



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Determinación de la Calidad de Trabajo de un Arado  
Rotatorio en Base a la Variación de la  
Humedad del Suelo

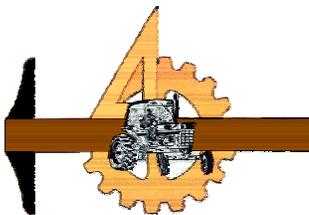
Por:

Juan Carlos Méndez Montoya

TESIS

**Presentada como requisito parcial para  
obtener el título de:**

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.  
Junio de 2005

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

Determinación de la calidad de trabajo de un arado rotatorio  
en base a la variación de la humedad del suelo

Por:

**Juan Carlos Méndez Montoya**

T E S I S

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

**INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA**

Aprobada por el comité de tesis

Asesor Principal

---

Dr. Martín Cadena Zapata

Sinodal

Sinodal

---

M.C. Tomás Gaytan Muñiz

---

Ing. B. Elizabeth de la Peña Casas

Coordinador de la División de Ingeniería

---

Dr. Salvador Muñoz Castro

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México  
Junio de 2005

## AGRADECIMIENTOS

*Agradezco a ti Señor por brindarme en la vida salud, amor, felicidad, amistad y el cariño de una familia maravillosa a quienes le debe toda la vida, te doy gracias Señor por darme sabiduría en mis decisiones y pensamientos, y por haber logrado tanto en la vida esperando que me des la oportunidad de seguir luchando por lo mejor.*

*Al COECYT por darme la ayuda económica para solventar los gastos a lo largo de esta investigación.*

*A mi Alma Terra Mater, la Universidad que me abrigó a lo largo de mi carrera, quien a sido mi segunda casa y luchare por dejar el nombre de la Universidad muy en alto.*

*Al Dr. Martín Cadena Zapata quien me asesoró en todo momento para realizar esta tesis, persona de gran experiencia que me brindo su confianza, tiempo pero sobre todo su amistad, es por eso que le agradezco de todo corazón Doctor mil gracias por todo.*

*Al MC. Tomás Gaytan Muñiz por su colaboración en la asesoría y revisión de la presenta tesis, y también gracias por brindarme su amistad y confianza en todo momento.*

*Al Ing. B. Elizabeth de la Peña Casas por la ayuda y sugerencia hechas en relación a tesis elaborada.*

*A todos mis profesores de la carrera de Ing. Mecánico Agrícola por brindarme un poco de su gran experiencia en especial al Ing. Héctor Uriel Serna Fernández por su gran ayuda y amistad, igualmente al Ing. Juan Arredondo Valdez, MC. Juan Antonio Guerrero Hernández,*

*A todos mis compañeros y amigos de la generación XCVIII en especial a: Armando, Nelson, Jimmy, Efrén, Mario, Gerardin, Ricardo, Francisco Pablo, Freddy, Alfredo, Manuel, Cesar Maltos, Luis Miguel, Fidel Ángel, Eduardo Lira, Jonathan, Salvador, Juan Francisco, Juan Sergio, Josué, Guillermo, Eric, Pedro, José Alejandro, gracias por darme la amistad y espero encontrarnos nuevamente algún momento, que Dios los bendiga de dicha y felicidad a sus familiares y a ustedes.*

## **DEDICATORIAS**

*A mi Madre:*

***Angélica Montoya Solano***

*Quien luchando por la vida hizo posible que culminara con una carrera, gracias madre por darme la vida, por tu cariño y comprensión te estaré agradecido por toda mi vida, Te amo mamá, que dios te bendiga.*

*A mi Padre:*

***Cándido Méndez Montoya***



*Quien en este momento no se encuentra a mi lado, se que donde este se sentirá orgulloso de mi, te extraño. Que dios te cuide.*

*A mis Hermanas:*

***Evelia Méndez Montoya***

***Libertad Méndez Montoya***

*Que a lo largo de la vida me han apoyado siempre con todo el cariño del mundo, son las mejores hermanas que dios me ha brindado les agradezco de corazón por el apoyo incondicional, la quiero con toda el alma. Que dios las bendiga.*

*A mis Sobrinos :*

***Cesar Antonio Jiménez Méndez***

***Johann Alexander Jiménez Méndez***

*Han llegado a formar parte de mi familia, llevando luz y alegría a nuestros corazones, que dios les brinde una vida llena de felicidad, salud y amor.*

*A mi abuela, Tíos y Tías:*

*Le doy gracias a Dios por darme una familia maravillosa que me ha ayudado cuando más lo he necesitado, a todos mi seres queridos les agradezco y brindo mi esfuerzo, que Dios los bendiga por siempre.*

*A mi novia:*

*A ti **Yesenia C. García Figueroa**, que formas parte de mi vida y que me has brindado tu cariño, amor, consejos y felicidad, gracias por lo que has hecho de mi, Te Amo y espero que estemos juntos por siempre y que todos nuestros sueños se hagan realidad.*

## INDICE DE CONTENIDO

	Pagina
<b>RESUMEN</b>	
<b>I. INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Objetivos de la Maquinaria Agrícola.....	5
2.2 Efectos de la labranza sobre las características físicas del suelo.....	6
2.3 Causas de la degradación física del suelo.....	7
2.4 Principales características físicas afectadas por la labranza.....	7
2.4.1 Densidad y Porosidad del suelo.....	7
2.4.2 Estructura del suelo.....	8
2.5 Parámetros principales para la evaluación del rotocultivador.....	9
2.5.1 Especificaciones de la máquina.....	9
2.5.2 Condiciones de la evaluación.....	9
2.5.3 Condiciones de campo.....	10
2.5.4 Evaluación de funcionamiento.....	10
2.6 Humedad del suelo.....	11
2.7 Contenido de humedad del suelo y parámetros característicos.....	12
2.8 Sistema de labranza reducida.....	13
2.8.1 La labranza reducida.....	13
2.8.1.1 Con rastra de disco.....	14
2.8.1.2 Con arado de cincel o cultivador de campo.....	15
2.8.1.3 Con rotocultor.....	15
2.9 Clasificación de estructuras conforme a su tamaño.....	16
2.10 Macroestructura y Microestructura del suelo.....	17

<b>III.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>18</b>
3.1	Caracterización del sitio de evaluación.....	18
3.1.1	Obtención de diferentes contenidos de humedad.....	18
3.1.2	Humedad del suelo.....	19
3.1.3	Determinación de la pendiente.....	20
3.1.4	Determinación de la densidad aparente.....	21
3.1.5	Medición del microrelieve antes del paso del implemento.....	22
3.2	Evaluación del rotocultivador en campo.....	23
3.2.1	Ancho de trabajo.....	23
3.2.2	Velocidad de trabajo.....	24
3.2.3	Tiempo total de trabajo.....	25
3.2.4	Tiempo en cabeceras.....	25
3.2.5	Consumo de combustible.....	25
3.2.6	Profundidad de trabajo.....	26
3.2.7	Medición del microrelieve después del paso del implemento.....	27
3.2.8	Capacidad teórica de campo.....	27
3.2.9	Capacidad efectiva de campo.....	27
3.2.10	Eficiencia de la labor.....	28
3.2.11	Índice de perturbación energética.....	28
3.2.12	Tamaño promedio de agregados.....	29
<b>IV</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>	<b>34</b>
4.1	Ubicación geográfica.....	34
4.2	Topografía del suelo.....	34
4.3	Características del suelo.....	34

4.4	Contenido de humedad.....	35
4.5	Densidad aparente.....	35
4.6	Medición del microrelieve.....	36
4.7	Resultados del desempeño de la configuración tractor-rotocultivador.....	39
4.8	Variables calculadas para cada parcela de evaluación.....	41
4.8.1	Índice de perturbación energética.....	42
4.8.2	Eficiencia de la labor.....	42
4.8.3	Tamaño promedio de agregados.....	43
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>46</b>
<b>VI.</b>	<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>49</b>
<b>VII.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>52</b>

## INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 3.1	Suelo con lámina de riego..... 19
Figura 3.2	Obtención del peso del suelo por medio de una balanza..... 20
Figura 3.3	Barrena extractor de núcleos y cilindros..... 21
Figura 3.4	Perfilómetro, utilizado para medir microrelieve..... 23
Figura 3.5	Punto de referencia para calcular ancho de trabajo..... 23
Figura 3.6	Medición de la velocidad de trabajo..... 24
Figura 3.7	Nivelación del deposito y medición del gasto de combustible..... 26
Figura 3.8	Determinación de la profundidad de trabajo con nivel de mano y regla milimétrica..... 26
Figura 3.9	Tamices utilizados para la determinación del tamaño de agregados..... 30
Figura 3.10	Tractor utilizado en la evaluación..... 32
Figura 3.11	Rotocultivador evaluado..... 33
Figura 4.1	Microrelieve de la parcela No. 2 antes del paso del implemento..... 38
Figura 4.2	Microrelieve de la parcela No. 2 después del paso del implemento..... 38
Figura 4.3	Gráfica de comportamiento de agregados de las parcelas evaluadas a la 2ª marcha..... 44
Figura 4.4	Grafica de comportamiento de agregados de las parcelas evaluadas a la 3ª marcha..... 45

## INDICE DE TABLAS

		Página
Tabla 4.1	Contenido de humedad de cada parcela.....	35
Tabla 4.2	Densidad aparente de cada parcela.....	36
Tabla 4.3	Resultados de rugosidad.....	37
Tabla 4.4	Desempeño de la configuración tractor-rotocultivador evaluado a 2ª marcha (3660 rpm)...	39
Tabla 4.5	Desempeño de la configuración tractor-rotocultivador evaluado a 3ª marcha (2500 rpm)....	40
Tabla 4.6	VARIABLES calculadas en base al desempeño tractor- rotocultivador evaluadas a 2ª marcha.....	41
Tabla 4.7	VARIABLES calculadas en base al desempeño tractor- rotocultivador evaluadas a 3ª marcha.....	41

## INDICE DE FORMULAS

	Página
Fórmula 1	Contenido de humedad..... 19
Fórmula 2	Pendiente..... 20
Fórmula 3	Densidad aparente..... 22
Fórmula 4	Velocidad..... 24
Fórmula 5	Capacidad teórica de campo..... 27
Fórmula 6	Capacidad efectiva de campo..... 27
Fórmula 7	Eficiencia de la labor..... 28
Fórmula 8	Índice de disturbación energética..... 28
Fórmula 9	Consumo de combustible por superficie..... 29
Fórmula 10	Volumen de suelo trabajado..... 29
Fórmula 11	Diámetro medio de las partículas según Smith y Sims (1990)..... 30
Formula 12	Diámetro medio de las partículas modificada ..... 31

## RESUMEN

En la actualidad existe poca información tanto la maquinaria pequeña que a empezado a adentrarse en nuestro país, como las características que debe de tener el suelo para una mejor labor y aprovechamiento, tanto suelo como maquinaria.

En la investigación realizada consistió en evaluar a el rotocultivador, uno de los implementos de maquinaria pequeña existentes, en diferentes tipos de humedades, con el fin de obtener datos que puedan servir como guía para aquellos pequeños y medianos productores que opten por este tipo de equipos.

Se determinaron parcelas con iguales dimensiones pero a diferentes porcentajes de humedad las cuales fueron de 25, 20, 15 % y una parcela con condiciones normales sin efectuarle ningún riego; esto se hizo con el fin de evaluar el desempeño del rotocultivador a estas diferentes características de suelo, dando como resultado diferentes tipos de agregados.

En la evaluación de campo se dividieron cada parcela en dos secciones, con la finalidad de evaluar a cada parcela a dos marchas diferentes, una de ellas fue la segunda marcha con 3660 rpm del motor y la otra fue a la tercera marcha con 2500 rpm del motor, obteniendo así dos secciones con diferentes tipos de agregados. Durante las evaluaciones se midieron los parámetros esenciales tales como: ancho de trabajo, profundidad de trabajo, capacidad teórica de campo, capacidad efectiva de campo, entre otras variables calculadas para conocer el desempeño en campo del implemento.

Con la información recolectada a lo largo de la investigación se tienen buena información para saber en que porcentaje de humedad es recomendable trabajar este tipo de implemento para obtener resultados satisfactorios, para evitar gastos innecesarios de labores y evitar la destrucción del suelo, logrando así producciones de buena calidad que llevan a ingresos excelentes.

## I. INTRODUCCION

La agricultura en México tiene una producción escasa y fluctuante frente a un consumo en constante crecimiento que obliga a producir más y mejor con base en cultivos intensivos cada vez más mecanizados, lo cual origina la degradación de los suelos, que tiene un efecto irreversible como es el caso de la erosión. Sin embargo, el avance tecnológico surge por la necesidad de producir más intensamente sobre una unidad de suelo; esto ha implicado la utilización más intensa de las labores agrícolas y abuso del uso de la maquinaria agrícola, con la creencia de que entre más se disgrega el suelo mejor es su preparación para la producción de cultivos (Navarro, 2005)

En México, se consideran como tareas prioritarias de políticas agropecuarias la modernización de la explotación agrícola y el mejoramiento del estatus social y económico de los habitantes de zonas rurales, a través del aumento de la productividad por el fomento de la mecanización de las labores agrícolas de los productores de pequeña escala. Sin embargo, existen varios factores, de acuerdo al artículo publicado por Hironoshi (2005), que inhiben la mecanización agrícola; los principales son los siguientes:

- 1) En México, 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 ende, no hay suficientes conocimientos científicos y técnicos acumulados sobre estos aspectos.
- 2) Los productores agrícolas se interesan en la introducción de las máquinas agrícolas, sin embargo, tienen que correr mucho riesgo al intentar adquirirlas ya que no existe un sistema confiable de aseguramiento de la calidad y de la funcionalidad de las mismas.

Por lo tanto, para promover la mecanización agrícola, es necesario establecer un sistema de pruebas y de evaluación de las máquinas agrícolas, para asegurar la calidad y la funcionalidad de estas máquinas que se usan en el campo.

Actualmente, el gobierno mexicano lleva a cabo el programa de desarrollo rural denominado “Alianza para el Campo”, en coordinación con los gobiernos estatales. Su objetivo es aumentar la productividad agrícola y mejorar el nivel social de los productores del campo. También existen los programas de apoyo al avío y a la mecanización agrícola. Por esta situación, el gobierno mexicano solicitó al gobierno de Japón una Cooperación Técnica Tipo Proyecto con el fin de introducir y fortalecer un sistema uniforme de pruebas y de evaluación de maquinaria agrícola por parte de una institución oficial (Hirinoshi, 2005).

Desde los inicios de la agricultura, el hombre ha recurrido a la tecnología de la mecanización de sus operaciones con la finalidad de: aumentar la productividad de su mano de obra, realizar las operaciones oportunamente, mejorar la calidad de las operaciones, así como aminorar la dificultad de realizarlas.

Actualmente existe una gran cantidad de tecnología de mecanización, sin embargo, debido a la falta de información técnica en cuanto a la potencia y eficiencia de los tractores y sus implementos, cuando un productor decide adquirir un equipo de trabajo en el campo la elección es por lo regular inadecuada ya que puede adquirir un equipo que sería de mayor capacidad para la cantidad de terreno que el posee, sobre todo conociendo que en México los predios de los productores son medianos y pequeños con un promedio de 10 ha o menos aproximadamente (anuario estadístico de Coahuila del 2003).

Es por este motivo que surge la necesidad de utilizar maquinaria pequeña, que sea eficiente en huertos familiares, cultivos bajo ambiente controlado, huertos de alta densidad (manzana, y otros frutales caducifolios), donde los cultivos se encuentran a una distancia reducida la cual le dificultaría el paso a un tractor de gran tamaño y a su implemento.

La maquinaria pequeña ha empezado a ser introducida de forma masiva al país y es necesario generar información acerca de en que condiciones técnicas se podrían utilizar eficientemente.

En este trabajo se plantea la evaluación de un arado rotatorio acoplado a un tractor pequeño (menor de 30 hp). Para determinar un rango de humedad donde el implemento labora eficientemente, y así poder generar información para los pequeños y medianos productores de huerto frutales caducifolios, como manzana y nogal en alta densidad en el sureste del estado de Coahuila, acerca de cual es el desempeño del implemento y recomendar si las cualidades del arado rotatorio son óptimas para el trabajo en campo que ellos necesitan. En consecuencia, con la información generada se podrá saber en que condiciones se tiene un gasto adecuado de energía, además un costo apropiado en las labores con este implemento, haciendo más competitivo los sistemas de producción.

## **1.2 Objetivo e Hipótesis**

**Objetivo General:**

Evaluar el arado rotatorio en diferentes contenidos de humedad para conocer su desempeño en campo.

**Objetivo Específico:**

Obtener información sobre los rangos de humedad para la obtención de la mejor calidad de labor con un arado rotatorio con referencia a la necesidad del cultivo.

**Hipótesis**

El estado de humedad óptima a la cual se obtiene la mejor eficiencia de trabajo del arado rotatorio es muy restringido y solo puede ser determinado en campo, variando el contenido de humedad.

## II. REVISION DE LITERATURA

### 2.1. Objetivos de la maquinaria agrícola

De acuerdo a Hunt (1983), el objetivo principal de una maquina para la preparación de la cama para siembra es la reducción de las partículas del suelo a un tamaño que:

- Establecerá, por medio de la compactación apropiada, un contacto estrecho alrededor de la semilla sembrada, para fomentar el movimiento de la humedad dentro de la semilla.
- Retenga suficiente porosidad del suelo para drenar el agua libre y permitir el movimiento a través del suelo.
- Deje una superficie escabrosa que se seque con rapidez provocando que no germinen semillas de maleza.

Otros objetivos son:

- Crear un estado nivelado, uniforme y libre de desperdicios para las operaciones subsecuentes de las máquinas.
- Matar las pequeñas malezas que puedan haber germinado a partir de las operaciones de labranza anteriores (Hunt, 1983)

Según Hunt 1983, debe de ser considerado el manejo de la fuente de potencia. Si bien las máquinas de campo necesitan potencia para realizar su trabajo, la fuente, el tipo y el mecanismo de la fuerza motriz carecieron de importancia mientras no interfirieron con su funcionamiento. No obstante, en muchas operaciones el costo de la potencia de las maquinas se aproxima al costo de su uso; por lo tanto, el manejo

eficiente de la potencia es sin discusión tan importante como el manejo eficiente de la misma.

Las metas principales del administrador de potencia agrícola son minimizar los costos de la fuerza motriz y al mismo tiempo maximizar las ganancias en las empresas agrícolas.

## **2.2. Efecto de la labranza sobre las características físicas del suelo**

Los sistemas de cultivo, que son definidos por el conjunto de los sistemas de labranza y de manejo de los cultivos y de sus residuos, tienen una influencia importante en las propiedades físicas del suelo. En gran parte, el tipo y la magnitud de esta influencia depende de la labranza del suelo.

La labranza del suelo es hecha con el propósito de alterar sus propiedades físicas y posibilitar a las plantas la expresión de todo su potencial. Las técnicas de labranza del suelo son utilizadas a fin de proporcionar una buena sementera y desarrollo de raíces, controlar malas hierbas, manejar los residuos de los cultivos, reducir la erosión, nivelar la superficie para el plantío, riego, drenaje, trabajos culturales y operaciones de cosecha e incorporar fertilizantes o pesticidas. La labranza incorrecta del suelo, causada por la falta de conocimiento de los objetivos y de las limitaciones de las técnicas de labranza, puede resultar negativa para el mismo. La labranza incorrecta del suelo es una de las causas de la erosión y de la degradación física del suelo (FAO, 2005)

La degradación física del suelo puede ser definida como la pérdida de la calidad de la estructura del suelo. Esa degradación estructural puede ser observada tanto en la superficie, con el surgimiento de finas costras, como bajo la capa arada, donde surgen capas compactadas. Con esa degradación, las tasas de infiltración de agua en el suelo se reducen, mientras las tasas de escorrentía y de erosión aumentan (FAO, 2005).

### **2.3. Causas de la degradación física del suelo**

Las principales causas de la degradación de las características físicas del suelo son (FAO, 2005).

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

➤ Excesiva labranza y/o labranza con humedad inadecuada: la labranza en exceso y superficial lleva a la rotura de los agregados, favoreciendo la formación de costras, escurrimiento y el transporte de partículas (erosión), la reducción de la rugosidad provocada por la labranza (FAO, 2005).

### **2.4. Principales características físicas afectadas por la labranza**

#### **2.4.1 Densidad y porosidad del suelo**

Los suelos poseen naturalmente diferentes densidades debido a variaciones de la textura, de porosidad y de contenido de materia orgánica. Brady (1974) cita que suelos arenosos poseen una densidad del suelo de 1.20 a 1.80 g/cm<sup>3</sup> y una porosidad de 35 a 50%, mientras que suelos arcillosos poseen una densidad de 1.00 a 1.60 g/cm<sup>3</sup> y una porosidad de 40 a 60%. Sin embargo la densidad y la porosidad del suelo son características que pueden variar en función del tipo y de la intensidad de labranza, siendo por eso buenos indicadores de lo adecuado de los sistemas de labranza del suelo, indicando la mayor o menor compactación que estos promueven.

Los valores adecuados de la densidad del suelo fueron definidos por Smith (1972), como aquellos que proporcionan la máxima disponibilidad de agua y por lo menos 10% de espacio de aire en un suelo sometido a una succión de 50 mb. Según esos autores, las densidades del suelo oscilan alrededor de 1.75 g/cm<sup>3</sup> para suelos de

textura arena franca,  $1.50 \text{ g/cm}^3$  para suelos franco arenosos,  $1.40 \text{ g/cm}^3$  para suelos franco limosos y  $1.20 \text{ g/cm}^3$  para franco arcillosos.

#### **2.4.2 Estructura del suelo**

El tamaño y la estabilidad de los agregados pueden ser indicativos de los efectos de los sistemas de labranza y de cultivo sobre la estructura del suelo. Suelos bien agregados proporcionan mayor retención de agua, adecuada aireación, fácil penetración de raíces y buena permeabilidad.

La distribución de los tamaños de los agregados es uno de los factores importantes en el desarrollo de los cultivos. Según Larson (1964), los agregados deben ser de tamaño reducido alrededor de las semillas y raíces de plantas nuevas, con la finalidad de proporcionar una adecuada humedad y un perfecto contacto entre el suelo, la semilla y las raíces. Sin embargo, los agregados no deben ser tan pequeños al punto de favorecer la formación de costras y capas compactadas. Para Kohnke (1968), el tamaño ideal de agregados está entre 0,50 y 2,00 mm de diámetro; agregados mayores restringen el volumen de suelo explorado por las raíces y agregados menores originan poros muy pequeños y no drenables por acción de la gravedad. La desagregación del suelo es causada por el movimiento intenso del suelo a causa de las prácticas de labranza, por la reducción del tenor de materia orgánica, por el intenso pisoteo del ganado y por el impacto de la gota de lluvia sobre la superficie desprotegida (FAO, 2005).

#### **2.5. Parámetros principales para la evaluación del rotocultivador**

Según los manuales de RNAM y del CENEMA, la labranza rotatoria también llamada de arados rotatorios o motocultivadores, ha llegado a ser muy populares en

los grandes países productores de arroz, a través de todo el mundo y específicamente en Asia, y principalmente se ha enfocado para productores de pequeñas superficies.

Las cuchillas rotatorias, sin embargo, no son convenientes para condiciones de suelo seco y duro y los costos de reemplazo del gusano de las cuchillas es muy alto. Las condiciones de un suelo inundado son necesarias para una eficiente operación de los motocultivadores.

### **2.5.1 Especificaciones de la maquina**

Previo a la evaluación, las especificaciones de la maquina, así como, la información recomendada debe de ser estrictamente revisada de acuerdo a la información establecida por el diseñador, y la capacidad de trabajo se tiene que confirmar y examinar. La maquina debe ser adquirida con toda la información técnica la cual consiste en: manual de operación y mantenimiento, lista de agencias o distribuidores, datos técnicos y lista de partes o refacciones (RNAM).

### **2.5.2 Condiciones de la evaluación**

El funcionamiento del motocultivador varia considerablemente de acuerdo al tipo y contenido de humedad en el suelo, maleza, residuos de cultivo y velocidad de transporte, por tanto las condiciones de evaluación tienen que estar claramente indicadas. Las condiciones de la prueba fueron definidas como se indica a continuación:

### **2.5.3 Condiciones de campo**

- a) Área y forma de la parcela de prueba.
- b) Tipo y características del tipo de suelo.

- c) Último cultivo de la parcela.
- d) Altura del rastrojo del último cultivo.
- e) Condición de la maleza (grado de ingestación).
- f) Contenido de humedad.

#### **2.5.4 Evaluación de funcionamiento**

El principal objetivo de la evaluación de funcionamiento es obtener datos fidedignos en la máquina como:

- capacidad de trabajo.
- calidad de trabajo.
- eficiencia de campo

Los parámetros a evaluar son:

- a) ancho de trabajo.
- b) Profundidad e trabajo.
- c) Velocidad de trabajo actual.
- d) Horas actuales de operación.
- e) Tiempo perdido en las cabeceras por vueltas.
- f) Tiempo perdido para ajustes de la máquina.
- g) Tiempo perdido por problemas y otros.
- h) Consumo de combustible.
- i) Grados de maleza enterrada y residuos de cultivo en el suelo.
- j) Pulverización de suelo.
- k) Maleza y residuos de cultivo enredada en la máquina.
- l) Adhesión del suelo en la máquina.
- m) Superficie labrada.
- n) Superficie.
- o) Porcentaje de patinaje.

p) Consumo de potencia.

Estos parámetros anteriormente mencionados fueron tomados a consideración por los manuales del CENEMA y RNAM.

## **2.6 Humedad del suelo**

La humedad del suelo depende en gran medida de las condiciones climáticas, de la cobertura vegetal y de las propiedades físicas del suelo, las cuales determinan la capacidad de almacenamiento de agua. El suelo además de ser un medio de soporte de las plantas, constituye uno de los factores que afecta de manera importante al desarrollo y producción de muchos cultivos. Esto se debe fundamentalmente al arreglo, al tamaño y distribución espacial de partículas y agregados, los cuales definen en gran parte a la proporción de macro y microporos responsables de la aireación, infiltración de agua, retención de humedad y flujo de calor en el suelo (Jara, 2005).

El contenido de humedad del suelo en el momento de la labranza es un factor que determina la intensidad de desagregación del mismo. El efecto perjudicial del peso de la maquinaria agrícola y la labranza excesiva del suelo, bajo condiciones de humedad desfavorables, tiende a ser acumulativo, intensificándose con la secuencia de labranzas anuales (FAO, 2005).

La desagregación del suelo puede ser reducida por su menor labranza, por la rotación de cultivos y por la protección de la superficie del suelo con residuos de cultivos. Así, las pasturas facilitarán una mejor agregación del suelo, seguida por el plantío directo y por el cultivo convencional (FAO, 2005).

## **2.7 Contenido de humedad en el suelo y parámetros característicos**

De acuerdo a Llamas (1983) las medidas de contenido de humedad en un suelo

puede expresarse en proporción de peso de agua, respecto al peso total de la muestra seca, o en proporción de volúmenes ocupados en el terreno por el agua y los sólidos.

El material sólido que compone un suelo tiene una densidad real del orden de  $2.5 \text{ gr/cm}^3$ . Pero el volumen que realmente ocupa en el terreno es mayor y surge el concepto de densidad aparente o relación entre el peso del volumen que ocupa en el terreno una muestra seca y el peso del mismo volumen del agua.

Algunos valores característicos de contenido de humedad en un suelo, se citan a continuación:

- Grado de humedad: es el porcentaje de peso del agua contenida en la muestra, antes de disecarla, respecto al peso de la muestra disecada a  $105^\circ\text{C}$ .
- Capacidad de Campo: es el grado de humedad de una muestra que ha perdido su agua gravífica.
- Humedad Equivalente: es el grado de humedad determinado en laboratorio de una muestra que se ha sometido a una fuerza centrífuga 1000 veces superior a la de la gravedad durante un tiempo de 40 minutos.
- Punto de Marchites: es el grado de humedad de un suelo que rodea la zona radicular de la vegetación.
- Agua utilizada por las plantas: las plantas para vivir precisan que en su zona radicular exista oxígeno libre, por eso, esta zona no debe estar permanentemente saturada de agua.
- Grado de Saturación: es el porcentaje de volumen de agua, respecto al volumen de huecos en una porción de suelo en condiciones naturales.

- Capacidad de retención específica: es el porcentaje de volumen de agua que queda en el terreno después de que se ha desalojado el agua gravífica, respecto al volumen total de una porción del suelo (Llamas, 1983).

## **2.8 Sistemas de labranza reducida**

Se debe tener presente que los trabajos de labranza son los que mayor demanda energética solicitan al tractor, y en consecuencia son los que mayor gasto en combustible generan. De este modo, el tipo de labranza realizado y el número de labores determinarán la ecuación final sobre el gasto de combustible (FAO, 2005).

### **2.8.1 La labranza reducida**

Los términos labranza reducida se refieren a los sistemas de labranza donde hay menor frecuencia o menor intensidad de labranza en comparación con el sistema convencional. Esta definición es bastante amplia y por lo tanto los sistemas de labranza que varían en los implementos, frecuencia, e intensidad pueden ser considerados como la labranza reducida. Los tipos de implementos y el número de pasadas también varía; la consecuencia es que en algunos sistemas quedan muy pocos rastrojos y en otros más de 30%. Por ello, algunos sistemas de labranza reducida son clasificados como labranza conservacionista mientras que otros no. En general, los sistemas de labranza reducida no ocupan el arado de vertedera ni el de discos (FAO, 2005)

Debido a la gran variabilidad de los sistemas de labranza reducida es difícil generalizar sobre sus ventajas y limitaciones. Sin embargo todos los sistemas tienen la ventaja de reducir el consumo de combustible, el tiempo de trabajo y los equipos requeridos en comparación con la labranza convencional. Por lo tanto los sistemas de labranza reducida son más flexibles que los sistemas convencionales. Debido a la roturación del suelo las condiciones de germinación de las semillas son mejores que en labranza

cero; además hay mayor flexibilidad en el control de malezas, por medio de cultivaciones y/o herbicidas, en comparación con labranza cero.

A continuación se discuten brevemente los tres sistemas de labranza reducida:

#### **2.8.1.1 Con rastra de discos**

En este sistema se hacen una o dos pasadas de rastra de discos, luego se siembra normalmente con una sembradora convencional. Las ventajas están en el ahorro en combustible y tiempo, y en la formación de condiciones favorables para la germinación.

Las limitaciones son que muchas veces queda una baja cobertura de rastrojos aunque eso depende del ángulo de los discos y el número de pasadas. Cuanto mayor es el ángulo de los discos, mayor será la remoción del suelo y menor la cobertura de rastrojos; de esta manera los suelos quedan susceptibles al encostramiento. En suelos susceptibles a la compactación, se hacen varias pasadas con la rastra de discos a la misma profundidad (normalmente 10-15 cm) cada año; esto resultará en la formación de un piso de arado. La labranza poco profunda dificulta el control mecánico de las malezas y entonces es necesario confiar más en el uso de herbicidas (FAO, 2005)

#### **2.8.1.2 Con arado de cincel o cultivador de campo**

Este sistema consiste en dos pasadas del arado cincel o del cultivador de campo y luego la siembra. Normalmente una pasada con el arado cincel no afloja todo el terreno. Las ventajas son las mismas mencionadas anteriormente, pero además aumentará la infiltración de la lluvia especialmente en suelos susceptibles a la compactación y el endurecimiento.

Normalmente con este sistema queda una cobertura de rastrojos mayor del 30%, por lo que el sistema es considerado conservacionista y da protección al suelo contra la erosión (FAO, 2005)

Las limitaciones son que las condiciones físicas del suelo y las ondulaciones superficiales dificultan la siembra y por lo tanto la germinación. También existe una cierta dificultad para incorporar uniformemente los herbicidas pre-siembra.

### **2.8.1.3 Con rotocultor**

Este sistema tiene las mismas ventajas de los sistemas citados arriba. La mayor limitación es que el rotocultor tiende a pulverizar los suelos y dejar una baja cobertura de rastrojo sobre el mismo, el que queda así en condiciones susceptibles al encostramiento. Además, se puede provocar la formación de un piso de arado con el paso de tiempo.

## **2.9 Clasificación de estructuras conforme a su tamaño**

Según Nikiforoff (1949) dice que la estructura del suelo no afecta directamente a las plantas sino a través de uno o más de los factores siguientes: aireación, compactación, relaciones de agua y temperatura. Hay cambios estacionales de estructura como consecuencia de las prácticas de laboreo del suelo, crecimiento de las plantas, irrigación, lluvia y prácticas de manejo.

Si el suelo tiene agregados estables de tamaño moderado, diámetro de 1 a 5 mm, tendrá porosidad para una adecuada aireación si las condiciones de drenaje son

buenas. En suelos con mal drenaje los poros están llenos de agua por lo que el suelo tendrá aireación inadecuada.

En suelos compuestos por agregados estables, de unos 2 a 6 mm de diámetro, las raíces penetran más fácilmente y con mayor rapidez. Si los suelos son muy compactos las raíces no penetran.

Nikiforoff (1941) sugiere que las estructuras pueden clasificarse con base en su tamaño o clase en:

<b>Textura</b>	<b>Tamaño (mm)</b>	
Muy gruesa	10	Exceptuando el tipo de bloques que es de 5 cm.
Gruesa	5 a 10	Exceptuando el tipo de bloques que es de 2 a 5 cm
Mediana	2 a 5	Exceptuando el tipo de bloques que es de 1 a 2 cm
Fina	1 a 2	Exceptuando el tipo de bloques que es de 5 a 10 mm
Muy fina	1	Exceptuando el tipo de bloques que es de 1 a 5 mm

## **2.10 Macroestructura y microestructura del suelo**

Elizalde (2004), dice que la formación de agregados de los componentes sólidos individuales (orgánicos e inorgánicos) es uno de los procesos pedogenéticos fundamentales. En los suelos, la macroestructura se refiere a la agregación en forma de terrones mayores a 2 mm, en los cuales es posible reconocer macroscópicamente la forma, el grado de desarrollo y el tamaño. La microestructura, corresponde a los agregados con diámetros inferiores a 2 mm (premicroagregados, 2-50  $\mu\text{m}$ ;

microagregados, 50-250  $\mu\text{m}$  y macroagregados, 250-2000  $\mu\text{m}$ ). Ambas, macroestructura y microestructura, son el resultado de los procesos de pedogénesis y determinan características específicas en la dinámica de los fluidos del suelo.

En cuanto al proceso de formación de la estructura de los suelos, a partir de materiales sin tal tipo de estructura, algunos investigadores como Jacks (1963), Tisdall y Oades (1982), Dexter (1988), Quirk (1994), sostienen que la microestructuración y la macroestructuración son dos procesos distintos pero interrelacionados. En el primero dominan las reacciones químicas con cementación de partículas elementales por formación de enlaces químicos. En el segundo, son más importantes los enlaces físicos. Este se considera como un proceso fundamentalmente biótico que implica la toma de forma y orientación de los agregados dentro de los horizontes de los pedones (Elizalde, 2004).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Caracterización del sitio de evaluación**

##### **3.1.1 Obtención de diferentes contenidos de humedad**

Como se menciona en el objetivo, la evaluación del implemento se realizó a diferentes contenidos de humedad, para obtener los mismos, se tomo como referencia el límite inferior de plasticidad (LIP) del suelo utilizado y previamente determinado por Ríos (2004) a partir de LIP (25 %) se decidió trabajar en suelo con menores cantidades de humedad a diferencias de 5 % entre ellos. Después de trazar las parcelas que tuvieron una dimensión de 8 metros de ancho y 13 metros de largo, la cual cada parcela se dividió en dos para trabajar a diferentes velocidades de rotación del implemento, fue necesario aplicar riego en las parcelas con el fin de alcanzar las humedades. Tomando en cuenta que el terreno es de característica irregular, se decidió inundar las parcelas para tener un riego más uniforme, de esta forma se obtuvo un suelo completamente saturado como se muestra en la Figura 3.1. Posteriormente se llevó acabo un seguimiento de cada parcela para tener referencia a que porcentaje de humedad se encontraban y saber cuando realizar la evaluación del implemento; el porcentaje se determinó de la forma tradicional el cual se explica en el punto 3.1.2.



Fig.3.1 Suelo con lámina de riego

### 3.1.2 Humedad del suelo

Se tomaron 5 muestras aleatoriamente sobre la superficie de la parcela a evaluar, a profundidades de 5, 10 y 15 centímetros en el perfil del suelo, se llevaron a laboratorio para pesar en una balanza, como se muestra en la figura 3.2, antes de meterlos a la estufa para conocer el peso de suelo húmedo ( $P_{sh}$ ), teniendo el dato de  $P_{sh}$ , se metieron a la estufa durante 24 horas a una temperatura constante de 110 °C, cuando se llegó al tiempo requerido, se pesaron nuevamente, esto se hizo con el fin de conocer el peso del suelo seco ( $P_{ss}$ ), teniendo estos datos, se sustituyeron en la ecuación (1) para obtener el porcentaje de humedad.

$$P_w = \left[ \frac{P_{sh} - P_{ss}}{P_{ss}} \right] * 100 \quad (1)$$

Donde:

$P_w$  = Contenido de humedad (%).

$P_{sh}$  = Peso de suelo húmedo (gr).

$P_{ss}$  = Peso de suelo seco (gr).



Fig. 3.2 Obtención del peso del suelo por medio de una balanza

### 3.1.3 Determinación de la pendiente

Se colocaron estacas en los extremos de cada parcela, tomando el punto mas alto y el mas bajo, de esta forma se tomó el desnivel del terreno con la ayuda del nivel de manguera, y por diferencia de alturas se obtuvo la pendiente de las parcelas, según la ecuación (2)

$$\%P = \left[ \frac{h_1 - h_0}{d} \right] * 100 \quad (2)$$

Donde

$\%P$  = Porcentaje de pendiente

$h_1$  = Altura máxima

$h_2$  = Altura mínima

$d$  = Distancia

### 3.1.4 Determinación de la Densidad Aparente

El volumen considerado incluye las partículas sólidas del suelo y el espacio poroso. Se mide en g/ml o g/cm<sup>3</sup> en el sistema métrico. La densidad aparente es asimismo un dato muy valioso, se emplea para la detección de capas endurecidas en suelos con densidades mayores de 2.0 g/ml, las cuales provocan problemas de manejo en la preparación del suelo, así como en desarrollo radicular; presencia de amorfos, como el alofano y densidades menores a 0.85 g/ml comúnmente está relacionado a problemas de fertilidad. Para determinar esta variable, se utiliza el método del cilindro; el cual consiste en obtener la masa de un cilindro de volumen conocido.



Fig. 3.3. Barrena extractor de núcleos y cilindros

Se obtienen muestras de suelo con el cilindro, el cual se entierra con firmeza en el suelo cuidando de no disturbar la muestra. El volumen debe ser lo más exacto posible para lo cual se enrasa el cilindro. Después se secan en el horno de secado a temperatura de 105 grados centígrados por 24 horas, posteriormente se pesan en una balanza analítica (Fig. 3.4) para conocer el peso del suelo seco. Aplicando la *ecuación (3)* se obtiene la densidad aparente.

$$Dm = \frac{M}{V} \quad (3)$$

Donde:

$Dm$  = Densidad Aparente (gr / cm<sup>3</sup>)

$M$  = Masa del suelo seco (gr)

$V$  = Volumen (cm<sup>3</sup>)

### 3.1.5 Medición del microrelieve antes del paso del implemento

Para recabar esta información se utilizó un instrumento llamado perfilómetro este es una estructura metálica rectangular de 2 metros de ancho por 4 metros de largo, cuenta con espaciamientos de 20 centímetros a lo largo de la estructura y 10 centímetros por cada varilla, que es donde se realizaran las mediciones por medio del perfil tubular de aluminio y las varillas graduadas en centímetros.

Se realizó colocando el perfilómetro en el punto determinado, nivelándolo en forma horizontal y vertical. Se registra desde el marco hasta la superficie del suelo a intervalos cada diez centímetros. Cada bloque de los puntos que se midan debe tener una referencia fuera de la parcela de prueba registrándose la distancia y el nivel (con el nivel de manguera), con la finalidad de poder realizar después de las labores con implemento otra medición en el mismo sitio y poder comparar el microrelieve del suelo trabajado antes y después de la prueba.



Fig. 3.4. Perfilómetro, utilizado para medir microrelieve del suelo.

## 3.2 Evaluación del rotocultor en campo

### 3.2.1 Ancho de trabajo

Se colocó un punto de referencia (Estaca) fuera de la parcela, y al paso del implemento se midió sucesivamente el ancho de corte en varias repeticiones conforme el implemento pasaba, esta práctica se desarrollo a lo largo de la línea de trabajo del tractor con el implemento.



Fig. 3.5. punto de referencia para calcular el ancho de trabajo

### 3.2.2 Velocidad de trabajo

Se colocaron estacas a una distancia conocida, en esta evaluación fue de 8 metros a lo largo de la parcela, al momento del paso del implemento se tomó lectura

con un cronómetro el tiempo que le toma el tractor e implemento pasar la distancia. Como se muestra en la figura siguiente:

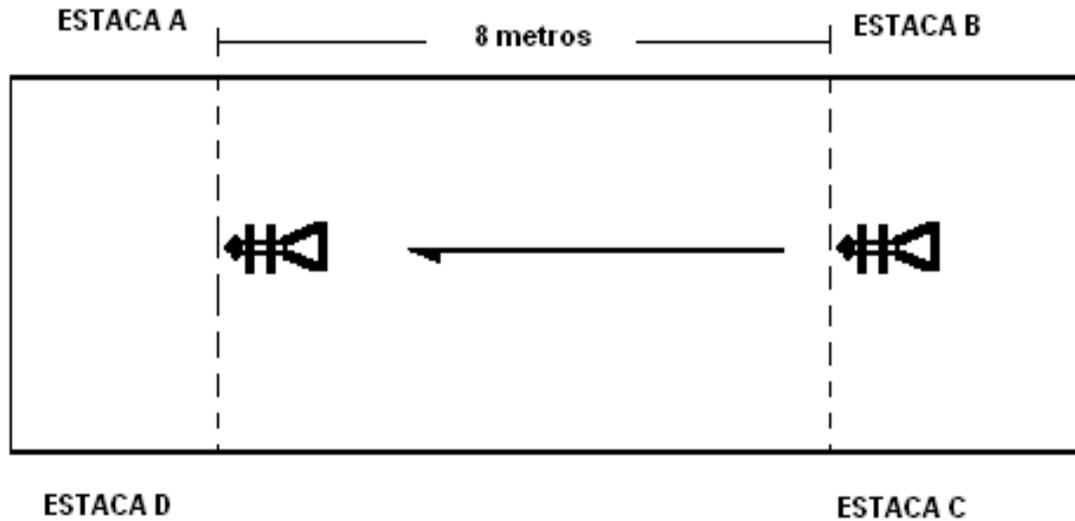


Fig. 3.6. Medición de la velocidad de trabajo

La ecuación utilizada para calcular la velocidad de trabajo fue la siguiente:

$$V = \left( \frac{d}{t} \right) * 3.6 \quad (4)$$

Donde:

$V$  = Velocidad (Km/hr).

$d$  = Distancia recorrida en (m).

$t$  = Tiempo en recorrer esa distancia (seg).

3.6 = constante de conversión.

### 3.2.3 Tiempo total de trabajo

El tiempo total de trabajo se determina con un cronómetro desde el momento que el tractor pone en marcha el implemento dentro de la parcela, hasta el momento en que el tractor y el implemento terminan el área total de trabajo.

### **3.2.4 Tiempo en cabeceras**

El tiempo en cabeceras se determina cuando el tractor levanta el implemento al final de la línea de trabajo y nuevamente baja el implemento para regresar a laborar dentro de la parcela, en pocas palabras se toma el tiempo que tarda en virar fuera de la parcela y regresar a el área de trabajo.

### **3.2.5 Consumo de combustible**

El consumo de combustible se obtuvo de la siguiente manera:  
Como primer paso se realizó la nivelación del la parte donde se encontraba el depósito de combustible, esto se logró poniendo el tractor en una parte plana y con la ayuda de piedras, un gato hidráulico y un nivel de burbuja manual se logró nivelar perfectamente. Posteriormente se identificó una marca que se encuentra en el interior del depósito para llenar el tanque hasta llegar a la marca deseada antes de iniciar la labor. Terminando la evaluación el tractor se colocó nuevamente en un lugar plano para la nivelación del depósito y con la ayuda de una probeta graduada se rellenó hasta nuevamente llegar a la marca identificada, teniendo así la cantidad exacta de combustible gastado en la labor. Se recomienda instalar una probeta conectada al motor del tractor para tener una medición más precisa.





Fig. 3.7 Nivelación del depósito del tractor y medición del gasto de combustible

### 3.2.6 Profundidad de trabajo

En este tipo de implemento, la profundidad se tomó al finalizar la evaluación en un extremo de la parcela, colocando el implemento y poniendo en marcha el tractor se logró tener la profundidad de trabajo del implemento. Estos datos se obtuvieron en cada una de las parcelas evaluadas.



Fig. 3.8 Determinación de la profundidad de trabajo con nivel de mano regla milimétrica

### 3.2.7 Medición del microrelieve después del paso del implemento

Una vez realizada la labor por el tractor-implemento, y después de haber tomado los datos necesarios se procedió a instalar nuevamente el perfilómetro, aparato con el cual se mide el microrelieve, se instaló con la ayuda de las referencias especificadas con anterioridad en el mismo punto donde se tomó la primera lectura

para tener el mismo nivel y los mismos puntos anteriormente tomados, siguiendo los pasos descritos en el punto 3.1.4.

### 3.2.8 Capacidad Teórica de Campo (CTC)

Usando los valores medios de ancho de trabajo y velocidad de trabajo, la capacidad teórica de campo fue calculada por medio de la siguiente ecuación:

$$CTC = \left[ \frac{(APT) * (VPT)}{10} \right] \quad (5)$$

Donde:

$CTC$  = Capacidad Teórica de Campo (ha/hr).

$APT$  = Ancho promedio de trabajo (m).

$VPT$  = Velocidad promedio de trabajo (Km).

### 3.2.9 Capacidad Efectiva de Campo (CEC)

Para calcular la capacidad efectiva de campo se realizó con la siguiente expresión:

$$CEC = \left( \frac{X}{Y} \right) \quad (6)$$

Donde:

$CEC$  = Capacidad efectiva de campo (ha/hr).

$X$  = Área total de trabajo (ha).

$Y$  = Tiempo real de trabajo (hr).

### 3.2.10 Eficiencia de la labor (%).

La eficiencia de la labor del rotocultivador fue calculada con la ecuación siguiente:

$$E = \left( \frac{CEC}{CTC} \right) * 100 \quad (7)$$

Donde:

$E$  = Eficiencia de la labor (%).

$CEC$  = Capacidad efectiva de campo (ha/hr).

$CTC$  = Capacidad teórica de campo (ha/hr).

### 3.2.11 Índice de disturbación energética

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

El cálculo de esta variable se calcula por la siguiente ecuación:

$$IDE = \left( \frac{CCS}{V} \right) * 100 \quad (8)$$

Donde:

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

$CCS$  = Consumo de combustible por superficie (l/ha).

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

Para obtener la variables de la ecuación (8) se resuelven las siguientes ecuaciones :

$$CCS = \left( \frac{GC}{CTC} \right) \quad (9)$$

Donde:

$CCS$  = Consumo de combustible por superficie (l/ha).

$GC$  = Gasto de combustible (l/hr).

$CTC$  = Capacidad teórica de campo (ha/hr).

$$V = 10000 * P \quad (10)$$

Donde:

$V$  = Volumen de suelo trabajado ( $m^3/ha$ ).

10000 = Equivalencia de una hectárea en metros cuadrados.

$P$  = Profundidad de trabajo (m).

### 3.2.12 Tamaño promedio de agregados

Cuando se terminaron las labores por cada parcela, se dejó que el suelo se secase por unos días para poder tamizar y que los agregados no se rompiesen.

Cuando los agregados estuvieron secos, se prosiguió a marcar con un flexómetro una superficie de cuarenta centímetros cuadrados, tomando 8 muestras por cada velocidad de trabajo del rotocultor y obteniendo 16 muestras por parcela, todo el suelo se recogió hasta la profundidad de trabajo del implemento.

Las muestras recogidas en el campo se hicieron pasar por una columna de tamices colocados de mayor a menor tamaño de abertura, y el suelo retenido en cada tamiz fue pesado.



Fig. 3.9 Tamices utilizados para la determinación del tamaño de agregados.

Teniendo los pesos de cada muestra, el tamaño de agregados se calculó por medio de la siguiente ecuación propuesta por la FAO 1993

Diámetro promedio de terrones del suelo

$$mm = (1/W)(5A + 15B + 25C + 35D + 45E + NF) \quad (11)$$

Debido que no se contaba con los tamices necesarios para cumplir con dicha ecuación, se decidió modificar quedando de la siguiente manera:

(11)A

$$D = \left[ \left( \frac{1}{W} \right) ( 44.45 A + 30.16 B + 11.90 C + 5.64 D + 2.52 E + NF ) \right]$$

Donde:

D = Diámetro promedio de los agregados (mm).

W = Masa total de la muestra (Kg).

N = Constante que tomará el valor de 1mm.

A = Peso de los agregados con diámetro  $> 44.45$  mm.

B = Peso de los agregados con diámetro  $>30.16 < 44.45$  mm.

C = Peso de los agregados con diámetro  $>11.90 < 30.16$  mm.

D = Peso de los agregados con diámetro  $>5.64 < 11.90$  mm.

E = Peso de los agregados con diámetro  $>2.52 < 5.64$  mm.

F = Peso de los agregados con diámetro  $< 2.52$  mm; en este caso se tomó el peso del suelo que cruzo todos los tamices sin quedar atrapado en ellos (peso de suelo fino).

### **Equipo utilizado en la evaluación**



Fig. 3.10 Tractor

Características técnicas

**Equipo:** Tractor Diesel

**Marca:** Víctor

**Modelo:** 300

**HP:** < 30

**Peso:** 1000 Kg.

**Dirección:** Articulado

**Velocidades:** 4 (L & H)

**RPM:** >3660



Fig. 3.11 Rotocultivador

Características técnicas

**Implemento:** Rotocultivador

**Marca :** Agrator

**Modelo:** AV-1000

**Transmisión lateral:** por cadena

**Control de profundidad:** por patines

**Categoría de enganche:** Integral

**Conexión:** por flecha cardan

**Ancho de trabajo teórico:** 1 metro

**Peso :** 160 Kg.

**Número de azadas:** 6 por disco Ø 410 mm.

**TF a 540 rpm = 236 rpm de rotor.**

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES**

### **4.1. Ubicación del sitio experimental**

La evaluación del implemento se llevó a cabo en los campos experimentales del Bajío de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” que se encuentra ubicada en la exhacienda de Buenavista, localizada a 7 kilómetros al sur de esta ciudad capital del estado de Coahuila, México, teniendo como coordenadas geográficas: 100°59' 57" de longitud oeste, 25°23'42" de latitud norte y una altitud de 1743 msnm.

El estado cuenta con un clima templado con veranos cálidos y lluvias intermedias en verano e invierno.

### **4.2 Topografía del suelo**

La pendiente del terreno se determinó por diferencia de alturas explicado en el punto 3.1.2 teniendo como resultado que las cuatro parcelas mostraron pendientes parecidas menores a 1%.

### **4.3. Características del suelo**

El suelo donde se elaboraron las pruebas (Fig. 3.13) tiene un contenido de 32.5 % de arena, 33.4 % de Limo y 34.1 % de Arcilla obteniendo así, de acuerdo con el triángulo de texturas del USDA, corresponde a un suelo de textura Migajón Arcilloso por lo que se considera como un suelo medianamente rico.

#### 4.4. Contenido de Humedad

El contenido de humedad de cada parcela se tomaron en el momento antes de empezar las evaluaciones , con el fin de conocer la humedad exacta en la cual se iba a trabajar, teniendo como resultado promedio que la Parcela I se encontraba a una humedad de 24.6 %, la Parcela II a una humedad de 15.1 %, la Parcela III a una humedad de 21.5 % y la Parcela IV a una humedad de 1.5 %, obteniendo así una aproximación de las humedades propuestas con anterioridad.

En la Tabla 4.1 Muestra las humedades por cada profundidad de trabajo.

Tabla 4.1. Contenido de humedad de cada parcela ( % )

Profundidad (cm)	Parcela I	Parcela II	Parcela III	Parcela IV
0 - 5	23.9	14.2	21.5	1
5 - 10	24.8	15.3	21.9	1.2
10 - 15	25.2	15.9	21.9	2.9

#### 4.5. Densidad Aparente

Los datos de las densidades aparentes de las cuatro parcelas se muestran en la tabla 4.2 , estos datos muestran los promedios de densidad antes y después de las labores.

Tabla 4.2. Densidad aparente de cada parcela

Densidad Aparente	Parcela I	Parcela II	Parcela III	Parcela IV
-------------------	-----------	------------	-------------	------------

Antes	1.3	1.1	1.3	1.2
Después	1.1	1.06	1.2	1.1

En la tabla anterior se pueden analizar los datos después de la labor, la densidad aparente de la parcela I disminuyó en un 15.39 %, la parcela II en un 3.64 % y tanto la parcela III y parcela IV bajaron en un 8 % su densidad aparente, estos datos nos indica que donde existió un volumen mayor de suelo trabajado fue en la parcela I con una humedad aproximada de 25 % con respecto a las demás parcelas.

Como un dato importante, en la evaluación de la parcela II se noto una resistencia a la penetración de las cuchillas del rotocultivador en algunas partes del terreno, teniendo profundidades de trabajo muy pequeñas, eso da la explicación de el porcentaje tan bajo de la densidad antes y después de la labor.

#### 4.6. Medición del microrelieve

Los datos mostrados en la tabla 4.3 fueron tomados cuando se tomaron las lecturas del microrelieve, obteniendo la desviación estándar de todos los puntos, el cual representa el índice de rugosidad del suelo. El microrelieve se tomo antes y después de la labor se obtuvieron dos índices de rugosidad por parcela, el cual se muestra a continuación.

Tabla 4.3. Resultados de rugosidad en la medición del microrelieve.

Rugosidad después del paso del rotocultivador				
Rugosidad	Parcela 1	Parcela II	Parcela III	Parcela IV

<b>Antes</b>	<b>2.61</b>	<b>2.03</b>	<b>1.45</b>	<b>3.29</b>
<b>Después</b>	<b>2.29</b>	<b>1.48</b>	<b>1.43</b>	<b>3.34</b>

Los datos anteriores nos dan una idea de cual era el índice de rugosidad del suelo antes de ser trabajado y después de terminar las labores del rotocultivador, sabiendo que entre más cerca de cero este el índice de rugosidad, el suelo tendrá menor irregularidad en la parte superficial, de esta forma notamos que la parcela con el menor dato de rugosidad antes de trabajar fue la parcela II y la mas alta fue la parcela IV. 3 de las 4 parcelas bajaron el índice de rugosidad caso contrario a la parcela IV que aumento en un 1.5 %. En todas las demás parcelas el índice de rugosidad disminuyó, es decir, después de la labor el relieve quedo sin muchas irregularidades, esto quiere decir que el terreno quedo más nivelado después del paso del rotocultivador.

En las figuras siguientes muestran el comportamiento de una de las parcelas antes y después del paso del implemento.

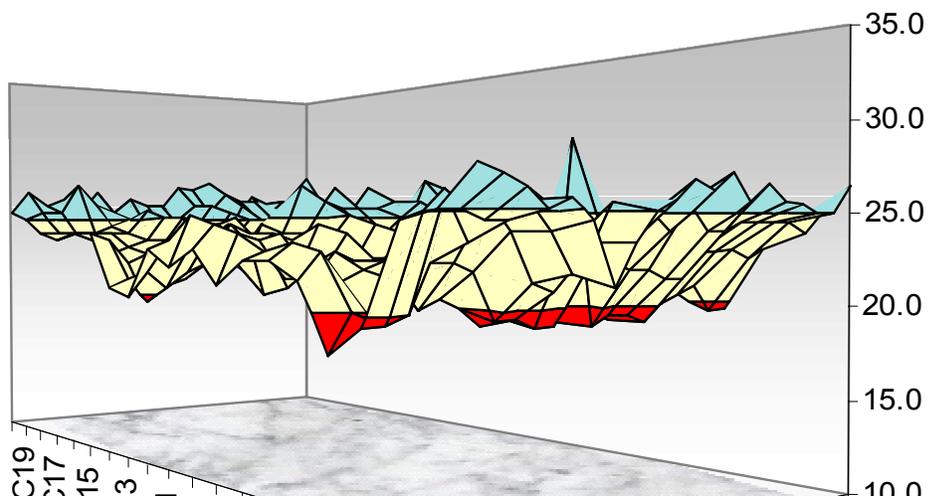


Fig. 4.1 Microrelieve de la parcela II antes del paso del Rotocultivador

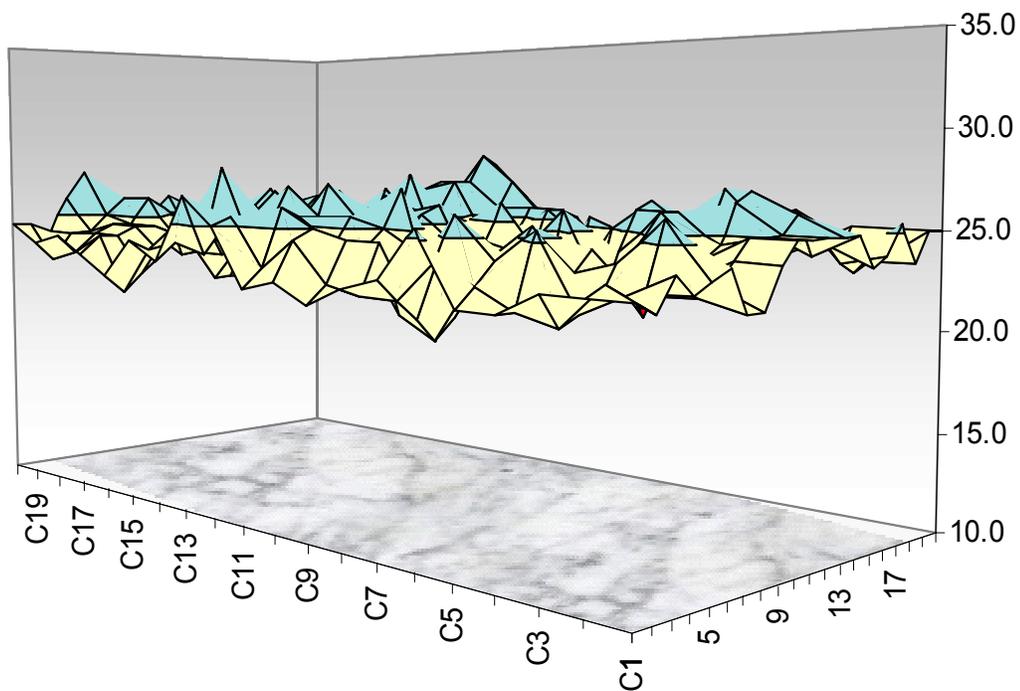


Fig. 4.2 Microrelieve de la Parcela II después del paso del rotocultivador

#### 4.7. Resultados del desempeño de la configuración tractor-rotocultivador

En la tabla 4.4 se muestra los parámetros medidos de las cuatro parcelas evaluadas en la segunda velocidad del tractor.

Tabla 4.4. Desempeño de la configuración tractor-rotocultivador evaluado en la segunda marcha a 3660 rpm del motor.

<b>Parámetros</b>	<b>Parcela I</b>	<b>Parcela II</b>	<b>Parcela III</b>	<b>Parcela IV</b>
Ancho de trabajo (m)	0.953	0.932	0.912	0.926
Profundidad de trabajo (m)	0.115	0.095	0.100	0.095
Velocidad (km/hr)	2.480	2.600	2.580	2.600
Gasto de combustible (lt/hr)	3.170	3.100	2.400	3.200
Capacidad teórica de campo (ha/hr)	0.230	0.240	0.230	0.230
Capacidad efectiva de campo (ha/hr)	0.200	0.220	0.200	0.190
Gasto de combustible (lt/ha)	23.200	24.700	21.100	24.900

En la tabla 4.5 se muestra los parámetros medidos de las cuatro parcelas evaluadas en la tercera marcha a 2500 rpm.

Tabla 4.5 Desempeño de la configuración tractor-rotocultivador evaluado en la tercera marcha a 2500 rpm del motor.

<b>Parámetros</b>	<b>Parcela I</b>	<b>Parcela II</b>	<b>Parcela III</b>	<b>Parcela IV</b>
Ancho de trabajo (m)	0.935	0.919	0.910	0.923
Profundidad de trabajo (m)	0.105	0.090	0.105	0.100

Velocidad (km/hr)	2.950	3.200	3.080	3.040
Gasto de combustible (lt/hr)	3.060	3.700	3.140	3.800
Capacidad teórica de campo (ha/hr)	0.270	0.290	0.280	0.270
Capacidad efectiva de campo (ha/hr)	0.220	0.220	0.200	0.240
Gasto de combustible (lt/ha)	22.600	21.060	27.600	29.100

Los datos anteriores muestran el desempeño que mostró el rotocultivador en cada una de las parcelas, y se puede ver que existe una gran similitud en todos los parámetros tanto ancho de trabajo como la capacidad teórica y efectiva de campo las cuales no tienen gran diferencia en los datos tomados en la marcha 2 como en la marcha 3. En el caso de gasto de combustible en litros por hectárea, se muestra diferencias como es el caso de la parcela IV en comparación de la parcela I, dado que la parcela I se encuentra a una humedad aproximada de 25 %, no existió dificultad en la penetración del suelo por parte de las cuchillas del implemento, dando así un gasto de combustible menor, caso contrario a la parcela IV donde se tenía un rango de humedad de 1 a 2 % y la cuchillas presentaron un esfuerzo mayor que las parcelas donde tenían humedades altas, dando como resultado una diferencia de 22.4 % más de gasto de combustible en relación a la parcela I, un 27.7 % que la parcela II y un 5.2% en relación a la parcela III, concluyendo así que en entre menos humedad, habrá mayor gasto de combustible debido al esfuerzo del tractor.

#### **4.8 Resultados de las variables de calidad de labor para cada parcela de evaluación**

En las tablas presentadas a continuación se muestran los datos obtenidos en las diferentes condiciones de las parcelas donde fue evaluado el implemento.

Tabla 4.6 Variables calculadas en base a el desempeño tractor-rotocultivador 2a marcha a 3660 rpm.

Variables	Parcela I	Parcela II	Parcela III	Parcela IV
Índice de disturbación energética (ml/m <sup>3</sup> )	<b>11.98</b>	<b>13.58</b>	<b>10.43</b>	<b>14.65</b>
Eficiencia (%)	<b>86.95</b>	<b>91.66</b>	<b>86.95</b>	<b>79.49</b>
Tamaño promedio de agregados (mm)	<b>9.88</b>	<b>6.44</b>	<b>5.51</b>	<b>5.72</b>

Tabla 4.7 Variables calculadas en base a el desempeño tractor-rotocultivador 3a marcha 2500 rpm.

Variables	Parcela I	Parcela II	Parcela III	Parcela IV
Índice de disturbación energética (ml/m <sup>3</sup> )	<b>10.79</b>	<b>14.11</b>	<b>10.67</b>	<b>14.07</b>
Eficiencia (%)	<b>81.48</b>	<b>75.86</b>	<b>86.87</b>	<b>88.53</b>
Tamaño promedio de agregados (mm)	<b>9.64</b>	<b>10.6</b>	<b>10.87</b>	<b>6.85</b>

#### 4.8.1 Índice de disturbación energética

En la Tabla 4.6 se muestran los valores del índice de disturbación energética para las parcelas evaluadas a segunda marcha a 3660 rpm, notando que existe una irregularidad en todas las parcelas, puesto que no existió una uniformidad en la profundidad de trabajo por lo que se encontraban a diferentes porcientos de humedad; no obstante en la Tabla 4.7 se puede ver de cómo las parcelas I y III se encuentran en

un mismo rango siendo el mismo caso de las parcelas II y IV que tienen una aproximación en sus valores pero con una diferencia notoria a las otras dos parcelas.

#### **4.8.2 Eficiencia de labor**

La eficiencia de labor para la cuatro parcelas se podría decir que son buenas puesto que casi todas sobrepasan un 80%. En la Tabla 4.6 se muestra la parcela IV con un 79 %, esta parcela se encontraba con porcentaje de humedad mínimo, lo que da la explicación de su baja eficiencia. En la Tabla 4.7 se muestra la parcela II con un 75% de eficiencia en comparación con la Tabla anterior que alcanzo la mayor eficiencia de todas la parcelas sobrepasando el 90%, una explicación a este cambio drástico, fue que dentro de esta sección se tuvo problemas con la penetración de las cuchillas del implemento dado que el suelo se encontraba duro en comparación con las demás secciones.

#### **4.8.3 Tamaño promedio de agregados**

Esta variable calculada, fue la razón principal para el desarrollo de esta investigación, dando como resultado los datos presentados en las tablas anteriores. En la Tabla 4.6 para la parcela II, III, y IV se observa que tienen tamaños de agregados menor a 7 mm de diámetro, y sobrepasando este valor se encuentra la parcela I con un valor mayor de 9 mm de diámetro siendo el más alto en esta sección evaluada a segunda marcha a 3660 rpm. En la Tabla 4.7 se muestran los datos para las parcelas evaluadas a tercera marcha a 2500 rpm observando que tres de las cuatro

parcelas se mantienen en un rango mayor a 9 mm de diámetro y solamente la parcela IV se encuentra por debajo de los 7 mm de diámetro, esta parcela se encontraba totalmente seca con un porcentaje de humedad aproximado de 1.5 %. Sabiendo que entre más grande sean los agregados del suelo, menor porcentaje de germinación tendrán las semillas con tamaños inferiores a los obtenidos. Como es el caso del maíz y frijól que necesitan un promedio aproximado de 5 mm de diámetro para una mejor germinación. Lo cual nos dice que la parcela con mejor tamaño de agregados óptimos para los cultivos ya mencionados fue la parcela III con un valor de 5.51 mm de diámetro en promedio con un 20 % de humedad aproximadamente. El comportamiento de los agregados para las diferentes secciones se muestran en las figuras siguientes.

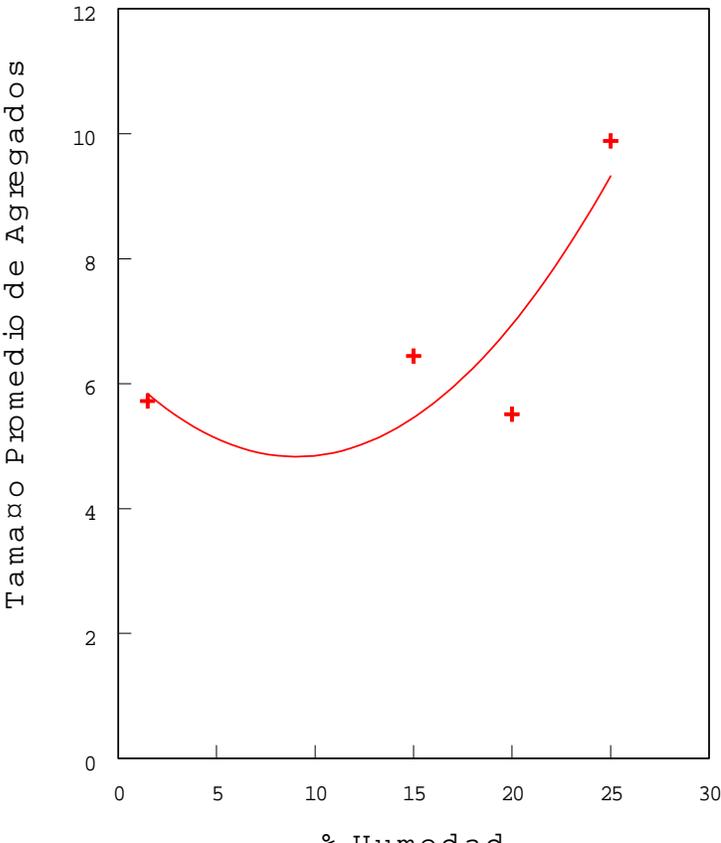


Fig. 4.3 Grafica de comportamiento de agregados de las parcelas evaluadas en la segunda marcha a 3660 rpm.

Los puntos mostrados en la gráfica anterior son promedios de todos los datos tomados en las cuatro parcelas, obteniendo un solo punto para cada humedad en la que fue evaluado el rotocultivador. El punto más alto con un valor menor a 10 mm aproximadamente se obtuvo en la parcela I con un 25 % de humedad; y con diferencia menor se encuentran el resto de las parcelas con un 2, 15, y 20 % respectivamente.

La línea indica que entre más húmedo este el terreno, quedara con agregados con un tamaño mayor caso contrario cuando el suelo se encuentre a una humedad indicada.

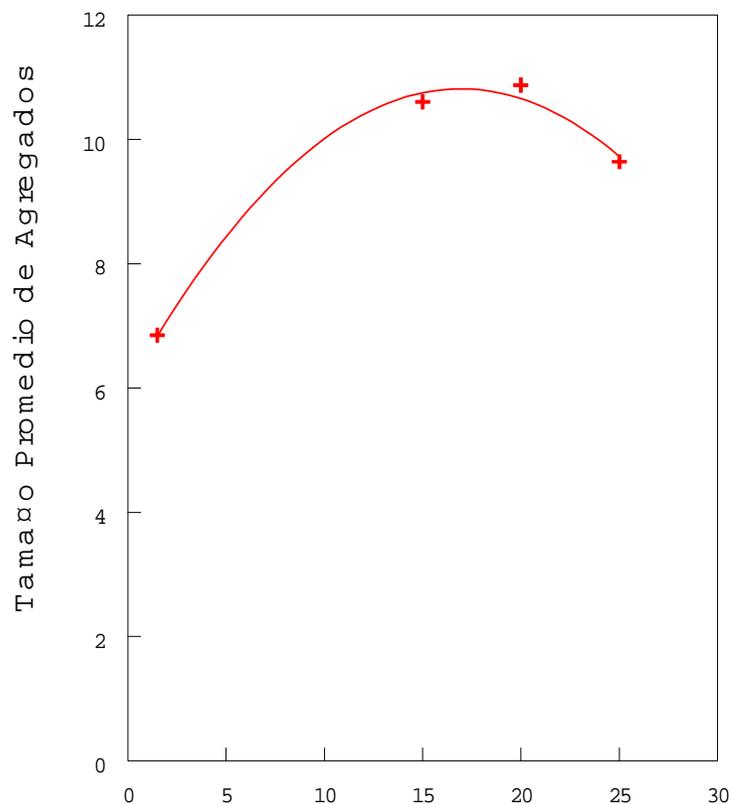


Fig. 4.4 Grafica de comportamiento de agregados de las parcelas evaluadas en la tercera marcha a 2500 rpm.

El tamaño de agregados para las parcelas evaluadas en tercera marcha del tractor se obtuvieron de la misma forma como se explicó anteriormente, dando como resultado que los tamaños de agregados son mayores en 3 de las 4 parcelas evaluadas, esto se debe a que el rotor del implemento iba girando un poco más lento y a consecuencia dejaba los terrones más grandes e casi todas las parcelas que fueron evaluados a esta velocidad, notando que en la humedad 15% y 20% fueron las más altas seguida por la de 25% por último fue la parcela IV con un 1.5 % de humedad.

La gráfica indica que hubieron agregados demasiado grandes por el motivo que el rotor del implemento iba lento y esto ocasiono que el suelo quedara de esta forma en la mayoría de las parcelas.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con los datos obtenidos en esta evaluación, se logro los objetivos planteados al inicio de la misma, obteniendo como datos principales el índice de disturbación energética, la rugosidad, la densidad aparente antes y después, Eficiencia de trabajo y el objetivo principal de este trabajo que fue determinado a diferentes contenidos de humedad del suelo fue la del tamaño promedio de agregados.

Con los datos obtenidos y especificados con anterioridad se llega a la conclusión de que la parcela que mostró un mejor tamaño promedio de agregado para los cultivos como maíz y frijol fue la parcela III con 20 % de humedad el cual obtuvo un valor de 5.51 mm de diámetro a diferencia en la parcela con un 25% de humedad la cual mostró un tamaño promedio de agregado en un rango de 9 a 10 mm de diámetro, lo cual provocaría una mala germinación en la semilla.

Las parcelas con contenido de humedad de 15 % y la parcela con humedad mínima se encuentran en el rango de que el maíz y frijol requieren, según Gaytán (2003) dice que los diámetros menores a 8 mm logran una germinación de 91.4 % en semilla de avena.

Las secciones evaluadas a tercera marcha a 2500 rpm dejaron agregados demasiado grandes para la buena germinación de este tipo de semillas, caso igual a la parcela de mayor porcentaje de humedad; esto quiere decir que el rotocultivador obtuvo un mejor desempeño en la parcela que no estaba excedida en humedad pero que se encontraba casi completamente seca y las azadas del implemento muestran mejor disgregación del suelo a mayor velocidad del rotor, pero se encuentra en un esfuerzo mayor en suelo completamente seco.

El índice de disturbación energética calculada a cuatro diferentes contenidos de humedad y dos regimenes de velocidad del motor, obtuvieron valores con

diferencias mínimas entre sí, ya que una de las constantes para calcular el índice de perturbación energética es la profundidad de trabajo, la cual no fue igual para todas las secciones puesto que cada parcela se encontraba a diferentes porcentajes de humedad, el implemento mostró un esfuerzo mayor en la parcela IV la cual se encontraba a una humedad mínima con un valor aproximado de 1.5 %, caso contrario a la parcela I donde el rotocultivador mostró facilidad en la penetración la cual se encontraba en el momento de la evaluación a un 25 % de humedad aproximadamente. Lo cual indica que el rotocultivador hizo un mejor trabajo en las parcelas que se encontraban húmedas.

Con respecto a la rugosidad se obtuvo un resultado favorable para todas las parcelas, tomando en cuenta los datos de desviación estándar obtenida gracias al microrelieve que se tomó antes y después de las labores dio como resultado un descenso en los valores lo que indica que la rugosidad disminuyó y que el suelo quedó después de las labores con irregularidades menores que antes de las evaluaciones, lo que indicó que en cada tratamiento se produjeron agregados de un tamaño similar.

En la mayoría de las parcelas mostraron un cambio en lo que se refiere a la densidad aparente, disminuyendo notoriamente los valores, indicando que no existe dificultad para que el implemento trabaje satisfactoriamente, siendo el caso de la parcela I la cual se encontraba a una humedad de 25% aproximadamente, donde se notó una mejor penetración por parte de las cuchillas del rotocultivador, pero donde existió una dificultad para la penetración fue en la parcela II a causa de la dureza de una parte de la parcela evaluada, teniendo profundidad de trabajo pequeñas en comparación al resto de la misma.

La eficiencia de trabajo de todas las parcelas, se pueden estimar como buenas, las cuales rebasan el 80% aunque existieron porcentajes de 78% en una sección de la parcela IV y parcela II, dichas parcelas se encontraban a humedades aproximadas de 2% y 15% por ciento respectivamente.

## VI. LITERATURA CITADA

**Boletín de servicios agrícolas de la FAO 1993.** principios y practicas de prueba y evaluación de máquinas y equipos agrícolas

**Ríos Camey M.S. 2004.** Determinación del límite superior de laborabilidad de dos texturas de suelo del Distrito de Desarrollo Rural (DDR) Saltillo, basado en el método de permeabilidad del aire. Tesis de licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

**Efecto de la labranza sobre las características físicas del suelo**

[http://www.fao.org/ag/ags/AGSE/agse\\_s/7mo/iita/C7.htm](http://www.fao.org/ag/ags/AGSE/agse_s/7mo/iita/C7.htm)

consultado el día 15 de marzo de 2005

**Elizalde G., 2004.** Propuesta de un modelo de estructuración de los suelos. Facultad Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela.

[http://www.redpav-fpolar.info.ve/fagro/v24\\_1/v241m001.html](http://www.redpav-fpolar.info.ve/fagro/v24_1/v241m001.html)

consultado el día 15 de marzo de 2005

**Gaytan Muñoz T, Cadena Zapata M, Campos M.S, de la Peña Casas E, López Cruz J. 2003.** Determinación de la relación del tamaño de agregados en la cama de siembra en germinación y emergencia de avena bajo condiciones de laboratorio. universidad autónoma agraria Antonio narro. Departamento de maquinaria agrícola.

**Hironoshin Takao.** Líder del Equipo de Expertos Japoneses

Proyecto de Pruebas y Evaluación de Maquinaria Agrícola  
Agencia de Cooperación Internacional del Japón, Oficina en México  
Proyecto de Pruebas y Evaluación de Maquinaria Agrícola  
<http://www.japon.org.mx/public/content/jica.pdf>

Consultado el día 3 de mayo de 2005

**Hunt D. 1983.** Maquinaria agrícola. Rendimiento económico, costos, operaciones, potencia y selección de equipo. Editorial limusa. D.F, México;

**INEGI. 2003.** Anuario estadístico del estado de Coahuila de Zaragoza. INEGI Aguascalientes, Ags, México. pp.339-350.

**Jara R. J. y Valenzuela A. A.** El agua en el suelo  
Facultad de Ingeniería Agrícola Universidad de Concepción  
[www.chileriego.cl/docs/015-02.doc](http://www.chileriego.cl/docs/015-02.doc)

consultado el día 11 de febrero de 2005

**Llamas, R. y Custodio E. 1983.** Hidrología Subterránea - Barcelona, España.  
Manejo integrado y sostenible de los recursos hídricos subterráneos en América latina.

[www.udep.edu.pe/recursoshidricos/PAU2.htm](http://www.udep.edu.pe/recursoshidricos/PAU2.htm)

consultado el día 21 de enero de 2005

**Manual de procedimientos de evaluación de RNAM** (Economic and Social Comisión for Asia and the Pacific Regional Network for agricultural Machinery) y los manuales de procedimientos de prueba y evaluación del CENEMA (Centro Nacional de Estandarización de Maquinaria agrícola en México.

**Manual de practicas integradas de manejo y conservación del suelo**

<http://www.fao.org>

consultado el día 19 de marzo de 2005

**Navarro Bravo A, Figueroa Sandoval B, Ordaz Chaparro V y González Cossio F**

Efecto de la labranza sobre la estructura del suelo, la germinación y el desarrollo del maíz y frijól

Effect of Tillage on Soil Structure and on Germination and Development of Corn and Beans

<http://www.chapingo.mx/terra/contenido/18/1/art61-69.pdf>

Consultado el día 21 de mayo de 2005

**Nikiforoff, 1941. Física de suelos y la relación**

**suelo/planta/agua/atmósfera/labranza**

[www.sagan-gea.org/hojaredsuelo/paginas/17hoja.html](http://www.sagan-gea.org/hojaredsuelo/paginas/17hoja.html)

consultado el día 15 de marzo de 2005

**PRODUCTS - ROTARY TILLER** (productos - arados rotatorios)

[www.agrator.com](http://www.agrator.com)

consultado el día 21 de enero de 2005

**Smith . D W., Sims B. G. 1990.** Procedimiento para la evaluación de implementos para la labranza primaria. Evaluación técnica de equipos para pequeños productores. Manual teórico-práctico. Programa de cooperación técnica México-Gran Bretaña.

[www.simpletractors.com/parts/tiller/rotary\\_tillers.htm](http://www.simpletractors.com/parts/tiller/rotary_tillers.htm)

consultado el día 14 de enero de 2005