



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA**

**ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

Determinación del límite inferior laborable en un suelo migajón,  
empleando la prueba de la caída del suelo.

**Por:**

**JUAN FRANCISCO ORDAZ BALDERAS**

**T E S I S**

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

**INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.**

**Febrero de 2007**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

Determinación del límite inferior laborable en un suelo migajón,  
empleando la prueba de la caída del suelo.

Por:

**Juan Francisco Ordaz Balderas**

**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. Tomas Gaytán Muñiz**

---

**M.C. Blanca Elizabeth de la Peña Casas**

Coordinador de la División de Ingeniería

---

**Dr. Raúl Rodríguez García**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México  
Febrero de 2007.

## *Agradecimientos*

En primer lugar a **Dios** por haberme dado la oportunidad y el don maravilloso de la vida, sobre todo por tener la dicha de haber sacado adelante mi carrera, con el apoyo de mis compañeros y seres queridos.

A mi **ALMA TERRA MATER** por haberme dado la oportunidad de formarme en sus aulas y por haberme formado como **INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA**, mediante el cual tuve conocimientos de la misma, para poder afrontar los problemas y nuevos retos que la vida me traerá.

Al **Dr. Martín Cadena Zapata**, por su paciencia, confianza, consejos y amistad. Sobre todo por su tiempo dedicado para llevar a cabo la elaboración de este trabajo. Le agradezco de antemano a usted Doctor, por haber depositado su tiempo y su confianza.

Al **Ing. Mario Santos Ríos Camey** por su apoyo incondicional brindado en correcciones del presente trabajo y por sus sugerencias para la elaboración del mismo.

Al **M.C. Tomás Gaytán Muñiz** por su confianza y apoyo, brindado de sus conocimientos y por sus sugerencias en la elaboración de este trabajo.

Al **M.C. Uriel Serna Fernández** por ser una persona sincera, honesta y dispuesta a ayudarme cuando lo necesitaba, tanto personalmente como académicamente durante mi estancia en esta Institución. **Gracias**

A todos mis compañeros de la generación XCVIII de la carrera de Ingeniero Mecánico Agrícola, en especial a: **Erick Martínez, Francisco Pablo, Alfredo, Guillermo, Mario Ríos, Fidel, Ricardo, Eduardo Lira, Nelson,**

**Josué, Gerardín, Efrén, Fabián, Jonathan, Manuel, Salvador, Juan Carlos, Freddy, Jimmy, Armando, Luís Miguel, y Juan Sergio**, por haberme brindado su amistad, confianza y apoyo incondicional. Muchas gracias amigos y compañeros de generación 2000-2004. Les deseo lo mejor en su vida profesional.

A todos los maestros del departamento de Maquinaria Agrícola, en especial al **M.C. Jesús Valenzuela García, M.C. Paty Dorantes, M.C. Juan Antonio Guerrero Hernández, Ing. Juan Arredondo Valdez, M.C. Blanca Elizabeth de la Peña Casas, Ing. Rosendo González Garza, Ing. Ramiro Luna Montoya y Ing. Sergio Martínez Medellín**. Por sus conocimientos y amistad brindados durante mi estancia. Gracias.

Al personal del Taller del departamento de Maquinaria Agrícola: **Mario Amaro, Efraín, Yony, Armando, Acasio Urrea**. En especial a aquellas personas que me brindaron su ayuda incondicional, sin esperar nada a cambio, muchas gracias **Mario Amaro**. Sin olvidar a Juanita la secretaria del departamento de Maquinaria.

A las Familias **Martínez Mendoza, Flores Luna, Barcenás Zarate**. Por haberme brindado su confianza y apoyo durante mi carrera. Gracias por los buenos momentos que compartí con ustedes. Dios los bendiga a dondequiera que se encuentren.

Quien te tome de la mano, pero además toque tu corazón, te brindará amistad verdadera.



*Dedicatoria*

A mis **Padres:**

**Sr. Juan Ordaz Pérez**  
**Sra. Clemencia Balderas Álvarez**

Con todo mi amor, quienes son parte de todos mis logros y triunfos obtenidos, con todo respeto y admiración. Y por el haber siempre depositado su confianza. **Padres**, les dedico todos mis triunfos.

*Gracias*

Por la educación, amor, confianza, sacrificios, paciencia y su fe, pues ustedes han depositado toda su confianza en sus hijos, siendo su esfuerzo muy grande al dar todo a cambio de nada. Gracias a ustedes, ahora yo les entrego mi título como **Ingeniero Mecánico Agrícola**, pues es una herencia muy valiosa que ustedes me ofrecieron, para toda mi vida. **Mil Gracias**, por todo.

A mis **Hermanos:**

**Reyna, Ma. Guadalupe, José Cruz**, quienes de muchas formas me han brindado ayuda y confianza para poder continuar, y por que son una parte importante en mi vida. Los quiero mucho y siempre los llevo en mi corazón. A ustedes mis **Hermanos**.

A mi **Esposa e Hija.**

**Lucero E. Flores Luna y Luna Lucero Ordaz Flores** por ser un gran motivo e inspiración en mi vida, por demostrarme paciencia y comprensión, por brindarme seguridad a cada paso, por el calor de sus brazos que me recuerda donde esta mi refugio, mi hogar; pues son un gran motivo para

poder salir adelante, siendo parte importante de mi vida. A ustedes les dedico mis triunfos. Las amo muchos y siempre están en mi corazón. Las amo más de lo que puedo expresar.

A todos mis **Abuelos, Tíos, Primos, Amigos y Compañeros:**

Por sus consejos, motivaciones y sus buenos deseos hacia mi persona.

A mis **Amigos** de mí Pueblo, **Recuas, Checo, Chito, Gonzalo, Lupe, Same, Chupes, Jarocho**. Por su confianza, amistad y apoyo brindado durante el transcurso de mi carrera, Muchas Gracias Amigos.

Dios los bendiga a todos mis Familiares, Amigos, Compañeros y  
Catedráticos.

Una lección difícil de aprender será:  
Qué puente cruzar y cuál evitar.

## Indice de contenido

	Pagina
<i>Agradecimientos</i> .....	I
<i>Dedicatoria</i> .....	III
<i>Índice de contenido</i> .....	V
<i>Índice de figuras</i> .....	VII
<b>Resumen</b> .....	VIII
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<i>1.1 Labranza y agregados del suelo.</i> .....	<i>1</i>
<i>1.2 Objetivos e Hipótesis</i> .....	<i>3</i>
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>4</b>
<i>2.1 Efecto de la humedad para la calidad de agregados</i> .....	<i>4</i>
<i>2.2 Energía aplicada para la disgregación en agregados</i> .....	<i>5</i>
<i>2.3 Fracturación y desmenuzamiento eficaz del terrón.</i> .....	<i>5</i>
2.3.1 <i>Conducta mecánica del suelo.</i> .....	<i>7</i>
2.3.2 <i>Propiedades físicas del suelo.</i> .....	<i>7</i>
<i>2.4 Efecto de la adición de la materia orgánica fluida en la estabilidad de los agregados del suelo.</i> .....	<i>10</i>
<i>2.5 Efecto secundario en la labranza sobre el agregado del suelo.</i> .....	<i>10</i>
<i>2.6 Método empleado para estimar el limite seco laborable del suelo con la menor energía aplicada.</i> .....	<i>11</i>
<i>2.7 Estudios de laborabilidad en el suelo para zonas tropicales.</i> .....	<i>12</i>
<i>2.8 Parámetros físicos del suelo en condiciones bajo laboreo y no laboreo.</i> .....	<i>12</i>
<i>2.9 Distribución de porosidad.</i> .....	<i>13</i>
<i>2.10 Materia orgánica e influencia sobre las propiedades físicas del suelo.</i> .....	<i>14</i>
<i>2.11 Efecto de la labranza sobre la estructura del suelo.</i> .....	<i>15</i>
<i>2.12 Variación de materia orgánica y estabilidad de los agregados</i> .....	<i>17</i>
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>18</b>
<i>3.1 Ubicación del sitio experimental</i> .....	<i>18</i>
<i>3.2 Procedimiento para trabajo de campo</i> .....	<i>18</i>
<i>3.3 Procedimiento para trabajo en laboratorio</i> .....	<i>19</i>
3.3.1 <i>Medición de las dimensiones de los terrones</i> .....	<i>20</i>
3.3.2 <i>Procedimiento para la fracturación y disgregación de los terrones</i> .....	<i>20</i>
3.3.3 <i>Calculo de la energía mediante su ecuación</i> .....	<i>21</i>
3.3.4 <i>Determinación del peso del agregado y secado.</i> .....	<i>22</i>
3.3.5 <i>Tamizado de las muestras</i> .....	<i>23</i>

<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>26</b>
4.1 <i>Características del suelo estudiado.</i> .....	26
4.2 <i>Resultados obtenidos de un suelo migajón, determinando su densidad aparente y porosidad, relacionados con el contenido de humedad.</i> .....	26
4.2.1 Resultados del DMA respecto a la energía aplicada, utilizando madera para la disgregación.....	27
4.2.2 Segunda evaluación de los resultados del DMA respecto a la energía aplicada, utilizando madera para la disgregación. ....	30
4.2.3 Primera evaluación de los resultados del DMA respecto a la energía aplicada, utilizando metal para la disgregación. ....	33
4.2.4 Segunda evaluación de los resultados del DMA respecto a la energía aplicada, utilizando metal para la disgregación. ....	35
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>38</b>
5.1 <i>Conclusiones</i> .....	38
5.2 <i>Recomendaciones</i> .....	39
<b>6. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>40</b>
<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>47</b>
ANEXO 1.....	48
Análisis de un suelo de textura migajón utilizando la prueba de caída. ....	48
ANEXO 2.....	57
Obtención de datos con respecto a los materiales (madera y metal) empleados. ....	57

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Fig. 2.1 Triangulo de texturas.....	8
Fig. 3.1 Suelo laborado en campo.....	19
Fig. 3.2 Tractor New Holland 6810 WP.....	19
Fig. 3.3 Determinación de longitud, altura y espesor del agregado.....	20
Fig. 3.4 Caja construida y colocación del agregado dentro de la misma.....	20
Fig. 3.5 Material utilizado para la disgregación del agregado.....	21
Fig. 3.6 Diagrama de energía aplicada a un agregado.....	21
Fig. 3.7 Colocación y fracturación del agregado dentro de la caja de pruebas.....	21
Fig. 3.8 Extracción del agregado.....	22
Fig. 3.9 Recolección del suelo en charolas.....	22
Fig. 3.10 Bascula granataría.....	22
Fig. 3.11 Horno eléctrico.....	23
Fig. 3.12 Termómetro.....	23
Fig. 3.13 Tamices de diferente DMA.....	23
Fig. 3.14 Tamizado en laboratorio.....	25
Fig. 3.15 Suelo con diferente DMA.....	25
Fig. 4.1 Suelo de textura migajón arcilloso.....	26
Fig. 4.2 Suelo migajón a diferentes contenidos de humedad.....	27
Fig. 4.3 Relación del DMA y la energía aplicada para un suelo de textura migajón.....	28
Fig. 4.4 Relación del DMA y la energía aplicada para un suelo de textura migajón.....	29
Fig. 4.5 Relación del DMA y la energía aplicada para un suelo de textura migajón.....	30
Fig. 4.6 Relación del DMA y la energía aplicada para un suelo de textura migajón.....	32
Fig. 4.7 Relación del DMA y la energía aplicada para un suelo respecto a la segunda evaluación de un suelo de textura migajón.....	33
Fig. 4.8 Relación del DMA y la energía aplicada para un suelo respecto a la segunda evaluación de un suelo de textura migajón.....	34
Fig. 4.9 Relación del DMA y la energía aplicada para un suelo respecto a la segunda evaluación de un suelo de textura migajón.....	36

## RESUMEN

En nuestro país en muchas ocasiones las labores culturales son realizadas en condiciones inadecuadas de humedad, por lo tanto trae consigo problemas de degradación del suelo agrícola, obteniendo resultados perjudiciales para el mismo. Esto ocasiona un incremento de demandada energía, y como resultado se realizan mayores costos en las labores culturales, obteniendo una deficiencia en la competitividad de nuestros sistemas de producción con el resto del mundo.

En México aun no se cuenta con una técnica cuantitativa para determinar cuales son los valores mínimos de la humedad del suelo, en el que puede ser laborable sin utilizar una alta cantidad de energía.

Esta investigación consistió en determinar el límite inferior de laborabilidad para un suelo de textura migajón arcilloso, mediante la utilización del método de la prueba de la caída, el cual servirá para tomar decisiones para realizar las labranzas adecuadas del suelo, con la aplicación de una mínima cantidad de energía.

La evaluación fue realizada dentro de las instalaciones experimentales del bajo de la "UAAAN", la cual se encuentra ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Fueron recolectadas muestras del suelo seleccionado y se llevaron a laboratorio para poder determinar su contenido de humedad, mediante la utilización del método gravimétrico, posteriormente fueron secadas y tamizadas.

Las muestras fueron preparadas en diferentes contenidos de humedad, desde suelo con un contenido de humedad de 0.1% hasta 40%, con diez repeticiones cada uno.

Cada muestra se preparo en laboratorio, fue pesada y secada durante un transcurso mínimo de 24hrs. Posteriormente se tamizaron y el suelo retenido en cada tamiz fue pesado. El contenido de humedad, se determinó mediante el método gravimetrico, posteriormente se calculó la energía aplicada considerando el tamaño inicial del terrón y la altura de caída de los pesos utilizados. También se calculó el diámetro medio del agregado.

Una vez determinados estos datos del suelo de textura migajón arcilloso, fue determinado el límite inferior de laborabilidad, respectivamente con cada humedad obtenida en laboratorio, el dato de un mejor coeficiente de determinación  $r^2=0.81$  con un contenido de humedad de 6-10%, posteriormente le siguió un  $r^2=0.79$  con un contenido de humedad de 31-35%, siguiéndole un  $r^2=0.62$  con un contenido de humedad de 11-15%.

Se concluye que para algunos contenidos de humedad fue posible determinar los límites de laborabilidad mediante la prueba de la caída, debido a que el numero de datos analizados son los adecuados para la obtención de resultados satisfactorios del coeficiente de determinación  $r^2$ , pues para los contenidos de humedad del 6-10%, 31-35%, y 11-15% mostraron buenos resultados, tomando en cuenta que el numero de datos fue grande, obteniendo una correlación adecuada. Por otra parte, algunas pruebas mostraron poca correlación entre las variables de energía y tamaño de agregado, como humedades de 16-20% y 21-25%.

## 1. INTRODUCCIÓN

### ***1.1 Labranza y agregados del suelo.***

El tamaño y la estabilidad de los agregados pueden ser indicativos de los efectos de sistema 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 agregados es uno de los factores importantes en el desarrollo de cultivos. Según Larson (1964), los agregados deben ser de tamaño reducido alrededor de las semillas y raíces de las 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 2.00mm 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 degradación del suelo es causada por el movimiento intenso del suelo a causa de las prácticas de labranza, por la reducción del contenido de materia orgánica, por el intenso pisoteo del ganado y por el impacto de la lluvia sobre la superficie desprotegida (Buhler, 1998).

La frecuencia e intensidad de la labranza altera las propiedades del suelo, distribución de materia orgánica y los nutrientes del suelo al ser laboreado (Balesdent et al., 2000; Franzluebbers, 2002). Estos cambios a largo plazo son reflejados en la disponibilidad de nutrientes, en la productividad de cultivos y en la sustentabilidad del sistema. La utilización de un sistema a labranza de siembra directa produce una serie de modificaciones en el suelo que pueden ser caracterizados por distintas etapas, y llegan a estabilizarse después de 20 años (Moraes Sa, 2003).

La interacción entre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo generan un equilibrio dinámico, el cual puede ser por el uso de la tierra, por los sistemas de labranza y por el manejo de cultivos (Balesdent et al., 2000). La labranza modifica algunas propiedades físicas, entre ellas el tamaño del agregado, afectando la estructura, la densidad aparente, la distribución de poros, la dinámica del agua y la resistencia a la penetración. La relación de humedad del suelo está influida por la distribución del espacio poroso afectando la disponibilidad del agua, nutrientes y aeración del suelo (Lal, 1994).

La friabilidad, conocida como la mejor condición de laborabilidad, es la facilidad que tiene el suelo de desmenuzarse. El estado de humedad en que los suelos son friables es el de mejores condiciones para la labranza. Los suelos friables son los que poseen mejor estado de agregación para el cultivo (Baver, et al., 1980).

En la evaluación del suelo, la laborabilidad es una cualidad del suelo que describe como fácilmente este puede ser labrado o cultivado. Esto es evaluado de acuerdo a la textura, estructura, consistencia de las relaciones de la parte superior del suelo (FAO 1993).

La laborabilidad varía de acuerdo a el suelo, la maquinaria empleada y de la operación de una parcela a otra (Simelanga y Have, 1992). Estas variaciones están influenciadas tanto por el contenido transitorio de humedad como por las propiedades intrínsecas del suelo tales como arcilla y materia orgánica (Tomasson, 1982). Cuando se evalúa la laborabilidad se debe incluir un elemento de tiempo incluyendo la duración de una buena condición durante el calendario de cosecha para las operaciones suelo-cultivo (Cadena, 1999).

## **1.2 Objetivos e Hipótesis**

### **Objetivo general:**

Determinar el límite inferior de laborabilidad del suelo mediante la prueba de la caída de agregados.

### **Hipótesis:**

El valor específico de humedad mínima a la cual un suelo puede ser laborado (obteniendo el tamaño de agregado para establecer el cultivo límite inferior de laborabilidad) puede ser determinado en laboratorio relacionando la energía aplicada y el estado de humedad del suelo.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Efecto de la humedad para la calidad de agregados.

Ferreras et al. 2001. Determina que existe información con resultados, respecto al efecto a los distintos sistemas de labranza sobre las propiedades físico químicas del suelo. Las condiciones del suelo, la rotación de cultivos y el tiempo en que son aplicadas las labores pueden variar, estas son algunas de las variables presentadas para una buena calidad de agregados en el suelo. Numerosos autores concluyen que bajo siembra directa, se produce un incremento en la compactación, resistencia a la penetración, así como el contenido de agua para la capa arable (Nesmith et al., 1987; Mahboubi et al., 1993; Chagas et al., 1994). El incremento de compactación restringe el buen abastecimiento de agua, aire y la disponibilidad de nutrientes (Oussible et al., 1992).

En numerosos trabajos de investigación se menciona un amplio rango de tipos de suelo bajo condiciones de siembra directa, es menor su incremento vegetativo en los cultivos, en comparación con algunos cultivos sembrados en suelos con algún laboreo (Comish y Lymbery, 1987; Schmidt y Belford, 1994), pues el tamaño y textura del agregado son mucho mas factibles para un adecuado manejo dentro del suelo agrícola. Estos autores atribuyeron como causa principal de la reducción del crecimiento del cultivo a factores del suelo de índole físico biológicos.

## **2.2 Energía aplicada para la disgregación en agregados.**

Las rotaciones y los sistemas de labranza inciden sobre la estabilidad estructural, siendo un factor determinante para una adecuada distribución de la porosidad que influye en el perfil de humedad y en el intercambio gaseoso. El rango de porosidad entre 100 y 10 mm de diámetro es crítico para el movimiento del agua, aireación, crecimiento de raíz y fauna del suelo los poros en este rango son sensibles a la condición estructural del suelo (Hall, 1977).

Cadena Zapata y Gaytan Muñiz (2004). De acuerdo a estudios realizados en el ejido la Parcela, y Buenavista, Saltillo, Coahuila, se evaluó el desempeño de implementos de labranza en términos de consumo de energía y calidad de trabajo, bajo ciertos parámetros tanto de equipo agrícola (profundidad de trabajo, velocidad, porcentaje de patinaje consumo de combustible, ancho de trabajo, fuerza de tiro requerida). De acuerdo a estos parámetros que manejaron, se obtuvo un mejor resultado con el vibro cultivador debido a su diseño y forma del implemento, debido a su menor requerimiento de potencia, lo que lo hace ser muy diferente al arado.

## **2.3 Fracturación y desmenuzamiento eficaz del terrón.**

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

Berntsen, y Berre (2002). En resultados obtenidos de una investigación, utilizando implementos adecuados para la laborabilidad del suelo. Se realizaron pruebas, en las que fue aplicada energía para la

disgregación del terrón, creando una nueva superficie en el agregado fracturado. Obteniendo un agregado adecuado dentro del estudio para la labranza del suelo. El tamaño del agregado depende del trabajo realizado en la labranza e independiente en los implementos utilizados dentro de la labor. La facturación del agregado esta determinado mediante la aplicación de energía con respecto al esfuerzo del implemento.

Hadas y Wolf (1984). Realizaron un estudio en el cual, mencionan que para reducir el tamaño sólido de los agregados, se requiere de un estado de energía específico e inversamente proporcional al diámetro del tamaño de agregado.

Von Rittinger (1867). Menciono que la energía absorbida, es proporcional al incremento de la zona superficial de los fragmentos fracturados.

Larson (1964). De acuerdo a investigaciones, indica que los agregados deben ser de tamaño reducido alrededor de las semillas y raíces de las plantas nuevas, con la finalidad de proporcionar una adecuada humedad y un perfecto contacto entre suelo, semilla y raíces. Sin embargo, los agregados no deben ser tan pequeños debido a que favorecen la formación de costras y capas compactadas.

Kohnke (1968). En investigaciones que realizo, hace referencia a un tamaño optimo de agregado, indicándonos que se encuentra entre 0.50 y 2.00mm de diámetro; puesto que los agregados mayores restringen el volumen del suelo explorado por la raíces y los agregados menores originan poros muy pequeños y no son drenables por la acción de gravedad.

### **2.3.1 Conducta mecánica del suelo.**

De acuerdo a las conductas mecánicas del suelo; en términos agronómicos, el suelo es la capa superficial de la corteza terrestre conteniendo un gran contenido de minerales esenciales, materia orgánica, aire, agua y nutrientes esenciales para dar sostén, soporte y desarrollo a las plantas que se encuentran en su medio.

Ortiz (1989). Hace referencia a los suelos agrícolas, indicándo que no solo constituyen el soporte y la fuerza en la alimentación de las plantas en los cultivos, sino además son objeto de una serie de acciones por parte de vehículos y maquinaria agrícola. La mala utilización en el terreno de labor, así como los equipos mecánicos presentan una incidencia negativa para el crecimiento y desarrollo del cultivo, facilidad de erosión, compactación, resistencia a la penetración del suelo.

Dexter (1981). Menciono que la teoría de suelos mecánicos, es capaz de predecir el tamaño de suelo fragmentado y a su vez el tamaño final del agregado, esto es realizado mediante una distribución de carga adecuadamente. Trayendo consigo una adecuada medida de humedad en el suelo a trabajar, para poder determinar su fragmentación.

### **2.3.2 Propiedades físicas del suelo.**

#### **1. Textura.**

Así se les denomina a la proporción relativa en que se encuentran las partículas inorgánicas de diferentes tamaños, menores de 2mm, en la matriz del suelo (<http://www.monografias.com/trabajos12/texsuel/texsuel.shtml>).

Las partículas minerales se clasificadas en cuatro grupos, de acuerdo con su tamaño:

- Fragmentos rocosos: Su diámetro es superior a 2 mm, y son piedras, grava o cascajo “Caliche”
- Arenas: El diámetro oscila entre 0.05 a 2 mm. Puede ser gruesa, fina y muy fina. Los granos de arena son ásperos al tacto y no forman agregados estables, puesto que conservan su individualidad.
- Limo: Su diámetro va de 0.002 a 0.5 mm. Al tacto es como la harina o el talco, y tiene alta capacidad de retención de agua.
- Arcilla: Su diámetro es inferior a 0.002 mm. Al ser saturada, presenta un estado plástico y pegajoso y cuando se seca presente costras han el área superficial.

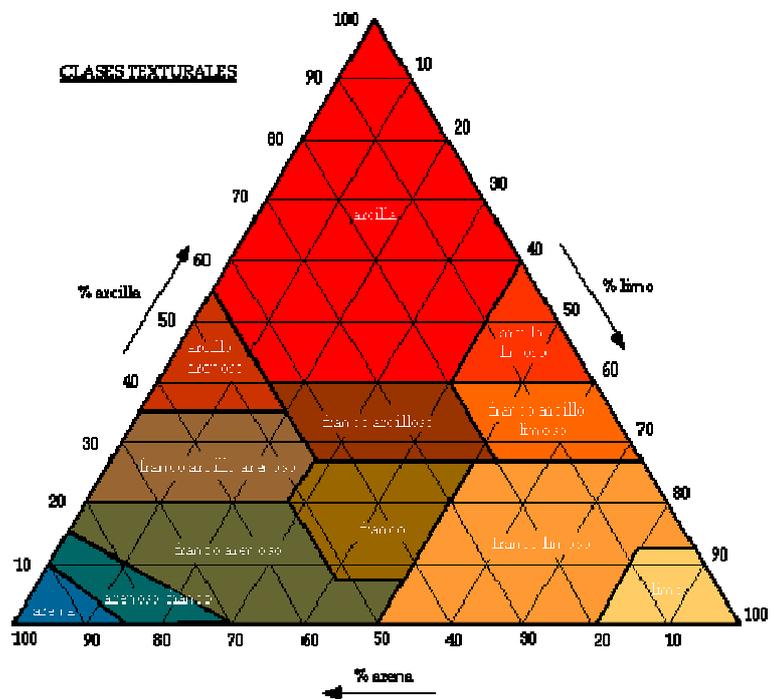


Fig. 2.1 Triángulo de texturas

## 2. La estructura.

Es la forma de las partículas del suelo que se reúnen para formar agregados. De acuerdo a esta característica se distinguen suelos de estructura esferoidal (agregados redondeados), laminar (agregados en laminas) prismática (en forma de prisma), blocosa (en bloques) y granular (en granos) (<http://edafologia.ugr.es/introeda/tema04/estr.htm>).

### 3. Consistencia.

Es la resistencia para la deformación o ruptura. Según la resistencia el suelo puede ser suelto, suave, duro, muy duro, etc. Estas características tienen relación con la labranza del suelo y los instrumentos utilizados. A mayor dureza será mayor la energía “anima, humana o de maquinaria” utilizada para la labranza. ([www.peruecologico.com.pe/lib\\_c18\\_t03.htm](http://www.peruecologico.com.pe/lib_c18_t03.htm)).

### 4. Porosidad.

Se encuentra representada por el porcentaje de huecos existentes en el mismo frente al volumen total. Depende de la textura, de la estructura y la actividad biológica del suelo.

El número, tamaño y uniones entre los poros juegan un papel crucial en la determinación respecto a la calidad del agua que puede infiltrarse en el suelo, y la cantidad de agua que el suelo puede absorber, sostener y proveer en las plantas.

Es importante tener interconectados muchos poros de un rango amplio de tamaños, particularmente en la superficie del suelo. Esto mejora la infiltración, reduce la escorrentía y beneficia el desarrollo del cultivo.

El número, tamaño y unión entre los poros suele variar de acuerdo al tipo de suelo y la forma en que este sea manipulado. Es muy poco lo que se puede hacer por el tipo de suelo, pero un buen manejo de tierra puede tener un gran impacto en la restitución, mejoramiento y protección de la porosidad del suelo. Incrementando a su vez el contenido de agua disponible en el suelo y su poro minimizan algún riesgo potencial de anegación (<http://araucarias.blogspot.com/2005/09/porosidad-del-suelo.html>).

### 5. Densidad aparente.

Es el peso por el volumen del suelo, y se encuentra con relación a la porosidad. Un suelo muy poroso es menos denso; un suelo poco poroso será más denso. A mayor contenido de materia orgánica, más poroso y menos denso será el suelo ([www.unex.es/edafo/ECAP/ECAL5PFDensidad.htm](http://www.unex.es/edafo/ECAP/ECAL5PFDensidad.htm)).

## **2.4 Efecto de la adición de la materia orgánica fluida en la estabilidad de los agregados del suelo.**

Desir G., y Sirvent J., (2001). En base a estudios realizados en la zona central dentro del ámbito semiárido, el uso de estiércoles utilizados tradicionalmente en la agricultura, para optimizar y mejorar el rendimiento de los suelos agrícolas que se encuentren degradados y sobre explotados. Este trabajo tiene la finalidad de establecer la utilidad y viabilidad de mejorar la estabilidad del suelo. Para ello se han estudiado la estabilidad de los agregados en dos tipos de suelos, "arcillosos y calcáreos". El porcentaje de agregados y su distribución por tamaño, son los parámetros más importantes que controlan la estabilidad de la estructura y su nivel de resistencia a los factores externos.

## **2.5 Efecto secundario en la labranza sobre el agregado del suelo.**

Adam y Erbach (1992). Realizaron un experimento de campo, para estudiar el efecto de la labranza en la agregación del suelo y las características agregadas del suelo cuando la labranza fue realizada sobre un rango de volumen de contenido de humedad del suelo. Dicha labranza fue realizada con discos dentados tándem, determinándose un contenido de humedad del 12.8 - 21% de acuerdo al peso seco, mientras que el tamaño, peso y diámetro de los agregados fue determinado por computadora de acuerdo al uso rotativo que se les dio a los tamiz utilizados. La estabilidad mecánica del agregado era definida entre diferentes diámetros de peso seco, que eran utilizados para la evaluación en la estabilidad de los agregados obtenidos en la labranza.

La fuerza aplicada a los agregados era la energía máxima necesaria para deshacer individualmente a los agregados, pero sus datos variaban

debido a la utilización de discos dentados tándem, puesto que tienden a producir agregados más grandes y resistentes. Los agregados que fueron formados durante el proceso de labranza con un contenido de humedad mayor al límite inferior plástico, eran más grandes, puesto que requieren mayor fuerza para poder deshacer el agregado un bajo volumen de humedad (Humedad Inferior)

## **2.6 Método empleado para estimar el límite seco laborable del suelo con la menor energía aplicada.**

Cadena, et al. (2002). Realizo un estudio en la zona tropical de Veracruz para determinar los rangos laborables de dos tipos suelo. En este estudio el rango de laborabilidad de los suelos de esa zona fue cuantificado determinando en campo, los efectos de los implementos sobre la estructura del suelo y midiendo la energía específica aplicada por la combinación tractor-implemento, lo cual fue hecho dentro y fuera de los rangos del estado friable teórico del suelo, dando como resultado que el rango laborable en campo real fue más pequeño que el estado friable teórico de los suelos.

Cadena, et al. (2002), y Hoogmoed, et al. (2003). Describen el método que se usan para estimar límite seco laborable del suelo con la menor energía aplicada.

Mencionan que las estimaciones de la permeabilidad del aire se requieren para predecir o para evaluar el funcionamiento de un sistema usando los modelos analíticos y numéricos disponibles. Los métodos que describen para estimar la permeabilidad del aire del suelo son: método indirecto, de laboratorio y el método de campo.

Hoogmoed, et al. (2003). Realizo otro estudio en la zona Tropical de Veracruz para determinar los rangos laborables del suelo. Este fue realizado en laboratorio, donde el límite seco de laborabilidad fue determinado mediante la prueba de la caída. Los resultados en términos de tensión de la humedad del suelo resultaron más bajos comparados con los de campo.

## **2.7 Estudios de laborabilidad en el suelo para zonas tropicales.**

Pla Sentís 2003. Realizo estudios en regiones deficitarias de precipitación de lluvias altamente estacionales, la labranza y las prácticas afines de conservación de agua son muy importantes para lograr buenas condiciones físicas del suelo, obteniendo a su vez un buen tamaño en las partículas de los de agregados y asegurar una aceptable productividad de los cultivos.

## **2.8 Parámetros físicos del suelo en condiciones bajo laboreo y no laboreo.**

Larney y Kladvko, (1989). Proponen en forma general, la utilización de labranzas conservacionistas como una forma de reducir o evitar los efectos negativos de la agricultura continuada, tratando de restituir las buenas condiciones estructurales del suelo.

Nesmith (1987), Mahboubi (1993), Chagas (1994). Proporcionan información con resultados respecto al efecto de los distintos sistemas de labranza sobre las propiedades físicas y químicas del suelo. En las que las condiciones de suelo, la rotación de cultivos y el tiempo desde que se aplican las labores varían, bajo el sistema de siembra directa, debido a que se produce un incremento en la compactación, resistencia a la penetración y contenido de agua para la capa arable. El incremento en la compactación

podría restringir el abastecimiento de agua, aire, y la disponibilidad de nutrimentos.

Mahboubi, Chagas (1993-1994). Por otro parte, como una consecuencia favorable de los sistemas que emplean el rastrojo (materia orgánica) en superficie, se detectó que presenta un incremento en la proporción de carbono orgánico y en la estabilidad de los agregados. Relacionando este aumento en la proporción de materia orgánica con la compactación, se encontró que en la superficie los valores de porosidad totalmente mayores en suelos no trabajados, en comparación con suelos labrados. Asimismo, Thomas (1996) encontró por debajo de esa capa rica en materia orgánica una zona más empobrecida donde aumentaba la compactación.

## **2.9 Distribución de porosidad.**

Thomasson, (1978). Empleando el Modelo Capilar, fundamentado en valores arbitrarios del diámetro de poros, puede resultar útil para explicar la retención o circulación de agua en el suelo, pero no a los efectos de prever la evolución de este espacio poroso bajo las acciones propias que conducen a la implantación y desarrollo de un cultivo. Se trata de diferenciar, en el volumen total de poros, diferentes fracciones que resultan de la acción de alguno de los factores de variación de ese volumen. Es decir, clasificar los poros según su origen (Stengel, 1979).

Barnes y Ellis (1979). Según estos autores, la explicación más probable del aumento de poros continuos en los suelos no labrados está asociada a las grietas que se producen entre los elementos estructurales. Ambos, creen que puede deberse también a una mayor actividad de las lombrices. Este aspecto también fue cuantificado por Battista en el año de 1997, quienes encontraron por debajo de la capa superficial cubierta por rastrojo de soja, una zona de gran porosidad estructural por acción de las lombrices.

Por otro parte, otros autores como: Bonne (1976), Pidgeon y Soane (1977), Gantzer y Blake (1978), y Lindstrom (1984), coincidieron en señalar dos características de los suelos bajo siembra directa con relación a sistemas convencionales. Los valores de densidad aparente del suelo son superiores y el volumen de los poros (con diámetros equivalentes mayores a 50mm), resulta menor en los horizontes superficiales. Sin embargo, para Henderson (1979), siempre que las condiciones físicas del suelo sean favorables para el desarrollo de las raíces, la porosidad presente debe garantizar el agua y aire necesarios, el laboreo no tiene efecto alguno sobre el cultivo

## **2.10 Materia orgánica e influencia sobre las propiedades físicas del suelo.**

Quiroga (1998). Indica que la evaluación edáfica que resulta más sensible a los efectos de manejo permite, respecto a otras propiedades, anticipar el sentido de los cambios ocurridos en los suelos (degradación, conservación, recuperación).

La magnitud y oportunidad de estos cambios resulta frecuentemente dependiente de la condición inicial de los suelos, de los efectos de los distintos sistemas de labranza y secuencia de los cultivos sobre los contenidos de materia orgánica y propiedades físicas del suelo. La mayoría de los estudios muestran una influencia significativa de la siembra directa sobre los contenidos de materia orgánica y las propiedades físicas del suelo: densidad aparente, densidad aparente máxima, susceptibilidad de la compactación, distribución de tamaño de agregados, estabilidad estructural, retención de agua, etc.

Sin embargo la condición inicial en los suelos que incorporan siembra directa pueden anular los efectos positivos de este sistema sobre el contenido de materia orgánica y propiedades físicas asociadas.

### **2.11 Efecto de la labranza sobre la estructura del suelo.**

Figuroa y Ventura 1990. Indican que la estructura del suelo se considera como el conjunto de las unidades elementales de diferente tamaño y nivel de organización, que presenta un arreglo específico en el espacio y una dinámica en el tiempo característica de cada tipo de suelo. Los suelos sin estructura no existen, debido a que en cualquier suelo hay un número dado de niveles de organización estructural, que puede ser igual a uno o más. Sin embargo el proceso de agregación no se presenta en todos los suelos. La tendencia actual en el laboreo de los suelos debe ser así el uso de sistemas de labranza que permite un ahorro de energía y propicie un deterioro mínimo de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. En la actualidad, para labrear el suelo se han diseñado implementos agrícolas con el objetivo de lograr menor deterioro de la estructura y obtener mayor rendimiento en la producción, aunado con el empleo de nuevas técnicas agrícolas.

El laboreo de suelo con los implementos tradicionales (arado de discos o vertedera), es una práctica agrícola que la investigación está demostrando con la una posible causa de erosión, compactación, pérdida de humedad y aumento en los costos de producción cuando se usa con exceso. Pues es difícil de asegurar si los métodos tecnificados de labranza más recomendables en algunas zonas son adecuadas para los suelos y condiciones climáticas y socioeconómicas de otra zona particular, y es mucho más difícil precisar si esta misma tecnología puede tener ventajas sobre aquella tradición por los agricultores en áreas marginadas.

Braunack y Dexter 1989. Indica que la cama de siembra es la capa de suelo que se ha labrado para producir una condición que promueva la germinación, emergencia y el crecimiento de las plantas. Esta condición se logra a través de la labranza y dado que esta altera la distribución del tamaño de agregados, también afecta las propiedades físicas y químicas del suelo. El tamaño de agregados en la cama de siembra juega un papel considerable

en el desarrollo de los cultivos e interactúa con otros factores en el rendimiento final. En general se ha sugerido que las condiciones ideales para una cama de siembra son las producidas por agregados no menores que 0.5-6.0mm (Russell 1973).

Cruz 1992. Las necesidades de la energía en la agricultura han crecido rápidamente en todo el mundo en los últimos 15 años, en particular por ello es necesario aplicar la mecanización agrícola, la cual no debe confundirse con tractorización, pues esta última es el empleo de la tracción mecánica y solo es un componente más de la mecanización agrícola. En México, el 93.5% de las unidades de producción poseen superficies menores a 20 Ha., el uso o instrucción de la tracción mecánica se dificulta cuando la extensión de las unidades de producción son pequeñas e irregulares topográficamente.

Kaurichev 1984. Indica que la resistencia mecánica del suelo se define como una medida de la facilidad con la cual un objeto puede ser introducido o manejado dentro del suelo. Existen dos formas de estimar la resistencia a la penetración y la resistencia al corte del suelo, estas se miden con un penetrómetro y una veleta de corte respectivamente. La distribución del tamaño y la estabilidad de agregados se determinan mediante el método de tamizado en seco y en húmedo, respectivamente. Con el tamizado en seco se calcula el coeficiente de estructuración del suelo (E).

$$E=A/B$$

Donde:

E: es el coeficiente de estructuración del suelo, adimensional.

A: indica la suma de tamaño de agregados desde 0.25 – 10mm.

B: indica la suma de los agregados menores a 0.25 y mayores que 10mm.

Cuando mayor sea el valor de E más estructurado estará el suelo.

## **2.12 Variación de materia orgánica y estabilidad de los agregados**

Gutierrez, et. al., 1999. Menciona que dentro de las características físicas de un suelo, la estabilidad de los agregados ocupa un papel muy importante ya que de ella dependen muchos factores como la tendencia a encostrarse y a compactarse que tiene el mismo, y con ello la pérdida de la porosidad total, capacidad de almacenar agua, entre otras cosas. La estabilidad estructural depende principalmente del sistema de labranza, pero también tienen gran influencia los cultivos.

Royo, et. al., 1998. Dice que el contenido de materia orgánica esta muy relacionado con la estabilidad de los agregados, debido al efecto cementante de la misma. La materia orgánica es un indicador típico de degradación de suelos, dado por el bajo contenido de la misma que presenta este tipo de suelos. La principal pérdida de materia orgánica se da principalmente por la mineralización de la misma, que se ve favorecida por la labranza, sobre todo por el exceso de esta, ya que desmenuza el rastrojo y airea el suelo, factores que favorecen este proceso, y si a esto le sumamos las elevadas temperaturas que caracterizan la zona, se llega a una marcada disminución de su contenido, en pocos años de agricultura.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Ubicación del sitio experimental**

El proyecto fue llevado a cabo dentro de las instalaciones experimentales del bajo de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), la cual se encuentra ubicada en la ex hacienda de Buenavista, localizada 7Km al sur de Saltillo, Coahuila, México, teniendo las coordenadas  $100^{\circ} 59' 27''$  longitud oeste y  $25^{\circ} 23' 42''$  latitud norte, a una altitud de 1742 msnm. La principal vegetación y sus cultivos predominantes son principalmente nogales. El clima que se presenta es templado con veranos cálidos y lluvias intermedias en verano e invierno. La temperatura media anual presentada es de  $19.8^{\circ}\text{C}$ , con una precipitación media anual de 455mm. Con una evaporación anual que oscila entre los 1956mm. Con vientos dirección noreste con velocidades de 22.5 km/hr.

La textura del suelo con el que se trabajó es Migajón Arcilloso, con un contenido de 32.5% de Arena, 33.4% de Limo, 34.1 de Arcilla y 2.09% de Materia Orgánica. De acuerdo al triángulo de texturas USDA corresponde a un suelo de texturas Migajón Arcilloso, por lo que es considerado un suelo medianamente rico.

#### **3.2 Procedimiento para trabajo de campo**

Se identificó el suelo de uso agrícola en la UAAAN para ser preparado adecuadamente una extensión de  $4\text{m}^2$ , como se observa en la (Fig. 3.1) formando bordos a cada uno de sus lados en sus extremos, para posteriormente ser saturado con una lamina de agua de 15 cm. Se tiene que dejar secar durante un periodo de tres días el contenido de humedad (después de haber aplicado el agua), una vez que el suelo cuenta con un estado apto para poder ser laborado

se da un paso con el arado de tres discos conectado a un tractor New Holland 6810WP (Fig. 3.2), para posteriormente obtener muestras de dicho suelo, serán 10 muestras terrones a diario, obteniéndolas en forma de zig-zag y se coloca cuidadosamente en una caja de plástico para ser trasladadas a el laboratorio de pruebas.



Fig. 3.1 Suelo trabajado en campo



Fig. 3.2 Tractor New Holland 6810 WP

### 3.3 Procedimiento para trabajo en laboratorio

Para poder llevar acabo el análisis del suelo, se preparan muestras, tomando en cuenta las características del agregado obtenido en campo, las cuales son: peso, dimensiones "altura, longitud y espesor". Los terrones fueron analizados en laboratorio para determinar el contenido de humedad y también el valor específico de humedad mínima, a la cual un suelo puede ser laborado, se obtuvo el tamaño de agregados para establecer el cultivo (limite inferior de laborabilidad) siendo determinado en laboratorio mediante el método de energía aplicada con la prueba de la caída y el estado de humedad del suelo.

### 3.3.1 Medición de las dimensiones de los terrones

En este apartado de la evaluación en laboratorio, consiste en lo siguiente; una vez que se cuenta con la extracción de las muestras obtenidas en campo, procede a medir cuidadosamente cada una de sus dimensiones del agregado, para obtener su Altura, Longitud y Espesor, (Fig. 3.3), mediante la utilización de un vernier digital, esta información podremos obtener su área específica del agregado. El cual es colocado dentro de una caja de impacto (Fig. 3.4).



Fig. 3.3 Determinación de longitud, altura y espesor del terrón.



Fig. 3.4 Caja construida y colocación del agregado dentro de la caja de pruebas.

### 3.3.2 Procedimiento para la fracturación y disgregación de los terrones

Una vez que el terrón se encuentra dentro de la caja de impacto, se aplica energía cinética, con la utilización de dos determinados pesos específicos, utilizando una madera de 355 gramos y un metal de 1.81 kilogramos (Fig. 3.5), para determinar el tamaño del agregado, mediante la fracturación del mismo (Fig. 3.6).



Fig. 3.5 Madera y Metal utilizado para la disgregación del agregado.

### 3.3.3 Calculo de la energía mediante su ecuación

La energía es calculada mediante la ecuación:

$$E = ((m \cdot g \cdot (h_1 + h_2)) / G)$$

$$h_1 = h_C - at$$

Donde:

E= Energía (Joules/Kg.)

M= Masa del Metal o Madera (kg.)

g= Gravedad (metros\*seg<sup>2</sup>)

h<sub>1</sub>= Altura del terrón desde la base de la caja (metros)

h<sub>2</sub>= Altura del PVC (metros)

h<sub>C</sub>= Altura de la caja (metros)

G= Peso del agregado (kg.)

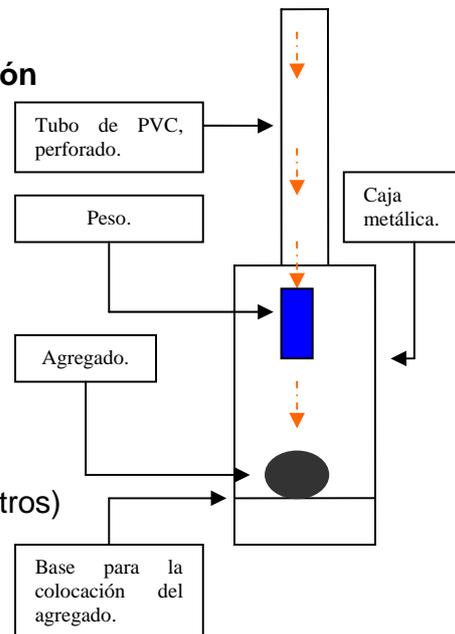


Fig. 3.6 Diagrama de la energía aplicada a un agregado.



Fig. 3.7 Colocación y fracturación del agregado dentro de la caja de pruebas.

El suelo fracturado, fue recolectado en una charola de aluminio, retirado muy cuidadosamente de la base y de sus alrededores de la placa deslizante, con la utilización de una brocha, y a su vez, fue extraída la placa metálica deslizante, para retirar los residuos restantes de agregados (Fig. 3.7).



Fig. 3.8 Extracción del agregado.

### 3.3.4 Determinación del peso del agregado y secado.

El suelo recolectado dentro de cada una de las charolas (Fig. 3.8), fue pesado en una bascula granataría (Fig. 3.9), para determinar su humedad inicial mediante la utilización del método gravimétrico, con la cual es introducido el suelo en el horno eléctrico (Fig. 3.10), a una temperatura constante de  $105^{\circ}\text{C}$ , con un tiempo mínimo de 24 horas (Fig. 3.11). Ya transcurrido el tiempo mínimo de 24 horas, se continúa con la extracción de las muestras, para así pesar cada una de ellas y poder determinar el contenido de humedad perdido.



Fig. 3.9 Suelo recolectado en charolas.



Fig. 3.10 Bascula granataría para el pesar las muestras de suelo.



Fig. 3.11 Horno eléctrico (Estufa)

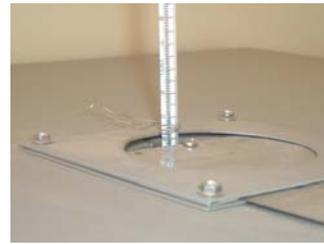


Fig. 3.12 Termómetro indicador de temperatura de 105°C.

$$\% H = \left( \frac{P_{ss} - P_{sh}}{P_{ss}} \right) (100)$$

Donde:

H = humedad en %.

P<sub>ss</sub> = peso de suelo seco gramos.

P<sub>sh</sub> = peso de suelo húmedo gramos.

### 3.3.5 Tamizado de las muestras

Una vez extraído y pesado el suelo del horno. Se lleva a cabo el tamizado del agregado, para ello se seleccionan cinco de los tamices a utilizar (Fig. 3.12), para cribar el suelo, tomando en cuenta que estos deben de llevar un orden adecuado para su respectiva criba.



Fig. 3.13 Tamices de 44.45, 15.87, 7.93, 4.76 y 1.41 mm de abertura.

El orden de los tamices es presentado de la siguiente manera, de acuerdo a su Diámetro Medio de Agregado, como es mostrado en la figura anterior.

- A. Tamiz de 44.45 mm de abertura.
- B. Tamiz de 15.875 mm de abertura.
- C. Tamiz de 7.93 mm de abertura.
- D. Tamiz de 4.760 mm de abertura.
- E. Tamiz de 1.410 mm de abertura.

Mediante la ecuación siguiente, determinamos el diámetro medio de los agregados.

$$DMA = \frac{1[(A * 50) + (B * 30.16) + (C * 11.9) + (D * 6.34) + (E * 3.08) + (F * 1)]}{W}$$

Donde:

DMA = diámetro medio de agregado grs.

A, B, C, D, E, F = peso del agregado respecto a cada abertura de tamiz grs.

W = Peso total del suelo.

Las muestras se colocaron dentro de los tamices “estos fue realizado en el laboratorio de mecánica de suelos, del departamento de maquinaria agrícola”, y es movido ligeramente de izquierda a derecha, para que sea cernido a través de estos (Fig. 3.13), el suelo obtenido de cada uno de los tamiz utilizados (Fig. 3.14), es pesado nuevamente, con la finalidad de obtener la perdida de suelo en el transcurso de operaciones realizadas en el manejo del él.



Fig. 3.14 Tamizado en laboratorio.



Fig. 3.15 Suelos de 44.45, 15.87, 7.93, 4.76 y 1.41 mm de abertura.

En la Fig. 3.14 se muestran los suelos ya tamizados, ambas figuras corresponden al suelo estudiado.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Características del suelo estudiado.

El suelo seleccionado (Fig. 4.1), una vez analizado en el laboratorio fue determinado su contenido 32.5% de arena, 33.4% de Limo, 34.1 de Arcilla y de acuerdo al triángulo de texturas del USDA (Departamento de Agricultura de Estados Unidos) corresponde a un **Suelo Migajón Arcilloso** con 2.09% de Materia Orgánica por lo que se considera mediano en M.O.



Fig. 4.1 Suelo de textura migajón arcilloso.

### 4.2 Resultados obtenidos de un suelo migajón, determinando su densidad aparente y porosidad, relacionados con el contenido de humedad.

En la metodología se describió como la muestra fue preparada, para después realizarse la prueba de la caída. Para el suelo de textura migajón arcilloso se preparó de acuerdo a diferentes por cientos de humedad

desde suelo seco hasta un suelo saturado, las humedades encontradas en este análisis fueron desde; 0.1-5%, 6-10%, 11-15%, 16-20%, 21-25%, 25-30% y en algunos casos de 31-35% y 35-40% (fig. 4.3) y se realizaron 14 repeticiones de prueba de la caída.



Fig. 4.2 Suelo migajón a diferentes contenidos de humedad.

#### **4.2.1 Resultado del DMA respecto a la energía aplicada, utilizando madera para la disgregación del mismo.**

En la fig. 4.3 se muestra la relación el diámetro medio del agregado y la energía aplicada, de acuerdo a los datos obtenidos en laboratorio, utilizando un objeto de madera para la disgregación del agregado, mediante la prueba de la caída, en esta primera prueba se analizó la humedad de 6-10%, para el suelo migajón.

Los datos obtenidos de en laboratorio fueron utilizados para hacer una regresión, que resultó en una curva de potencia de segundo grado con un coeficiente de determinación  $r^2 = 0.81$ , lo cual significa que existe una relación adecuada entre las variables en estudio, debido a que el coeficiente de relación tiende a uno. En la gráfica se puede ver que a un determinado

por ciento de humedad mínimo, el diámetro medio del agregado es mas grande, conservando una misma humedad, a medida que al aplica una mayor energía, este a su vez va disminuyendo el tamaño.

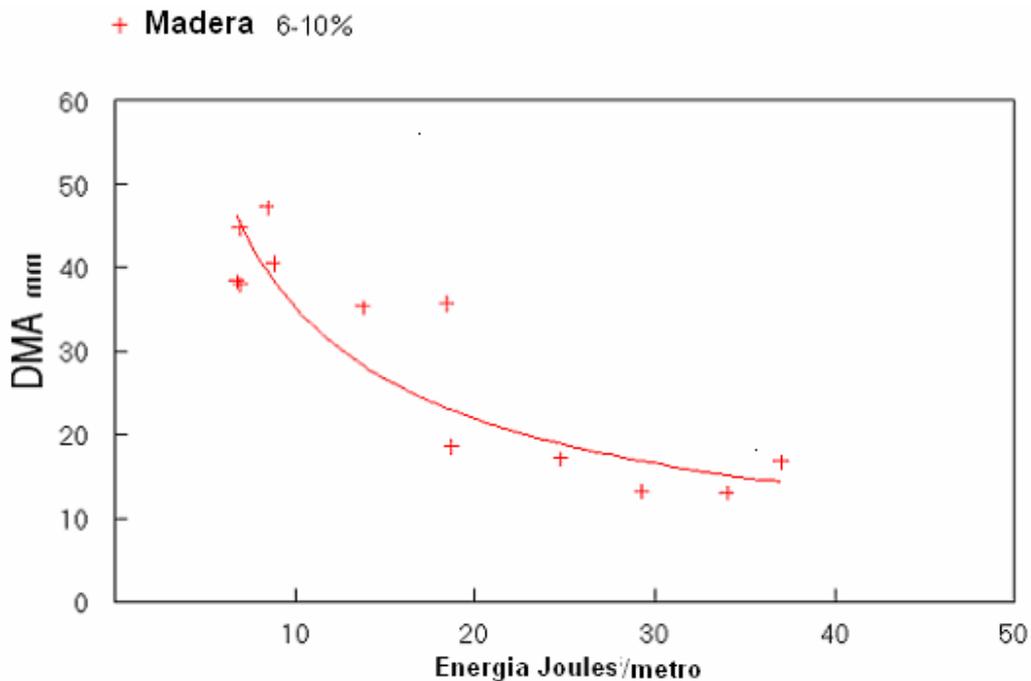


Fig. 4.3 Relación del DMA y la energía aplicada para un suelo de textura migajón.

En la fig. 4.4 se muestra la relación el diámetro medio del agregado y la energía aplicada, con relación a los datos obtenidos en laboratorio, utilizando un objeto de madera para la disgregación del agregado, mediante la prueba de la caída, en esta prueba se analizo de 11-15% de humedad, para el mismo suelo “migajón”.

Los datos obtenidos de en laboratorio fueron utilizados para hacer una regresión, que resulto en una curva de potencia de segundo grado con un coeficiente de determinación  $r^2 = 0.62$ , siendo un comportamiento similar a la grafica anterior, lo cual significa que existe una relación adecuada entre las variables en estudio, con relación al diámetro medio del agregado y la energía aplicada. En la gráfica se observa que a un determinado por ciento

de humedad mínimo, el diámetro medio del agregado es mas grande, conservando una misma humedad, a medida que al aplicar una mayor energía, este a su vez va disminuyendo su tamaño.

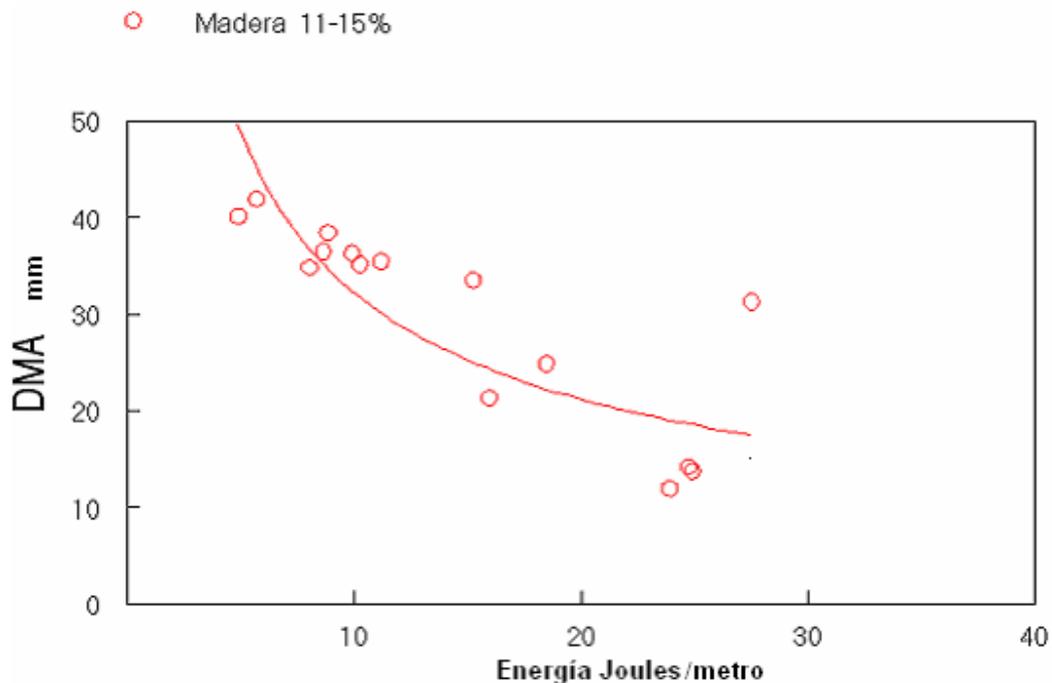


Fig. 4.4 Relación del DMA y la energía aplicada para un suelo de textura migajón.

En la fig. 4.5 se muestra la relación el diámetro medio del agregado y la energía aplicada, con relación a los datos obtenidos en laboratorio, utilizando una madera para la disgregación del agregado, mediante la prueba de la caída, en esta prueba se analizo con un 16-20 % de humedad, para un suelo migajón.

Los datos obtenidos de en laboratorio se utilizaron para hacer una regresión, que resulto en una curva de potencia de segundo grado con un coeficiente de determinación  $r^2 = 0.0064$ , estadísticamente no presenta un comportamiento adecuado, debido a que el coeficiente de determinación se encuentra muy lejano al valor estadístico (1.0), con respecto a las graficas anteriores, lo cual significa que existe mínima relación entre las variables en

estudio, con relación al diámetro medio del agregado y la energía aplicada. En la gráfica se observa que a un determinado por ciento de humedad mínimo, el diámetro medio del agregado es mayor, conservando una misma humedad, a medida que al aplicar una mayor energía, este a su vez disminuyendo su tamaño. Por lo tanto la grafica no muestra una adecuada relación debido a que los puntos analizados son muy pocos, es por ello que el coeficiente de determinación es muy pequeño.

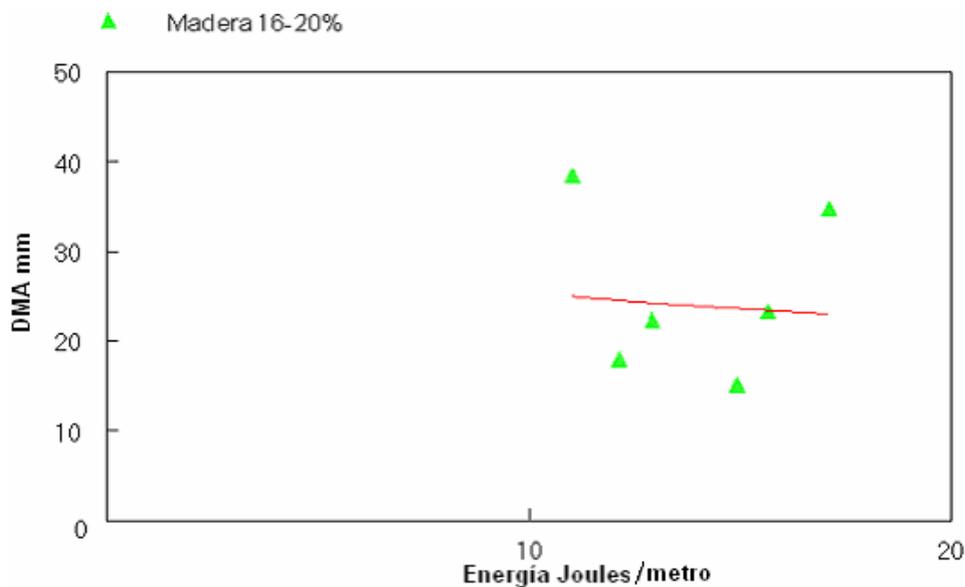


Fig. 4.5 Relación del DMA y la energía aplicada para un suelo de textura migajón.

#### 4.2.2 Segunda evaluación de los resultados del DMA respecto a la energía aplicada, utilizando madera para la disgregación.

En esta segunda evaluación debemos de tomar en cuenta que el suelo se encontraba aun mas saturado a diferencia de la primer evaluación, pues los por cientos de humedades fueron muy variados, pues para la primer evaluación obtuvimos humedades desde: 0-5%, 6-10%, 11-15%, 16-20%, 21-25%, 25-30%, 31-35% y 35-40% y para la segunda evaluación se obtuvieron humedades de: 21-25%, 26-30% y 31-35%; con tres repeticiones

consecutivamente, cada una con diez pruebas, del igual procedimiento con respecto a las primeras humedades obtenidas.

En la fig. 4.6 de la segunda evaluación, se observa la relación del diámetro medio del agregado y la energía aplicada, respecto con los datos obtenidos en laboratorio, utilizando un objeto de madera para la disgregación del agregado, mediante la prueba de la caída, analizando desde 21-25 % de humedad, para un suelo migajón.

Los datos obtenidos de en laboratorio se emplearon para hacer una regresión, que resulto en una curva de potencia de segundo grado con un coeficiente de determinación  $r^2 = 0.28$ , estadísticamente presenta un comportamiento similar a las grafica anteriores, excepto a la grafica 4.5, lo cual significa que existe poca relación de un 50% entre las variables en estudio, con relación al diámetro medio del agregado y la energía aplicada. En la gráfica se observa que a un determinado por ciento de humedad mínimo, el diámetro medio del agregado es mayor, conservando una misma humedad, a medida que al aplicar una mayor energía, este a su vez disminuyendo su tamaño. Por lo tanto esta grafica, presenta tendencias similares a la grafica 4.5, no muestra una adecuada relación debido a que los puntos analizados son mínimos, es por ello que el coeficiente de determinación es muy pequeño.

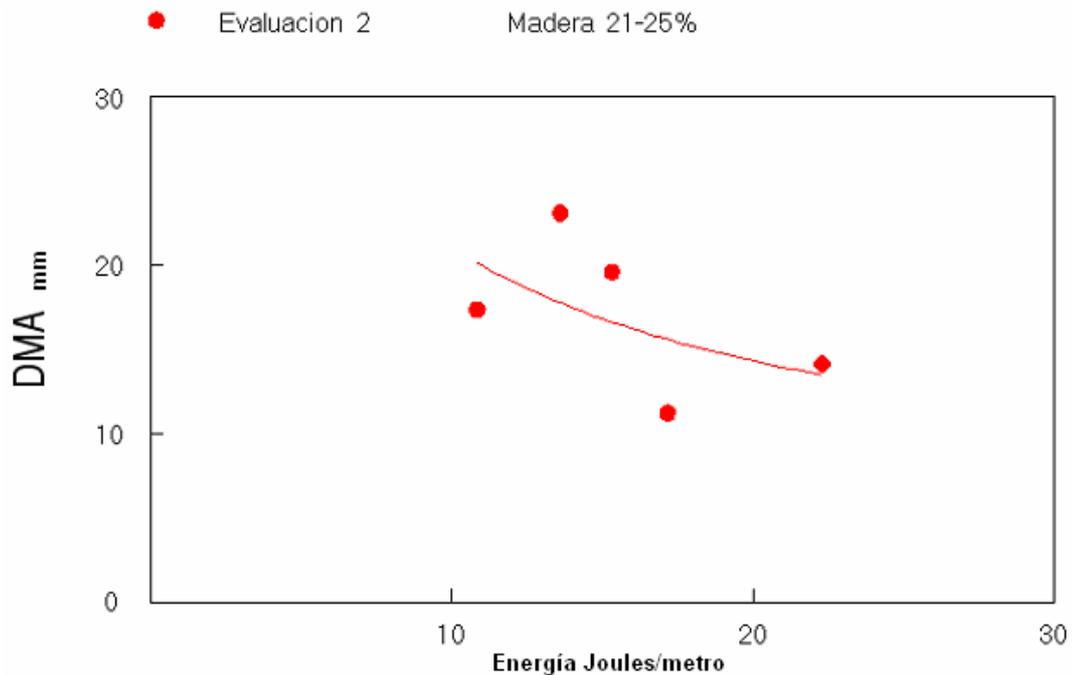


Fig. 4.6 Relación del DMA y la energía aplicada para un suelo respecto a la segunda evaluación de un suelo de textura migajón.

En la fig. 4.7 de la segunda evaluación, se muestra la relación del diámetro medio del agregado y la energía aplicada, de acuerdo a los datos obtenidos en laboratorio, utilizando un objeto de madera para la disgregación del agregado, mediante la prueba de la caída, en esta primera prueba se analizó la humedad de 31-35%, para el suelo migajón.

Los datos obtenidos de en laboratorio fueron utilizados para hacer una regresión, que resultó en una curva de potencia de segundo grado con un coeficiente de determinación  $r^2 = 0.79$ , lo cual significa que existe una relación adecuada entre las variables en estudio, debido a que el coeficiente de relación tiende a uno. En la gráfica se puede ver que a un determinado por ciento de humedad mínimo, el diámetro medio del agregado es mas grande, conservando una misma humedad, a medida que al aplica una mayor energía, este a su vez va disminuyendo el tamaño. Esta grafica presenta buena relación, pero debemos de tomar en cuenta que son tres

puntos que se están analizando, es por eso que descartara debido a que esto nos ocasionaría un error el estudio.

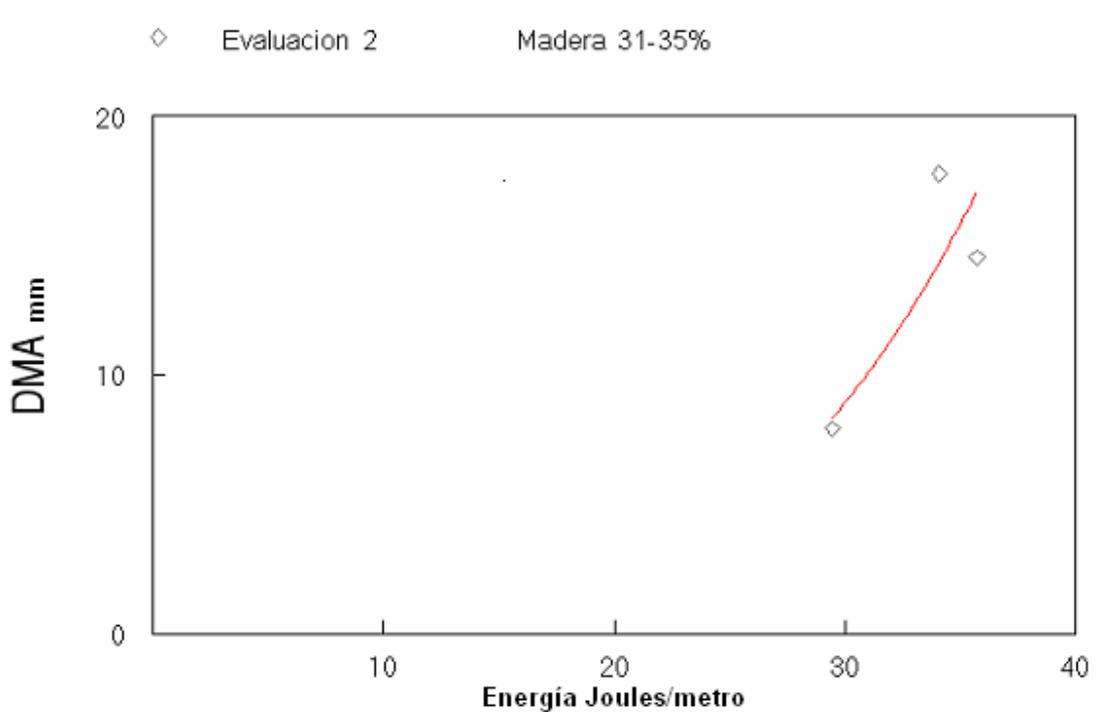


Fig. 4.7 Relación del DMA y la energía aplicada para un suelo respecto a la segunda evaluación de un suelo de textura migajón.

#### 4.2.3 Primera evaluación de los resultados obtenidos del DMA respecto a la energía aplicada, utilizando metal para la disgregación.

En la fig. 4.8 se muestra la relación del diámetro medio del agregado y la energía aplicada, con relación a los datos obtenidos en laboratorio, utilizando un metal para la disgregación del agregado, mediante la prueba de la caída, en esta prueba se analizo con un 6-10 % de humedad, para un suelo migajón.

Los datos obtenidos de en laboratorio se utilizaron para hacer una regresión, que resulto en una curva de potencia de segundo grado con un coeficiente de determinación  $r^2 = 0.12$ , estadísticamente no presenta un comportamiento adecuado, debido a que el coeficiente de determinación se encuentra muy lejano al valor estadístico, lo cual significa que existe poca relación entre las variables en estudio, con relación al diámetro medio del agregado y la energía aplicada. En la gráfica se observa que a un determinado por ciento de humedad mínimo, el diámetro medio del agregado es mayor, conservando una misma humedad, a medida que al aplicar mayor energía, este a su vez disminuyendo su tamaño. La grafica no muestra una adecuada relación debido a que el por ciento de humedad es pequeño, es por ello que el coeficiente de determinación es mínimo.

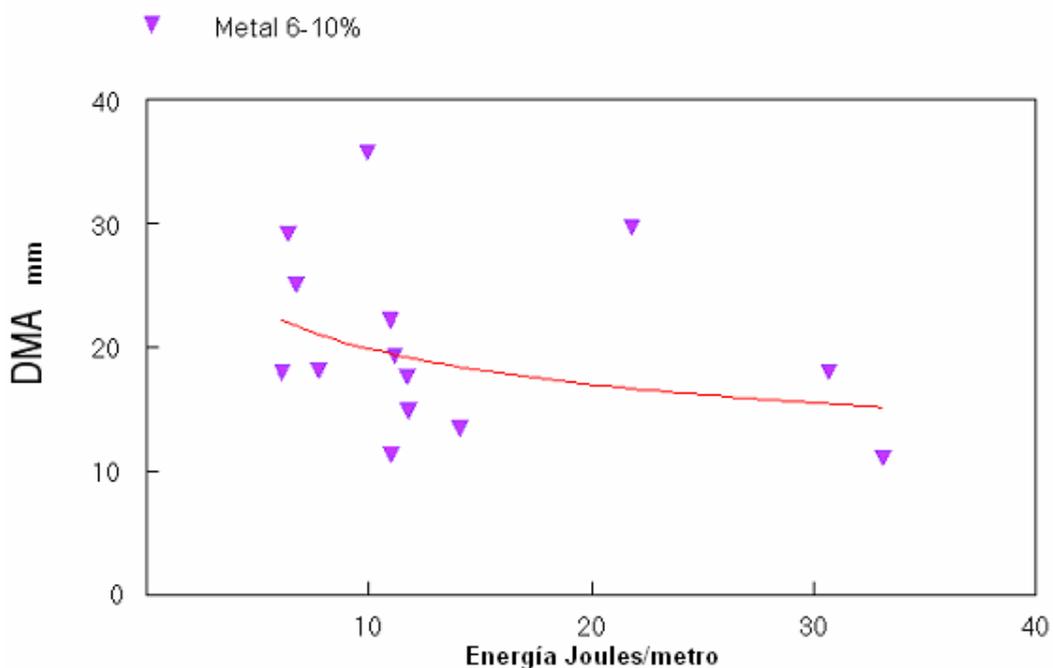


Fig. 4.8 Relación del DMA y la energía aplicada para un suelo de textura migajón.

#### **4.2.4 Segunda evaluación de los resultados del DMA respecto a la energía aplicada, utilizando metal para la disgregación.**

En esta segunda evaluación son evaluados los mismos por ciento de humedad, con respecto a la segunda evaluación de madera, tomando en cuenta que las humedades son iguales, pero el material empleado es diferente.

En la fig. 4.9 de la segunda evaluación, se muestra la relación del diámetro medio del agregado y la energía aplicada, de acuerdo a los datos obtenidos en laboratorio, utilizando un objeto de metal para la disgregación del agregado, mediante la prueba de la caída, en esta primera prueba se analizo la humedad de 21-25%, para el suelo migajón.

Los datos obtenidos de en laboratorio se utilizaron para hacer una regresión, obteniendo una curva de potencia de segundo grado con un coeficiente de determinación  $r^2 = 0.02$ , estadísticamente no presenta un comportamiento adecuado, debido a que el coeficiente de determinación se encuentra muy por debajo del valor estadístico, lo cual significa que existe mínima relación entre las variables en estudio, con relación al diámetro medio del agregado y la energía aplicada. En la gráfica se observa que a un determinado por ciento de humedad mínimo, el diámetro medio del agregado es mayor, conservando una misma humedad, a medida que al aplicar mayor energía, este a su vez disminuyendo su tamaño. La grafica no muestra una adecuada relación, debido a que la humedad presenta un por ciento aceptable, pero el problema para este análisis es el tipo de material utilizado, es por ello que el coeficiente de determinación es mínimo.

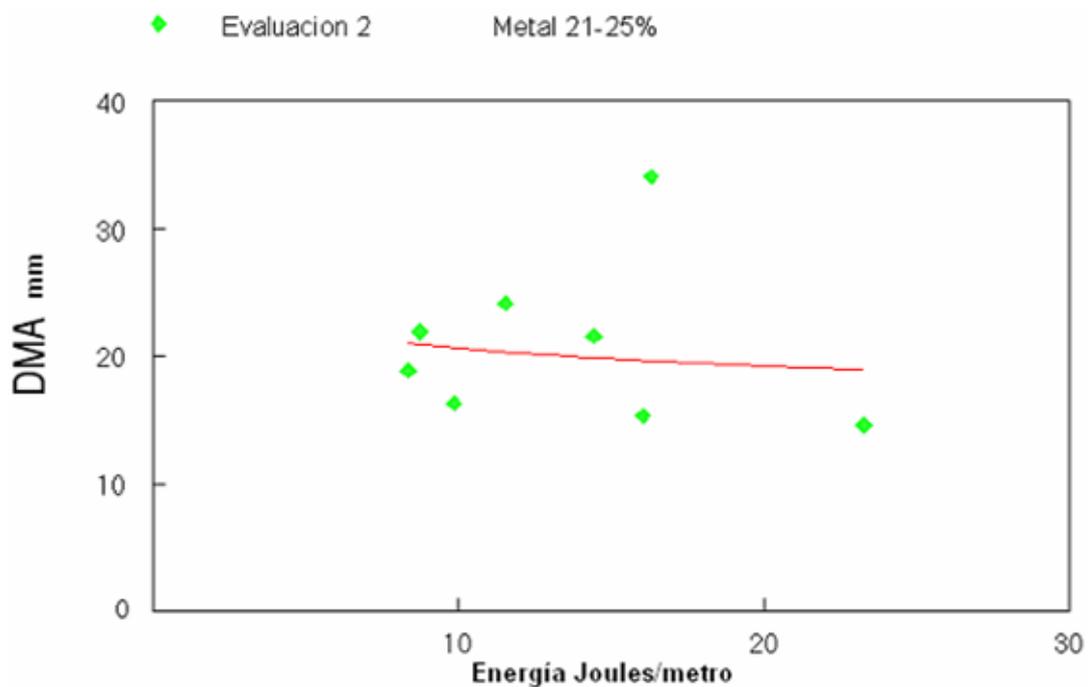


Fig. 4.9 Relación del DMA y la energía aplicada para un suelo respecto a la segunda evaluación de un suelo de textura migajón.

Las figuras que mostraron una buena relación estadística fueron las siguientes: fig. 4.3 ( $r^2= 0.81$ ) y la fig. 4.4 ( $r^2= 0.62$ ).

Por lo tanto se debe de tomar en cuenta las relaciones en los diferentes patrones de estudio, se deduce que los resultados están en función al material empleado y al contenido de humedad, debido a que en humedades con por cientos elevados, la aplicación de energía con metal ocasionaba compactación al hacer contacto metal-agregado, es por eso que en muchos de los casos los resultados no fueron los esperados, mas en cambio con la utilización de la madera, los resultados fueron mas factibles. A diferencia de los contenidos de humedad menores, con la utilización del metal, los resultados fueron mas favorables con respecto a la madera, los resultados obtenidos eran menores.

Otro aspecto que se tomo en cuenta fue que el contenido de humedad para algunos de los agregados no presentaba una homogeneidad adecuada, por lo tanto este es otro parámetro de suma importancia, al determinar el contenido de humedad del suelo mediante la aplicación de la energía en la prueba de la caída.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos entre el Diámetro Medio de Agregados y Energía aplicada de un determinado suelo estudiado, se puede deducir que los datos obtenidos en laboratorio, analizados estadísticamente no mostraron una semejanza adecuada en función a los materiales empleados (Madera y Metal).

De acuerdo al objetivo establecido se obtuvieron pocos resultados favorables, debido a que sus coeficientes de determinación  $r^2$ , fueron pocos los datos obtenidos, en función al número de análisis realizados, obteniendo un coeficiente de determinación para un suelo Migajón Arcilloso de  $r^2 = 0.81$ , y los demás coeficientes ( $r^2$ ) se encontraron por debajo de este valor. Siempre y cuando tomando en cuenta las diferentes humedades obtenidas.

De acuerdo a la hipótesis planteada se concluye que el límite inferior de laborabilidad, puede ser estimado en laboratorio, siempre y cuando se tengan un buen uso de material adecuado y un buen seguimiento, por lo tanto obteniendo el mínimo de humedad, podemos trabajar en los suelos agrícolas sin riesgo de alguna compactación.

## **Recomendaciones**

Se sugiere hacer más estudios empleando la prueba de la caída en laboratorio con diferentes tipos de texturas de suelo, obteniendo diferentes límites inferiores de laborabilidad y a su vez analizados, para poder hacer recomendaciones a productores. Debido a que los productores muchas veces utilizan inadecuadamente y en exceso la maquinaria agrícola, que en muchos casos no es la adecuada para la labor a realizar. Y no cuentan con este tipo de información respecto a las humedades adecuadas para trabajar, pues en muchas ocasiones realizan sus labores en base a su experiencia en campo.

Otra recomendación sugerida es la de validar la obtención de datos en este trabajo realizado en campo, pues con investigaciones que se enfoque en este estudio, pueden mejorarse técnicas empleadas para el estudio del límite inferior de laborabilidad, con la utilización de la prueba de la caída, obteniendo un parámetro más idóneo con respecto a nuevos resultados.

Se sugiere seguir realizando estudios, para poder recomendar sin ningún problema que contenido de humedad es el más adecuado.

## VI. LITERATURA CITADA

**Adam, K.M., Erbach, D.C., 1992.** Secondary tillage tool effect on soil aggregation. Trans. ASAE 35, 1771–1776.

**Balesdent, J.; Chenu, C.; Balabane, M. 2000.** Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. Soil Till. Res. 53: 215-230.

**Barnes BT and Ellis FB. 1979.** The effects of different methods of cultivation and direct drilling and disposal of straw residues on populations of earthworms. J. Soil Sci., 30: 669-679.

**Baver L. D., Gardner W. H., and Gardner W. R. 1980.** Física de suelos 1ª. Ed. En español, México. Unión tipográfica Editorial Hispano-Americana, S. A., 529 pp.

**Benites J., Castellanos A. 2003.** Mejorando de la humedad del suelo con agricultura de conservación. LEISA, Revista de Agro ecología, Septiembre 2003.

**Berntsen R., Berre B. 1992.** Fracturing of soil clods and the soil crumbling effectiveness of draught tillage implements. The Agricultural University of Norway, Department of Agricultural Engineering. P. O. Box 65, N-1432 Aas-NLH, Norway.

**Berntsen, R. and Berre, B. 2002.** Soil fragmentation and the efficiency of tillage implements. Soil and Tillage Research 64, 137-147.

**Bonne FR, Slager S, Miedma R, Eleveld R. 1976.** Some influences of zero tillage on the structure and stability of a fine textured levee soil. *Neth. J. Agric. Sci.* 24: 105-119.

**Braunack, M.V., and A.R. Dexter 1989.** Soil aggregation in the seedbed; a review. II. Effect of the aggregate sizes on plant growth. *Soil Tillage Res.* 14:281-298.

**Buhler, D.D. 1998.** Tillage systems and weed population dynamics and management. pp: 223-246. *In:* J.L. Hatfield, D.D. Buhler and B.A Stewart, eds. *Integrated Weed and Soil Management.* Ann Arbor Press. Chelsea, MI.

**Cadena Zapata, M., 1999.** Soil Workability as a basis for advice on tillage activities. Ph. D. Thesis. Wageningen University, The Netherlands, pp 144.

**Cadena Zapata M., Gaytán Muñoz T. (2004).** Desempeño de Implementos de Labranza en Términos de Consumo de Energía y Calidad de Trabajo. *Revista Agraria -Nueva Epoca- Año I · Vol. 1· No 3*

**Cadena Zapata M., Hoogmoed W.B., Perdok U.D., 2002.** Field studies to asses the workable range of soils in the tropical zone of Veracruz, Mexico. *Soil and Tillage research*, 68, 83-92.

**Chagas, C. I.; Marelli, H. J.; Santanatoglia, O. J., 1994.** Propiedades físicas y contenido hídrico de un Argiudol típico bajo tres sistemas de labranza. *Ciencia del Suelo*, Buenos Aires, v. 12, p. 11-16.

**Comish, P. S.; Lymbery, J. R. 1987.** Reduced early growth of direct drilled wheat in southern New South Wales: causes and consequences. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, Collingwood, v. 27, p. 869-880.

**Cruz 1992.** el papel de la tracción animal en la producción agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

**De Battista JJ, C Pecorari and R Albrecht. 1997.** Evaluación del estado estructural en suelos con agricultura continua en siembra directa. INTA, EEA Rafaela. Información Técnica N° 205. 12 páginas

**Desir, G. Sirvent, J. 2001.** Effect of fluid organic matter addition on soil aggregate stability (Mononegros, Ebro Depression). Departamento de ciencias de la tierra. Universidad de Zaragoza, pp 21-32.

**Dexter 1981.** Two mechanisms for age-hardening of soil. *Journal of Soil Science* 39, 163-175.

**FAO, 1993.** Guidelines: land evaluation for rainfed agriculture. Rome, FAO Soils Bulletin 52.

**Ferreras L. A., De Battista J. J., Ausilio A. y Pecorari C., 2001.** Parámetros físicos del suelo en condiciones no perturbadas y bajo laboreo. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, Vol 36, No.1, Brasilia jan 2001.

**Figueroa S., B. y E. Ventura R. Jr. 1990.** Instructivo para la evaluación de proyecto. Efecto de la labranza en la estructura del suelo y su relación con el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos. Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícolas y Pecuarias. Salinas, San Luis Potosí, México.

**Foth Henry D., 1986.** Fundamentos de la ciencia del suelo. Editorial CECSA, 2ª reimpresión, México. pp 443.

**Franzluebbers, A.J. 2002.** Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil Till. Res.* 66: 95-106.

**Galantini J.A., Iglesias J.O., Maneiro, C., Santiago L., Kleine,** Sistemas de labranza en el sudoeste bonaerense. efectos de largo plazo sobre las

fracciones orgánicas y el espacio poroso del suelo C. RIA, 35 (1): 15-30. Abril 2006. INTA, Argentina

**Gantzer CJ and GR Blake. 1978.** Physical characteristics of Le Sueurs clay loam soil following no till and conventional tillage. Agron.J. 70: 853-857.

**García Navarro A. 2005,** Universidad de Extremadura, Departamento de Biología y Producción de Vegetales, Área de Edafología y Química Agrícola.

**Gutierrez, N. C.; J. R. Gutierrez; C. Venialgo Ch.. 1999.** Efectos de distintos sistemas de labranza y cultivo sobre la estabilidad de agregados y el contenido de materia orgánica, en un aptustol óxico. Comunicaciones Científicas y tecnológicas. Tomo V.

**Hadas and Wolf 1984.** Refinement and reevaluation of the drop shatter soil fragmentation method. Soil Till. Res. 4, 237-249.

**Hall, D.G.M., Reeve, A.J., Thomasson and Wright, V.F.1977.** Soil Survey. Technical Monograph N° 9. Water Retention Porosity and Density of Field Soils. Chapter I. Harpeneden.

**Henderson DW. 1979.** Soil management in semiarid environments. In: Crop productivity in arid and semiarid environments. Hall A.E. (ed). Ecol. Studies N° 35. Springer Verlong: 224-237.

**Ildefonso Pla Sentís. 2003.** Física de Suelos e Hidrológica en América Latina. Departamento de Medio Ambiente y Ciencia del Suelo. Universidad de Lleida, Lleida, España. (ipla@macs.UdL.es).

**Kaurichev, I. S. 1984.** Practicas de edafología. Traducido del ruso por Esther Vicente. Mir. Moscú, Rusia.

**Kohnke, H. 1968.** Soil physics. New York, Mac Grow-Hill, p.118-142.

**Lal, R. (1994).** Methods and guidelines for assessing sustainable use of soil and water resources in the tropics. USDA-The Ohio State University. SMSS Technical Monograph No. 21.

**Larney, F. J.; Kladivko, E. J. 1989.** Soil strength properties under four tillage systems at three long-term study sites in Indiana. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 53, p. 1539-1545

**Larson, 1964.** Parámetros del suelo del W.E. para las necesidades de evaluación de la labranza y operaciones. Sociedad de los procedimientos de la ciencia de suelo. América, Madison, V. 28, N. 1, P. 118-122, 1964

**Lindstrom MJ, WB Voorhees and CA Onstad. 1984.** Tillage system and residue cover effects on infiltration in northwestern corn belt soil. I. Soil Water Conservation 39: 64-69.

**Mahboubi, A. A.; Lal, R.; Faussey, N. R., 1993.** Twenty-eight years of tillage effects on two soils in Ohio. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 57, p. 506-512.

**Moraes Sa, J.C. 2003.** Rastrojos: Alimento del suelo. X Congreso Nacional de AAPRESID, Rosario (SF), 135-138.

**Moro E. C., Venialgo C. A., Gutierrez N. C., Drgan D., Asselborn A., Oleszczuk J. D.** Conservación y Manejo de Suelos - Facultad de Ciencias Agrarias - UNNE., Sargento Cabral 2131 - (3400) Corrientes - Argentina.

**Nesmith, D. S.; Radcliffe, D. E.; Hargrove, W. L.; Clark, R. L.; Tollner, E. W., 1987.** Soil compaction in double-cropped wheat and soybeans on an Ultisol. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 51, p. 183-186.

**Ortiz-Cañavate, J. Y J.L. Hernans. 1989.** Técnica de la Mecanización Agraria. Ediciones MundiPrensa. Madrid.

**Oussible, M.; Crookston, R. K.; Larson, W. E. 1992.** Subsurface compaction reduces the root and shoot growth and grain yield of wheat. *Agronomy Journal*, Madison, v. 84, p. 34-38.

**Pidgeon JD and BD Soane. 1977.** Effects of tillage and direct drilling on soil properties during the growing season in a long –term barley monoculture system. *J. Agric. Sci. Camb.* 88: 431-442.

**Quiroga A., Ormeño O., Peinemann N., 1998.** Efectos de la siembra directa sobre propiedades físicas de los suelos. *Siembra directa*. Panigatti JL, Marelli H, Buzchiazzo D, Gil R (Editores). 333pp.

**Royo, D.; N. Gutierrez; C. Venialgo; J. R. Gutierrez.1998.** Efectos de los monocultivos sobre las propiedades físicas de los suelos de la serie Tizón. *Comunicaciones Científicas y tecnológicas*. Tomo III.

**Russell, E.W. 1973.** Soil conditions and plant growth. 10<sup>th</sup> ad. Longman. London, England.

**Schmidt, C. P.; Belford, R. K., 1994.** Increasing the depth of soil disturbance increases yields of direct drilled wheat on the sandplain soil of Western Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, Collingwood, v. 34, p. 777-781.

**Simelanga T. E. and Have, H. 1992.** Estimation of soil tillage work days in a semiarid area. *J. agric. Engng. Res.*, 51: 81-89.

**Stengel P. 1979.** Utilization de l'analyse des systèmes de porosité pour la caracterization de l'état physique du sol in situ. *Ann. Agron.* 30 (1): 27-51.

**Thomasson A. J., 1982.** Soil and climatic aspects of workability and trafficability. Proceedings of the 9<sup>th</sup> Int. Conf. ISTRO, Osijek, Yugoslavia. Pp. 551-557.

**Thomas, G. W.; Haszler, G. R.; Blevins, R. L. 1996.** The effects of organic matter and tillage on maximum compactability of soils using the Proctor test. Soil Science, Baltimore, v. 161, p. 502-508.

**Thomasson HM. 1978.** Towards on objective classification of soil structure. J. Soil Sci., 29 (1): 38-46.

**Von Rittinger, P. R. 1867.** Lehrbuch der Aufbereitung Kunde, Ernst and Korn, Berlin.

#### **Paginas web citadas**

<http://www.monografias.com/trabajos12/texsuel/texsuel.shtml> (Citada el día 05 de Agosto de 2006). Autor Eduardo Ojeda.

<http://edafologia.ugr.es/introeda/tema04/estr.htm>,

<http://edafologia.ugr.es/introeda/tema04/estr2.htm>,

<http://edafologia.ugr.es/introeda/tema04/estr3.htm> (Citadas el día 05 de Agosto de 2006).

[http://peruecologico.com.pe/lib\\_c18\\_t03.htm](http://peruecologico.com.pe/lib_c18_t03.htm) (Citada el día 06 de Agosto de 2006).

<http://araucarias.blogspot.com/2005/09/porosidad-del-suelo.html> (Citada el día 06 de Agosto de 2006).

[www.unex.es/edafo/ECAP/ECAL5PFDensidad.htm](http://www.unex.es/edafo/ECAP/ECAL5PFDensidad.htm) (Citada el día 08 de Agosto de 2006).

## **VII. ANEXOS**

# ANEXO 1

## Análisis de un suelo de textura migajón utilizando la prueba de caída.

## ANEXO 2

### Obtención de datos con respecto a los materiales (madera y metal) empleados.