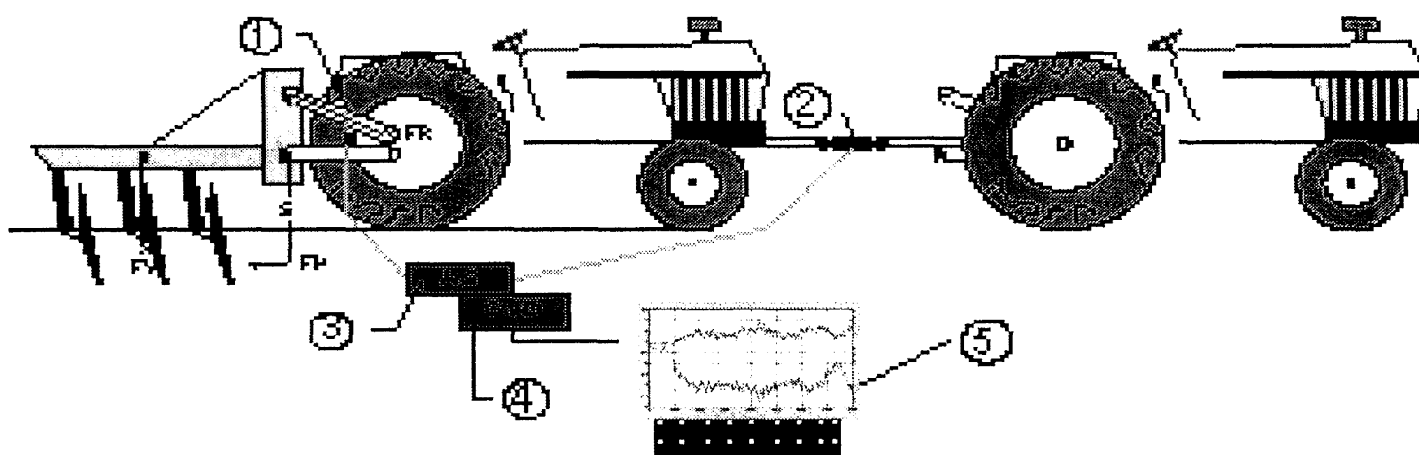


Figura 3.17 Sistema de conversión analógico digital

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

B). Amplificador y acondicionador de señal:

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

C). Convertidor analógico:

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



D). Computadora personal:

Se utilizó una computadora personal Toshiba AMD-K6 (tm) 3D procesador, 32 MB de RAM: con Windows 98.

E). Software:

Se utilizó el programa Daq View 7,11,08 de IOtech, Inc., programa para MS Windows, para la adquisición de datos a través del Daq View 200 y donde posteriormente se guardan en un archivo por medio de la computadora para después ser analizados. Los datos que se obtuvieron durante el proceso fueron analizados con los paquetes de MATLAB, utilizando un programa ANALISIS que contiene la transformada de Fourier para el análisis espectral de los datos.

F). Equipo adicional:

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

## Calidad y Energía en la Operación de los Implementos

### Tamaño Promedio de Agregados

El grado de pulverización del suelo fue determinado por el tamaño medio de los agregados, esta prueba se realizó después del paso del implemento utilizando los de tamices de 100, 50, 30, 20 y 10 mm (Figura 3.18). Los sitios de muestreo se seleccionaron en forma al azar y de una área de 50 cm<sup>2</sup> se extrajo el suelo hasta la parte donde logro penetrar el implemento, el volumen de suelo se peso y después se hizo pasar por los tamices colocando en serie, empezando con los de diámetro mayor hasta el mas pequeño, los diferentes tamaños de agregados que se fueron quedando en cada una de los tamices se pesaron. El tamaño de agregados se calcula por medio de la siguiente ecuación, propuesta por el CENEMA:

$$D = \frac{5(21k + 19j + 17i + 15h + 13g + 11f + 9e + 7d + 5c + 3b + a)}{W}$$

Donde:

D = Diámetro promedio de los agregados (mm)

W = Masa total de la muestra (kg)

k = Peso de los agregados con diámetro > 100 mm

j = Peso de los agregados con diámetro > 90 < 100mm

i = peso de los agregados con diámetro > 80 < 90 mm

h = Peso de los agregados con diámetro > 70 < 80 mm

g = Peso de los agregados con diámetro > 60 < 70 mm

f = Peso de los agregados con diámetro > 50 < 60 mm

e = Peso de los agregados con diámetro > 40 < 50 mm

d = Peso de los agregados con diámetro > 30 < 70 mm

c = Peso de los agregados con diámetro > 20 < 30 mm

b = Peso de los agregados con diámetro > 10 < 20 mm

a = Peso de los agregados con diámetro < 10 mm

Para esta investigación se modificó la ecuación, debido a que no se contaba con los tamices que se necesitaban para la utilización de dicha ecuación, por lo que la ecuación corregida se quedó de la siguiente manera:

$$D = \frac{5(21k + 16h + 8d + 5c + 3b + a)}{W}$$

Donde:

D = Diámetro promedio de los agregados (mm)

W = Masa total de la muestra (kg)

k = Peso de los agregados con diámetro > 100 mm

h = Peso de los agregados con diámetro > 50 < 90 mm

d = Peso de los agregados con diámetro  $> 30 < 50$  mm

c = Peso de los agregados con diámetro  $> 20 < 30$  mm

b = Peso de los agregados con diámetro  $> 10 < 20$  mm

a = Peso de los agregados con diámetro  $< 10$  mm

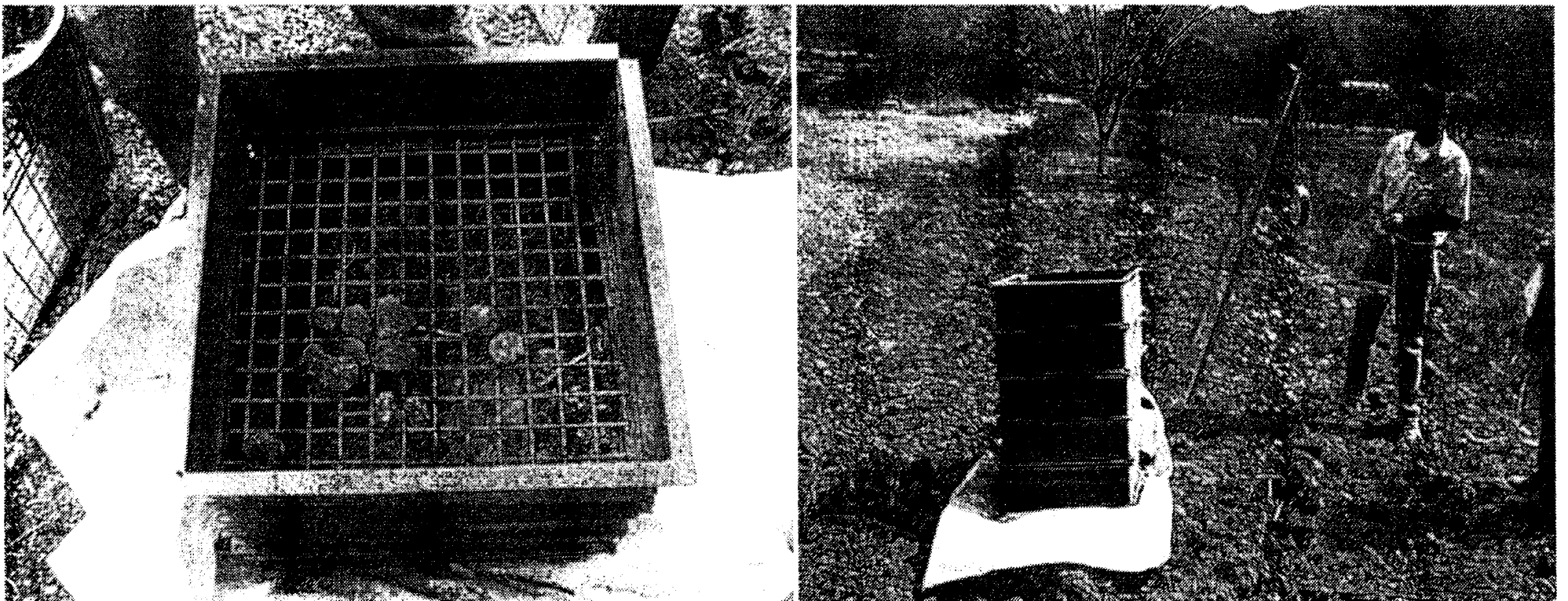


Figura 3.18 Determinación del tamaño de agregados

### Índice de Disturbación Energética

El índice de disturbación energética, indica la cantidad de combustible que consume un implemento por unidad de volumen de suelo disturbado.

El cálculo de esta variable se hace mediante las ecuaciones siguientes:

$$IDE = \frac{CCS}{V} * 1000$$

Donde:

IDE = Índice disturbación energética (ml/m<sup>3</sup>)

CCS = Consumo de combustible por superficie (lt/ha)

V = Volumen de suelo trabajado (m<sup>3</sup>/ha)

$$CCS = \frac{GC}{CTC}$$

Donde:

GC = Gasto de combustible (lt/hr)

CTC = Capacidad teórica de campo (ha/hr)

$$V = 10000 * P$$

Donde:

P = Profundidad de la labor (m)

Determinación del Area y Perfil de Disturbación

En la medición del microrrelieve por debajo de la superficie de trabajo, se utilizó un bastidor igual al del microrrelieve superficial, pero en el caso de este se empleo varillas de metal para poder ser introducidas hasta los limites de trabajo del implemento, en la toma de lecturas se realizó de la misma manera que en el medidor superficial, pero en lugar de tomar 200 datos, se tomaron 60 datos (3 posiciones en 2 metros con espaciamentos de 67 cm entre posición). Al final de cada lectura en la misma posición se tomó la lectura de la profundidad mas alta a la mas baja (2 lecturas), pero estas son tomadas en la superficie del suelo hasta donde alcanzo la mayor profundidad las varillas, como se muestra en la Figura 3.19.

El objetivo de esta medición es conocer el área disturbada por unidad de superficie, como también la cantidad de combustible que se requiere por unidad de volumen disturbado (incluyendo la profundidad que el implemento realiza la labor).

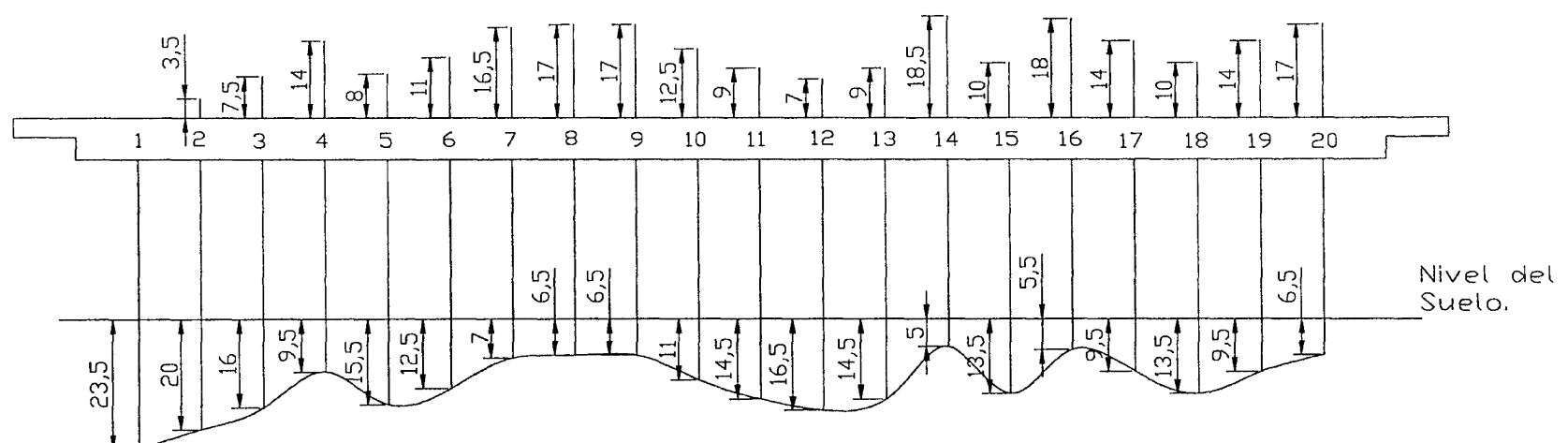


Figura 3.19 Determinación del área y perfil de disturbación

## Medición del Microrrelieve

Después de haber realizado el paso del implemento, se vuelve a determinar el microrrelieve como se realizó este en la caracterización del sitio a evaluar antes de los tratamientos.

## Densidad Aparente

Con las mediciones realizadas del microrrelieve antes y después del paso de los implementos se determina la densidad aparente después de cada labor, utilizando la ecuación propuesta por Koipers (1959):

$$Dr = \frac{Wsuelo}{(Up + hi) * ai}$$

Donde:

Dr = Densidad aparente después de la labor (g/cm<sup>3</sup>)

W suelo = Peso del suelo (ton)

Up = Diferencia entre los puntos del microrrelieve tomados antes y después de realizar la labor (m)

hi = Altura de referencia (m)

ai = Área de referencia (m<sup>2</sup>)

La altura de referencia se toma siempre como un metro, al igual que el área de referencia. A este dato de la densidad se le resta a la densidad inicial, con esto podemos determinar la alteración de densidad que sufre el suelo con cada implemento utilizado en las labores agrícolas.



# RESULTADOS Y DISCUSION

## Caracterización del Sitio de Evaluación

La caracterización del tamaño relativo de las partículas minerales del suelo (arenas, limos y arcillas) se realizó en base al triángulo de clasificación de suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), la textura del "Campo experimental de Buenavista" se clasifica como un suelo arcilloso, con un 10 por ciento de arena, 39.3 por ciento de limo y 50.7 por ciento de arcilla. En el Cuadro 4.1 se pueden apreciar las demás características del sitio, como se observa el terreno se encontraba seco con una humedad promedio de 7.7 por ciento al momento de establecer los tratamientos. La densidad aparente del suelo fue de  $1.35 \text{ g/cm}^3$  a  $1.36 \text{ g/cm}^3$  y en el del tratamiento rastra después de arado de  $1.11 \text{ g/cm}^3$ , donde el valor relativamente bajo de la densidad se determinó precisamente después de arar el terreno.

En relación a la cobertura vegetal y densidad de residuos sobre la superficie del terreno se observa que existe una diferencia en el tratamiento de

rastra después de arado en comparación con el resto de los demás. La importancia de la medición de este parámetro indicador de la calidad de funcionamiento de los implementos reside en su posible empleo en labranza de conservación.

En lo que respecta al microrelieve en los tratamientos de arado, multiarado y vibrocultivador se puede notar que el suelo se encontraba con una baja rugosidad (1.65, 1.10 y 1.4 cm respectivamente), esta condición nos muestra que las condiciones del suelo no son las adecuadas para retener humedad después de un evento de lluvia, en cambio se observa que en los tratamientos de rastra y rastra después de arado si presenta una rugosidad significativa, con una desviación estándar de 3.3 y 4.1 respectivamente, lo que evita el escurrimiento del agua y ayuda a la infiltración de esta, tal y como se señala en el trabajo de Uger and Cassel (1991).

La resistencia a la penetración del suelo fue relativamente uniforme en los tratamientos, pero elevada lo que indica que el suelo se encuentra seco y muy compacto, esto concuerda con lo encontrado por Cadena (1999) en otros suelos arcillosos secos cerca del punto de marchitez permanente que presentaron resistencia a la penetración elevada de alrededor de 8 MPa. En el tratamiento rastra después de arado no se determinó, debido a que ya se había realizado la aradura del terreno.

Cuadro 4.1 Características del sitio de evaluación antes de cada tratamiento

	Humedad (%)	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Cobertura vegetal (%)	Densidad residuos (kg/ha)	Rugosidad (D.E.)* cm	Resistencia penetración (MPa)
Arado de discos	8.66	1.36	37,38	1893.7	1.65	6.747
Multiarado	9.63	1.36	37.38	1893.7	1.10	6.747
Vibrocultivador con rodillo	7.35	1.35	33	1517	1.40	6.197
Vibrocultivador sin rodillo	7.35	1.35	33	1517	1.40	6.197
Rastra después de Arado	6.71	1.11	0	0	4.1	—
Rastra	6.71	1.36	54.45	1948.8	3.3	7.297

\* D. E. Desviación estándar

### Desempeño de la Configuración Tractor – Implemento

Para caracterizar el desempeño de la configuración del tractor – implementos se midieron las siguientes variables del tractor con cada uno de los implementos; Ancho, profundidad y velocidad de trabajo, patinaje, consumo de combustible, fuerza de tiro que demanda el implemento, también se determino la capacidad teórica y potencia que demanda cada implemento. Para cada variable se realizo un análisis de varianza y comparación de medias al

0.01 mediante la prueba de diferencia mínima significativa y los resultados se reportan en el Cuadro 4.2.

El ancho de trabajo es fundamental para la medición de la capacidad de trabajo e influye en el criterio de selección del equipo por parte de los productores, los resultados muestran que existe una diferencia entre los tratamientos en relación al ancho de trabajo, siendo el mejor el del vibrocultivador seguido de rastra en barbecho, rastra, multiarado y por último el arado de discos, esta diferencia radica principalmente en el diseño y forma de los implementos. La profundidad de trabajo de los implementos no presenta diferencia entre tratamientos, los implementos de arado y multiarado que son los que mayor penetración tienen relativamente, sin embargo esta se vio limitada por lo seco del terreno, ya que dependen de la resistencia a la penetración que presenta el suelo, esta resistencia se incrementa a medida que el suelo se va secando, disminuyendo la profundidad de trabajo de los implementos como se encontró en un trabajo similar en condiciones tropicales por Cadena (1999).

En relación al desempeño caracterizado principalmente por la capacidad teórica, consumo de combustible y requerimientos de potencia se observa que los tratamientos con vibrocultivador y rastra tienen una mayor capacidad teórica, un menor consumo de combustible por área, así como un menor requerimiento de potencia, por lo que estadísticamente son diferentes a los tratamientos de arado y multiarado, esta diferencia se debe a que la capacidad

teórica y consumo de combustible están directamente relacionados al ancho de trabajo del implemento y la potencia con la fuerza que demanda los implementos al momento de trabajar.

**Cuadro 4.2 Desempeño de la configuración de tractor – implemento**

Implemento	Ancho de Trabajo (m)	Profundidad de Trabajo (m)	Velocidad (km/hr)	Patinaje (%)	Capacidad Teórica (ha/hr)	Consumo de Comb. (l/ha)	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 indica que existe estadísticamente diferencia significativa al 0.01.

### **Calidad y Energía de la Operación de los Implementos**

Los parámetros analizados para caracterizar la calidad de los resultados de las labores fueron; la densidad, tamaño de agregados y rugosidad del suelo. Así mismo se incluyeron los parámetros; índice de disgregación energético y

esfuerzo unitario a la falla, lo que permite comparar los implementos en términos de demanda de energía por volumen de suelo labrado.

Uno de los objetivos más importantes de las labores primarias es el aumento de la porosidad del suelo, un indicador de este factor es el cambio en los valores de la densidad aparente, en la Figura 4.1 se observa los cambios de la densidad en cada tratamiento, el tratamiento de rastra muestra el valor más bajo de esta, es importante mencionar que por este implemento la reducción en densidad se presentó en un estrato desde la superficie a una profundidad de 10 cm, como se muestra en el Cuadro 4.3.

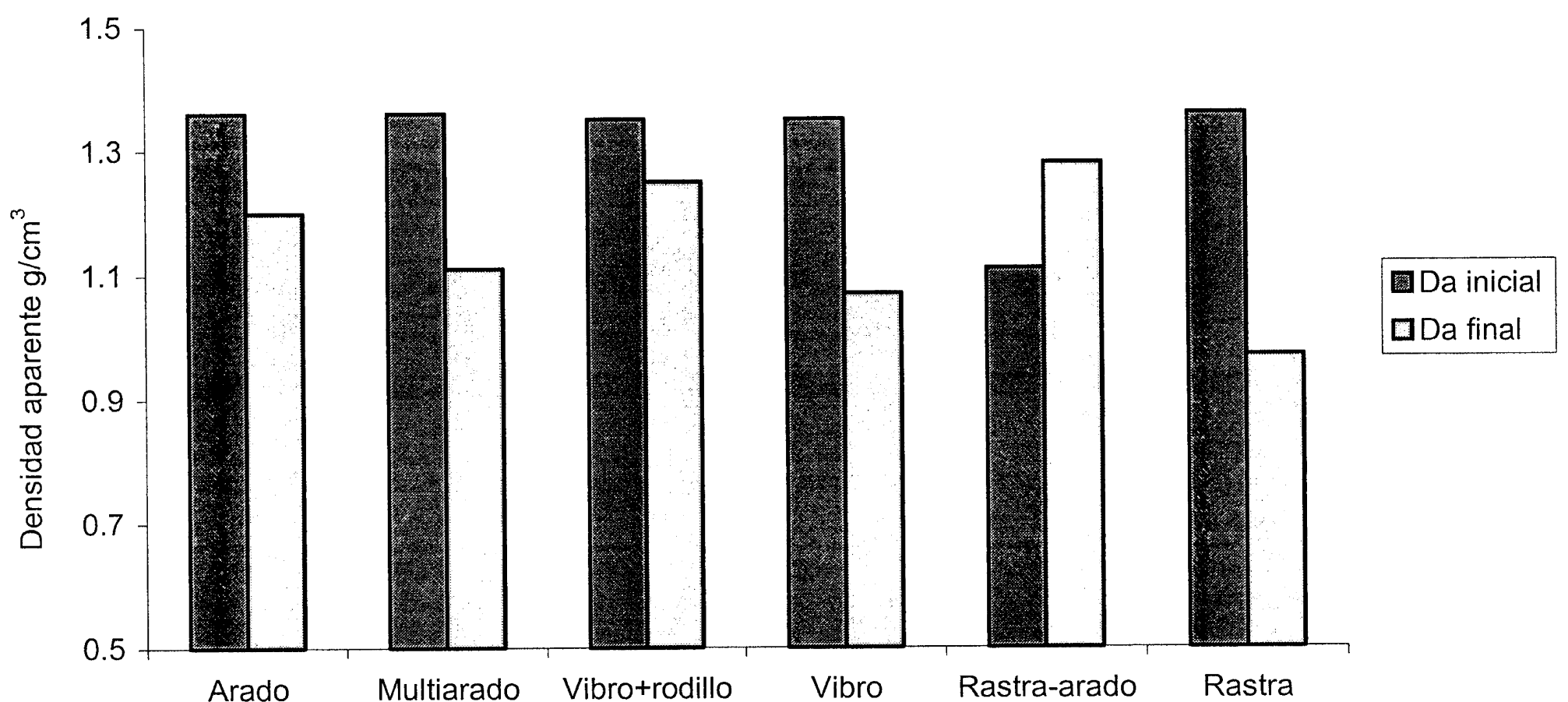


Figura 4.1 Comportamiento de la densidad aparente para cada tratamiento

Cuadro 4.3 Calidad y Energía de la Operación de los Implementos

Implemento	Índice Energético (ml/m <sup>3</sup> )	Esfuerzo Unitario kPa	Rugosidad (D.E. cm)	Tamaño de Agregados (mm)	Reducción de Densidad (%)
Arado	13.29 (A)	143.27 (A)	4.62 (A)	19.97 ( B)	-11.11 (B)
Multiarado	9.05 (AB)	106.67 (A)	3.86 (AB)	53.24 (A)	-18.22 (BC)
Vibro con rodillo	7.65 (B)	14.58 (B)	2.84 (C)	13.93 (B)	-7.35 (B)
Vibro sin rodillo	7.98 (B)	12.93 (B)	2.86 (BC)	9.03 (B)	-20.37 (BC)
Rastra desp. arado	5.80 (B)	18.78 (B)	3.48 (BC)	10.81 (B)	15.56 (A)
Rastra	9.29 (AB)	26.73 (B)	2.93 (BC)	16.33 (B)	-28.43 (C)

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

Por otro lado se observa que el tratamiento de rastra difiere significativamente del de rastra después de arado, en este último se presentó un incremento en la densidad en vez de una disminución, la explicación de esto es que se partió de una densidad relativamente baja y con el paso de este implemento se desintegraron los agregados grandes y a la vez se ayudó a su reacomodo de tamaño de agregados, incrementándose un 15.56 por ciento la densidad final.

A partir de la medición del microrelieve se calcula el índice de rugosidad que es otro parámetro de la calidad del resultado de las labores, sobre todo cuando se requiere crear condiciones en la superficie para evitar escurrimiento y aumentar la infiltración.

El índice de rugosidad de los tratamientos arado y multiarado fueron de 4.6 y 3.8 cm respectivamente, a pesar de que el multiarado dejó los agregados más grandes y estadísticamente existe diferencia significativa entre estos dos tratamientos, la rugosidad entre estos dos tratamientos no difiere estadísticamente, como se aprecia en el Cuadro 4.3, esta igualdad en rugosidad a pesar de la diferencia de tamaño de agregados se debe principalmente al patrón de trabajo que presenta cada implemento, el arado de discos corta e invierte parcialmente el suelo, en cambio el multiarado rompe y fragmenta el suelo al levantarlo con las aletas pero sin invertirlo, logrando así una reducción de la densidad en un 7 por ciento más que el arado de discos.

En relación a la rugosidad antes y después de cada tratamiento se observa que al contrario de los demás, en los tratamientos con rastra la rugosidad presenta una reducción de la rugosidad ocasionada principalmente porque se parte de una rugosidad alta y a la acción de desmenuzamiento de los agregados y nivelación del suelo que realiza este implemento.

En el Cuadro 4.3 se observa que con relación al índice energético y esfuerzo unitario de los tratamientos de arado de discos y multiarado existe diferencia con el resto de los tratamientos, así mismo el arado de discos supera al multiarado en un 32 por ciento y 25.5 por ciento con relación al índice energético y esfuerzo unitario respectivamente. La diferencia entre implementos del esfuerzo se ve influenciada por la forma geométrica, la intensidad de corte



y la manipulación del suelo que estos realizan como también encontró Hoogmoed (1994).

También el consumo de energía se acentúa conforme se incrementa la profundidad de la labranza Buckingham (1984), en resumen se observa que el área de contacto en relación a la dirección de avance del implemento, manipulación del suelo y profundidad de trabajo de los implementos, así como la densidad del suelo influyen significativamente tanto en el esfuerzo unitario como en el índice de disgregación energético. El tratamiento de rastra después de arado presenta un índice energético y un esfuerzo unitario relativamente bajos debido a que el suelo se encontraba suelto al momento de aplicar el tratamiento de rastra.

## CONCLUSIONES

Con base en los datos que se obtuvieron en campo durante la evaluación de los implementos y considerando los objetivos e hipótesis planteados en este trabajo se puede concluir lo siguiente:

El multiarado representa una alternativa adecuada para la preparación primaria del suelo especialmente los de las zonas semiáridas, por lo cual puede utilizarse en lugar del arado de discos, ya que realiza la misma labor que éste con una mejor calidad y menor consumo de energía, esto se observa al reducir la densidad aparente, con ventajas en los aspectos de una mayor capacidad teórica y ancho de trabajo, así como un menor consumo de combustible por área, menor índice de disturbación energética y esfuerzo unitario menor.

Si lo que se busca es tener una alta rugosidad del suelo que para estas zonas lo mas importante es que éste factor sea mayor para que el agua de lluvia se infiltre inmediatamente después de una precipitación evitando de esta manera el escurrimiento y al mismo tiempo reducir los riesgos por erosión hídrica, la preparación de suelos puede realizarse con similares resultados tecnológicos con cualquiera de los dos implementos, ya que ambos

implementos la dejan muy similar la superficie del suelo, sin embargo el costo de energía es menor con el multiarado.

Para realizar la operación de labranza secundaria del suelo el vibrocultivador puede remplazar a la rastra, ya que realiza una mejor reducción de la densidad aparente dejando un tamaño de agregados óptimos para la cama de siembra, además este resultado tecnológico es alcanzado con una menor inversión de energía comparado con la labor de rastreo convencional.

Los implementos de labranza vertical representan una alternativa para la preparación de suelos desde el punto de vista tecnológico y de la reducción de consumo de energía para las zonas semiáridas.

## LITERATURA CITADA

- Aragón R. A., Arévalo M. I., Jiménez R. R., Hoyos F. G., Ochoa B. J. G., Torres S. J. 2000. Metodología para la elaboración de manuales y métodos de prueba y evaluación de maquinaria agrícola. En: memorias del X Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola, Guanajuato, Guanajuato, México, pp. 1.
- Bell R.D. and T.J. Willcocks S/F. Energy conservation in mecanisation of agriculture in developing countries. National Institute of Agricultural Engineering. Wrest Park, Silsoe, Bedford. UK.
- Buckingham F. 1984. Fundamentos de funcionamiento de maquinaria (FMO), serie cultivo. Deere & Company Service Training. Moline, Illinois. EEUU.
- Cadena Z. M. 1999. Soil Workability as a basis for advice on tillage activities. Wageningen Agricultural University. The Netherlands, pp. 29 – 33.
- Cadena Z. M., Valenzuela G. J. R., De la Peña C. B. E., Gaytán M. T. 2000. Informe de las actividades realizadas con la maquinaria bajo contrato de comodato “UAAAN – New Holland”. Departamento de Maquinaria Agrícola. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Cadena Z. M., Zertuche A. F. A., Báez A. O., Gaytan M. T. 2001. Identificación de necesidades de tecnología de mecanización agrícola en las zonas áridas y semiáridas del noreste de México. Informe técnico No. 1. Departamento de Maquinaria Agrícola, UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Crossley P., Kilgour J. 1983. Small farm mechanization for developing countries. Chichester. John Wiley, pp. 221 –224.
- Domínguez L. R. F. 2001. Evaluación del desempeño y resultados tecnológicos del vibrocultivador modelo NH 700 en labranza de suelos de zonas semiáridas. Tesis de licenciatura. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

- Estrada-Berg W. J., Estrada-Berg O. J. B., Camacho V. M., Mendiola G. M. E., Tijerina V. A. 1999. La desertificación en el altiplano mexicano. Universidad Autónoma Chapingo - Comisión Nacional de las Zonas Áridas. México, pp. 1 – 17.
- Figueroa S. B., Morales F. F. J. 1992. Manual de producción de cultivos con labranza de conservación. SARH-Colegio de Postgraduados, Montecillos, Estado de México, México, pp. 5.
- Fira-Banco de México. s/f. Curso sobre fundamentos básicos del sistema de labranza de conservación. Centro de desarrollo tecnológico "Villadiego".
- González H. G. 1999. Levantamiento de suelos a nivel detallado del campo experimental "El bajío" UAAAN. Tesis de licenciatura. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, pp. 13 – 28.
- Hoogmoed W. 1994. Soil Tillage. agronomics applications in tropical regions lecture notes J 150 – 2207. Soil Tillage Departament, Wageningen Agricultural University. The Netherlands.
- Hoogmoed W. 1999. Tillage for soil and water conservation in the semi-arid tropics. Wageningen Agricultural University. The Netherlands.
- Huges Harold A. 1981. Conservación en la agricultura. Publicaciones Deere & Company Service Training. Moline, Illinois. EEUU. Pp 25 – 32.
- INEGI. Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática 2001. Anuario Estadístico del Estado de Coahuila. INEGI. Aguascalientes, Ags, México, pp. 331 – 341.
- INEGI. Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática 2002. Anuario de Estadísticas por Entidad Federativa. INEGI. Aguascalientes, Ags, México, p. 358.
- Krause R., Lorenz F., Hoogmoed W. 1984. Soil tillage in the tropics and subtropics. Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ). Eschborn, Germany.
- Lara L. A. 2000. Situación de la mecanización agrícola en México. En: memorias del X Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola, Guanajuato, Guanajuato, México, pp. 53 – 62.

- Martínez J. A. 1999. Evaluación agrotecnica y tecnológico-explotativa de un multiarado modelo M-250. Tesis licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México.
- New Holland. 2001. Labranza. Folleto informativo. Querétaro, Querétaro, México.
- Norma Mexicana para arados. 2002. Manual de prueba y evaluación de arados. CENEMA. Texcoco, Estado de México.
- Ortiz C. J. 1995. Las máquinas agrícolas y su aplicación. Editorial Mundiprensa. Madrid, España, pp. 21.
- Ronzoni C., Serpa G., Bouza H., Delgado R. 1993. Multiarado: Una tecnología integral para la labranza de la tierra. En: Memorias del III Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola, Querétaro, Querétaro, México, pp. A 204 – A 209.
- Ronzoni C., Bouza H., Fagundo P., Serpa G., Delgado R. 1993. Multiarado: un sistema ecológico de labranza. En: Memorias del III Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola, Querétaro, Querétaro, México, pp. A 210 – A 214.
- Smith D. W., Sims B. G. 1990. Procedimiento para la evaluación de implementos para labranza primaria. Evaluación técnica de equipos para pequeños productores. Manual teórico-práctico. Programa de cooperación técnica México-Gran Bretaña, pp. 1 – 14.
- Unger P.W. and D.K. Cassel. 1991. Tillage implements disturbance effects on soil properties related to soil and water conservation, a literature review. Soil Tillage Res., 19: 363-382.
- Velasco M. H. A. 2000. Sobrevivencia en los Semidesiertos Mexicanos. AGT Editor, S.A. DF, México, pp. 180 – 181.

- Martínez J. A. 1999. Evaluación agrotecnica y tecnológico-explotativa de un multiarado modelo M-250. Tesis licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México.
- New Holland. 2001. Labranza. Folleto informativo. Querétaro, Querétaro, México.
- Norma Mexicana para arados. 2002. Manual de prueba y evaluación de arados. CENEMA. Texcoco, Estado de México.
- Ortiz C. J. 1995. Las máquinas agrícolas y su aplicación. Editorial Mundiprensa. Madrid, España, pp. 21.
- Ronzoni C., Serpa G., Bouza H., Delgado R. 1993. Multiarado: Una tecnología integral para la labranza de la tierra. En: Memorias del III Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola, Querétaro, Querétaro, México, pp. A 204 – A 209.
- Ronzoni C., Bouza H., Fagundo P., Serpa G., Delgado R. 1993. Multiarado: un sistema ecológico de labranza. En: Memorias del III Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola, Querétaro, Querétaro, México, pp. A 210 – A 214.
- Smith D. W., Sims B. G. 1990. Procedimiento para la evaluación de implementos para labranza primaria. Evaluación técnica de equipos para pequeños productores. Manual teórico-práctico. Programa de cooperación técnica México-Gran Bretaña, pp. 1 – 14.
- Unger P.W. and D.K. Cassel. 1991. Tillage implements disturbance effects on soil properties related to soil and water conservation, a literature review. Soil Tillage Res., 19: 363-382.
- Velasco M. H. A. 2000. Sobrevivencia en los Semidesiertos Mexicanos. AGT Editor, S.A. DF, México, pp. 180 – 181.

## Páginas de Web Consultadas

CONAZA. 2002. "Comisión Nacional de Zonas Áridas". (Página principal).  
<http://www.CONAZA.gob.mx>

FAO<sup>a</sup>. 2003. "Agricultura de conservación, uniendo producción con sostenibilidad"  
[http://www.fao.org/waicent/faoinfo/agricult/AGSE/agse\\_s/general/OBJECT.htm](http://www.fao.org/waicent/faoinfo/agricult/AGSE/agse_s/general/OBJECT.htm)

FAO<sup>b</sup>. 2003. "Manual de prácticas integradas de manejo de conservación de suelos". (Texto del manual).  
[http://www.fao.org/ag/ags/AGSE/agse\\_s/7mo/iita/iita.htm](http://www.fao.org/ag/ags/AGSE/agse_s/7mo/iita/iita.htm)

Kingsford R. T. 1996, et al. "Los humedales de las zonas áridas del mundo".  
[http://www.ramsar.org/about arid s.htm#top](http://www.ramsar.org/about%20arid%20s.htm#top)

Takao H. 2002. "Proyecto de pruebas y evaluación de maquinaria agrícola".  
<http://www.japon.org.mx/public/content/Jica.pdf>



# APENDICE A

Cuadro A.1 Análisis de varianza y comparación de medias por diferencia mínima significativa del ancho de trabajo de los implementos

## TABLA DE DATOS

VARIABLE: ANCHO DE TRABAJO (m)

### BLOQUES

TRATA	1	2	3
1	0.6900	0.6700	0.7000
2	1.5800	1.9000	1.4800
3	2.4000	2.4600	2.0000
4	2.4100	2.3500	2.4100
5	1.9300	2.0000	1.9900
6	2.2100	2.0200	2.0500

## ANALISIS DE VARIANZA

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	5	5.846027	1.169205	60.3133	0.000
BLOQUES	2	0.054077	0.027039	1.3948	0.292
ERROR	10	0.193855	0.019386		
TOTAL	17	6.093960			

C.V. = 7.537%

VARIABLE: ANCHO-TRAB2

## TABLA DE MEDIAS

TRATAMIENTO	MEDIA
4	2.3900 A
3	2.2866 AB
6	2.0933 AB
5	1.9733 BC
2	1.6533 C
1	0.6866 D

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.01

DMS = 0.3602

Cuadro A.2 Análisis de varianza y comparación de medias por diferencia mínima significativa de la profundidad de trabajo de los implementos

### TABLA DE DATOS

VARIABLE: PROFUNDIDAD (cm)

#### BLOQUES

TRATA	1	2	3
1	16.9500	15.7000	13.1500
2	17.4700	18.1300	9.0700
3	12.1300	11.9700	10.1100
4	14.7000	13.2000	14.4300
5	13.6000	13.9000	13.9000
6	11.2100	9.4500	12.3200

### ANALISIS DE VARIANZA

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	5	48.439941	9.687988	1.8837	0.184
BLOQUES	2	15.146484	7.573242	1.4725	0.275
ERROR	10	51.430664	5.143066		
TOTAL	17	115.017090			

C.V. = 16.911%

### TABLA DE MEDIAS

TRATAMIENTO	MEDIA
1	15.2666 A
2	14.8899 A
4	14.1100 A
5	13.8000 A
3	11.4033 A
6	10.9933 A

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.01

DMS = 5.680

Cuadro A.3 Análisis de varianza y comparación de medias por diferencia mínima significativa de la velocidad de trabajo de los implementos

## TABLA DE DATOS

VARIABLE: VEL. DE TRABAJO (km/hr)

### BLOQUES

TRATA	1	2	3
1	4.4300	4.5600	4.3700
2	4.1200	3.7500	4.4400
3	5.4700	5.2400	5.8300
4	5.3500	5.3700	5.3000
5	4.4200	6.6400	4.6800
6	5.4600	5.1800	5.3300

### ANALISIS DE VARIANZA

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	5	4.941864	0.988373	3.0536	0.063
BLOQUES	2	0.185242	0.092621	.02862	0.760
ERROR	10	3.236725	0.323672		
TOTAL	17	8.363831			

C.V. = 11.386%

### TABLA DE MEDIAS

TRATAMIENTO	MEDIA
3	5.5133 A
4	5.3400 A
6	5.3233 A
5	5.2466 A
1	4.4533 A
2	4.1033 A

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.01

DMS = 1.4719

Cuadro A.4 Análisis de varianza y comparación de medias por diferencia mínima significativa del patinaje del tractor

## TABLA DE DATOS

VARIABLE: PATINAJE (%)

### BLOQUES

TRATA	1	2	3
1	1.1600	1.2200	1.4700
2	7.2400	13.3100	3.9800
3	3.9000	4.3600	2.4300
4	2.0800	1.7700	1.9400
5	10.0700	9.4300	9.0500
6	5.8400	4.5300	5.1900

### ANALISIS DE VARIANZA

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	5	167.427582	33.485516	8.5923	0.003
BLOQUES	2	9.393097	4.696548	1.2051	0.340
ERROR	10	38.971649	3.897165		
TOTAL	17	215.792328			

C.V. = 39.940%

### TABLA DE MEDIAS

TRATAMIENTO	MEDIA
4	9.5166 A
2	8.1766 AB
3	5.1866 ABC
5	3.5633 BC
1	1.9300 C
6	1.2833 C

NIVEL DE SIGNIFICANCIA =0.01

DMS =5.1080

Cuadro A.5 Análisis de varianza y comparación de medias por diferencia mínima significativa de la capacidad teórica de los implementos

TABLA DE DATOS

VARIABLE: CAPACIDAD-TEORICA (ha/hr)

B L O Q U E S			
TRATA	1	2	3
1	0.3100	0.3100	0.3100
2	0.6500	0.7100	0.6600
3	1.3100	1.2900	1.4400
4	1.2900	1.2600	1.2800
5	0.8500	1.3300	0.9300
6	1.2100	1.0500	1.0900

ANALISIS DE VARIANZA

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	5	2.354666	0.470933	30.9346	0.000
BLOQUES	2	0.009699	0.004849	0.3185	0.738
ERROR	10	0.152235	0.015224		
TOTAL	17	2.516600			

C.V. = 12.852%

TABLA DE MEDIAS

TRATAMIENTO	MEDIA
3	1.3460 A
4	1.2760 A
6	1.1160 A
5	1.0360 A
2	0.6730 B
1	0.3100 C

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.01

DMS = 0.3192

Cuadro A.6 Análisis de varianza y comparación de medias por diferencia mínima significativa del consumo de combustible

## TABLA DE DATOS

VARIABLE: COMBUSTIBLE (l/ha)

### BLOQUES

TRATA	1	2	3
1	19.7000	21.3400	18.9600
2	11.3200	14.3300	11.5900
3	10.2000	5.7000	9.9000
4	11.6000	9.8300	12.4600
5	7.8500	7.6500	8.5300
6	10.3800	9.7700	10.5000

### ANALISIS DE VARIANZA

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	5	284.906738	56.981346	23.2399	0.000
BLOQUES	2	0.983887	0.491943	0.2006	0.822
ERROR	10	24.518799	2.451880		
TOTAL	17	310.409424			

C.V. = 13.319%

### TABLA DE MEDIAS

TRATAMIENTO	MEDIA
1	20.000 A
2	12.4133 B
4	11.2966 BC
6	10.2166 BC
3	8.5999 BC
5	8.0099 C

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.01

DMS = 4.0515

Cuadro A.7 Análisis de varianza y comparación de medias por diferencia mínima significativa de la fuerza de tiro los implementos

## TABLA DE DATOS

VARIABLE: FUERZA DE TIRO (kN)

### BLOQUES

TRATA	1	2	3
1	15.4800	13.8400	15.2700
2	23.5900	23.0100	22.5200
3	3.7600	2.6900	5.4200
4	5.7400	3.0800	4.4100
5	7.1700	8.8600	5.3100
6	4.4500	7.0900	5.7000

### ANALISIS DE VARIANZA

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	5	863.282959	172.656586	90.8620	0.000
BLOQUES	2	0.281128	0.140564	0.0740	0.929
ERROR	10	19.002075	1.900208		
TOTAL	17	882.566162			

C.V. = 13.988%

### TABLA DE MEDIAS

TRATAMIENTO	MEDIA
2	23.0399 A
1	14.8633 B
5	7.1133 C
6	5.7466 C
4	4.4100 C
3	3.9466 C

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.01

DMS = 3.5668



Cuadro A.8 Análisis de varianza y comparación de medias por diferencia mínima significativa de la potencia que demandan los implementos

## TABLA DE DATOS

VARIABLE: POTENCIA(kW)

### BLOQUES

TRATA	1	2	3
1	23.9700	22.6000	23.3900
2	31.5800	28.1400	32.7100
3	11.7900	9.7400	15.2600
4	14.4700	10.5600	12.3800
5	13.7100	23.7200	12.1000
6	12.8200	15.9600	14.3600

### ANALISIS DE VARIANZA

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	5	812.103027	162.420609	13.6275	0.001
BLOQUES	2	0.521973	0.260986	0.0219	0.979
ERROR	10	119.185547	11.918554		
TOTAL	17	931.810547			

C.V. = 18.873%

### TABLA DE MEDIAS

TRATAMIENTO	MEDIA
2	30.8099 A
1	23.3200 AB
5	16.5100 BC
6	14.3800 C
4	12.4700 C
3	12.2633 C

NIVEL DE SIGNIFICANCIA =0.01

DMS = 8.9328

Cuadro A.9 Análisis de varianza y comparación de medias por diferencia mínima significativa del índice energético

### TABLA DE DATOS

VARIABLE: INDICE ENERGÉTICO (ml/m<sup>3</sup>)

B L O Q U E S			
TRATA	1	2	3
1	11.6200	13.5800	14.4200
2	6.4800	7.9000	12.7800
3	8.4100	4.7600	9.7900
4	7.8900	7.4400	8.6300
5	6.2600	5.6500	5.5000
6	9.8900	8.6700	9.3200

### ANALISIS DE VARIANZA

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	5	94.410400	18.882080	6.8489	0.005
BLOQUES	2	13.951050	6.975525	2.5302	0.128
ERROR	10	27.569458	2.756946		
TOTAL	17	135.930908			

C.V. = 18.766%

### TABLA DE MEDIAS

TRATAMIENTO	MEDIA
1	13.2966 A
6	9.2933 AB
2	9.0533 AB
4	7.9866 B
3	7.6533 B
5	5.8033 B

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.01

DMS = 4.2962

Cuadro A.10 Análisis de varianza y comparación de medias por diferencia mínima significativa del esfuerzo unitario

### TABLA DE DATOS

VARIABLE: ESFUERZO-UNITARIO (kPa)

BLOQUES			
TRATA	1	2	3
1	132.3600	131.5700	165.8900
2	85.4600	66.800	167.7600
3	12.9200	9.1400	21.700
4	16.2000	9.9200	12.6800
5	19.0300.	18.8900	18.4300
6	26.6500	23.8300	30.1800

### ANALISIS DE VARIANZA

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	5	47877.929688	9575.585938	21.8183	0.000
BLOQUES	2	2273.562500	1136.781250	2.5902	0.123
ERROR	10	4388.789063	438.878906		
TOTAL	17	54540.281250			

C.V. = 38.899%

### TABLA DE MEDIAS

TRATAMIENTO	MEDIA
1	143.2700 A
2	106.6700 A
6	26.8800 B
5	18.7800 B
3	14.5800 B
4	12.9300 B

NIVEL DE SIGNIFICANCIA =0.01

DMS = 54.2056

Cuadro A.11 Análisis de varianza y comparación de medias por diferencia mínima significativa de la rugosidad del suelo

## TABLA DE DATOS

VARIABLE: RUGOSIDAD (D.E. mm)

### BLOQUES

TRATA	1	2	3
1	3.8600	4.8400	5.1600
2	4.6800	3.5700	5.3400
3	2.2100	3.1300	3.2000
4	3.1600	2.4600	2.9700
5	3.6200	3.2200	3.6000
6	3.2600	2.4000	3.1300

### ANALISIS DE VARIANZA

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	5	7.553024	1.510605	4.9115	0.016
BLOQUES	2	0.272720	0.136360	0.4434	0.658
ERROR	10	3.075668	0.307567		
TOTAL	17	10.901413			

C.V. = 16.150%

### TABLA DE MEDIAS

TRATAMIENTO	MEDIA
1	4.6200 A
2	3.8633 AB
5	3.4800 AB
6	2.9300 B
4	2.8633 B
3	2.8466 B

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.01

DMS = 1.4348

Cuadro A.12 Análisis de varianza y comparación de medias por diferencia mínima significativa del tamaño de agregados

## TABLA DE DATOS

VARIABLE: AGREGADOS (mm)

### BLOQUES

TRATA	1	2	3
1	16.7800	19.6700	23.4800
2	74.3000	28.7600	56.6800
3	21.3100	10.2700	10.2200
4	10.6300	7.7200	8.7500
5	10.1900	11.8700	10.3700
6	19.3100	13.8200	15.8600

### ANALISIS DE VARIANZA

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	5	4075.473145	815.094604	9.3138	0.002
BLOQUES	2	305.144531	152.572266	1.7434	0.223
ERROR	10	875.149414	87.514938		
TOTAL	17	5255.767090			

C.V. = 45.512%

### TABLA DE MEDIAS

TRATAMIENTO	MEDIA
2	53.2466 A
1	19.9766 B
6	16.3300 B
3	13.9333 B
5	10.8100 B
4	9.0333 B

NIVEL DE SIGNIFICANCIA =0.01

DMS = 24.2057

Cuadro A.13 Análisis de varianza y comparación de medias por diferencia mínima significativa de la reducción de densidad del suelo

## TABLA DE DATOS

VARIABLE: REDUCCION DE DENSIDAD (%)

### BLOQUES

TRATA	1	2	3
1	-10.3100	-9.4600	-13.5700
2	-16.1100	-14.6300	-23.9400
3	-18.1000	-3.1600	-0.7900
4	-35.8100	-.07500	-24.5700
5	6.3100	25.2300	15.3200
6	-27.9400	-25.7400	-31.6200

### ANALISIS DE VARIANZA

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	5	3490.555176	698.111023	11.5623	0.001
BLOQUES	2	471.151367	235.575684	3.9118	0.055
ERROR	10	602.220703	60.222069		
TOTAL	17	4563.927246			

C.V. = -66.631%

### TABLA DE MEDIAS

TRATAMIENTO	MEDIA
5	15.6200 A
3	-7.3500 B
1	-11.1133 B
2	-18.2266 BC
4	-20.3766 BC
6	-28.4333 C

NIVEL DE SIGNIFICANCIA =0.05

DMS = 14.117