

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE INGENIERIA



Influencia de la composta MiyaOrganic® en la
Resistencia al corte de un suelo.

POR:

CÉSAR BARBOSA RODRÍGUEZ

T E S I S

Presentada como requisito parcial para
Obtener el Título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Diciembre de 2006

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÒN DE INGENIERÌA

Influencia de la composta MiyaOrganic® en la
Resistencia al corte de un suelo

Por:

CÈSAR BARBOSA RODRÌGUEZ

TESIS

Que somete a la Consideración de H. Jurado Examinador como
Requisito Parcial para obtener el Título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Aprobado por el comité de Tesis

Asesor Principal

M.C. Tomás Gaytán Muñiz

Sinodal

Sinodal

Dr. Martín Cadena Zapata

**Ing. Blanca Elizabeth de la
Peña Casas**

Encargado del despacho de la coordinación de la
División de Ingeniería

M.C. Luís Samaniego Moreno

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Diciembre de 2006.

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** nuestro señor todo poderoso por darme la oportunidad de pertenecer a esta vida, y sobre todo por ser la guía que ilumina mi camino, gracias dios mió.

A mi **ALMA TERRA MATER** por abrirme las puertas para culminar una etapa más en mi vida, siempre me sentiré orgulloso de ser buitre.

Al **M.C. Tomás Gaytán Muñiz** por su asesoría profesional y apoyo para la realización de este proyecto de investigación y por compartir experiencias y conocimientos.

Al **Dr. Martín Cadena Zapata** por la confianza y su asesoría profesional en el desarrollo de la investigación.

Al **Ing. Blanca Elizabeth de la Peña Casas** por su asesoría profesional para efectuar esta investigación.

Al **M.C. Héctor Uriel Serna Fernández** por el apoyo brindado en el desarrollo de la investigación.

A mis compañeros de la generación **C** de la carrera de **Ingeniero Mecánico Agrícola** con los que compartí experiencias durante mi carrera, a quienes siempre llevare con migo: **Carlos Hernández, Henry E. Álvarez, Yoni Pool, Julio Arellanes, Fidel Álvarez, Cirilo Santiz, Rolando Bautista, Alejandro Espinoza, Sergio Navarro, Estaban I. de la Rosa, Rudy Gamboa, Aarón Gonzáles, Eduardo Lira, Mario Méndez, José Figueroa, Benjamín Palma, Neftali Cuervo**, dios guíe su camino en donde quiera que estén.

A los maestros del departamento de Maquinaria agrícola: **M.C. Tomás Gaytán Muñiz, Dr. Martín Cadena Zapata, Ing. Blanca Elizabeth de la Peña Casas, M.C. Héctor Uriel Serna Fernández, M.C. Jesús Rodolfo Valenzuela García, Ing. Ramiro Luna Montoya, Ing. Rosendo Garza García, Ing. Jorge Alberto Flores Berruelo, Ing. Juan Arredondo Valdez, Ing. Juan Antonio Guerrero Hernández, Ing. José del Valle Treviño**, por los conocimientos adquiridos durante mi estancia en la universidad.

A mis compañeros de cuarto, **José Sánchez Jorge, Juan Israel Honesto Jorge, Anselmo Becerra Rodríguez**, por los buenos y malos momentos compartidos durante mi estancia como estudiante.

A mis amigos: **José Sánchez, Israel Honesto, Anselmo Becerra, José I. Barbosa, Elías Hernández, Francisco Hernández, Miguel Hernández, José Cervantes, Rosa M. Aguilar, Sarahi Rangel, Cruz campos, Teófilo Zuvietta, Guillermo Pacheco, Raúl Barbosa, Ramón Rodríguez, Áscari Quijas, Ismael Vargas, Oscar Becerra, Manuel Guerra, Jesús Ramírez, Sergio Rodríguez, Eric Mosqueda, Ricardo Martínez, Juan Vargas, Carlos Ramírez, Adrián Rodríguez, Juan L. Cabello, Adolfo Galván, Pablo Galván, Nivardo Luna**, por brindarme su amistad y apoyarme en el tiempo que estuve en la universidad.

Al personal del taller de Maquinaria Agrícola por la amistad y conocimientos brindados durante mi estancia, en la universidad, **Sr. Mario Amaro, Sr. Efraín de la Rosa y Gabriel de la Rosa**.

A **Juanita Valenzuela** por ayudarme en el tiempo restante de mi carrera como encargada del área secretarial en el departamento y brindarme su amistad.

DEDICATORIA

Con mucho amor y respeto para las personas que más amo en esta vida:

A mi papá **Sr. Manuel Barboza Rodríguez** por brindarme su apoyo y la confianza depositada en mi, para salir adelante, sobre todo por el esfuerzo moral y el sacrificio económico que siempre me ha brindado, gracias padre por ayudarme a que yo sea alguien en la vida.

A mi mamá **Sra. Ofelia Rodríguez Ayala** por darme la vida y brindarme el apoyo de madre en todos los buenos y malos momentos de la vida, por los sacrificios, el esfuerzo y el apoyo moral que siempre me a brindado, gracias madre por ayudarme en todo momento que necesite.

A mis hermanos y hermanas **Saúl, Herlinda, Rafael, Lázaro, Diego, Gloria, Laura, Gustavo, Mauricio, Gaby** por haber confiado en mí y por el apoyo brindado durante mi estancia, siempre los tendré presente, gracias por el apoyo y amor de familia.

Especialmente a mis hermanos: **Rafael, Diego, Gustavo, Mauricio y Gabriela**, por el apoyo económico que me brindaron en cada momento de mi estancia en la universidad, gracias por el apoyo.

A **Diego** y su esposa **Dora Elia** e hijos, **Osvaldo, Kevin, Ximena**, por abrirme las puertas de su hogar en el momento de mi llegada a esta universidad, gracias familia por brindarme su apoyo.

Mi triunfo es suyo.

A la familia: **Rodríguez Delgado**, por brindarme su apoyo y abrirme las puertas de su hogar en el momento más necesitado de mí llegada a esta universidad, gracias por el apoyo.

A mi abuela: **Isabel Rodríguez Hernández**, que siempre estuvo apoyándome con sus bendiciones en el momento más necesitado.

A mis abuelos (finados): **Sra. Maura Ayala, Sr. J. Isabel Rodríguez Hernández, Sr. Gabino Barboza Granados**, en donde quiera que estén siempre estarán a mi lado y siempre los tendré presentes.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	v
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	x
RESUMEN	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO GENERAL	5
OBJETIVOS ESPECIFICOS	5
HIPÓTESIS	5
II. REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1 Resistencia al corte del suelo.....	6
2.1.1 Características de la resistencia al corte del suelo.....	6
2.2 Parámetros de medición de la resistencia al corte.....	9
2.2.1 Comportamiento de un suelo solicitado.....	9
2.3 Propiedades físicas y dinámicas del suelo.....	12
2.3.1 Efectos de la resistencia al corte del suelo sobre las características físicas del suelo.....	12
2.4 Efecto de los sistemas de labranza sobre las propiedades físicas de los suelos.....	13
2.5 Causas de la degradación física del suelo.....	15
2.6 Etapas del proceso de degradación física del suelo.....	16
2.7 Manejo de las tierras de acuerdo con su capacidad.....	17
2.8 Incorporación de materia orgánica al suelo.....	18
2.8.1 Incidencia de la materia orgánica en la fertilidad de los cultivos.....	18
2.9 La materia orgánica en el suelo.....	19
2.9.1 Ventajas de la incorporación de la materia orgánica en el suelo.....	19

2.9.1.1 Efectos físicos	20
2.9.1.2 Efectos químicos.....	21
2.9.1.3 Efectos biológicos.....	22
2.10 Acciones de la materia orgánica.....	22
2.10.1 Sobre el suelo.....	22
2.10.2 Sobre la planta	25
2.11 Efectos de los sistemas de manejo de residuos sobre las propiedades del suelo.....	26
2.12 Efectos de los sistemas de labranza sobre la incorporación y descomposición de los residuos.....	27
III. MATERIALES Y METODOS.....	29
3.1 Localización del sitio experimental	29
3.2 Metodología.....	29
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	35
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	47
VI. BIBLIOGRAFIA.....	49
APÉNDICE A.....	55
APÉNDICE B.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 3.1 Caja de Cizalla Torsional.....	32
Figura 4.1 Datos de la densidad aparente para la caracterización del área experimental.....	36
Figura 4.2 Comportamiento de la velocidad de infiltración promedio para la caracterización del área experimental.....	37
Figura 4.3 Comportamiento de la resistencia al corte para la caracterización del área experimental.....	38
Figura 4.4 Comportamiento de la densidad aparente en los diferentes tratamientos.....	40
Figura 4.5 Comportamiento de la resistencia al corte suelo/suelo para los diferentes tratamientos.....	43
Figura 4.6 Comportamiento de la resistencia al corte suelo/metal en los diferentes tratamientos.....	45

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 4.1 Variación de la Densidad aparente para los diferentes estratos...38	
Tabla 4.2 Valores de infiltración básica en los diferentes tratamientos.....41	
Tabla 4.3 Comparación de la resistencia al corte Suelo/Suelo para los diferentes tratamientos.....42	
Tabla 4.4 Comparación de medias de la resistencia la corte Suelo/Metal para los diferentes tratamientos.....44	

RESUMEN

El presente trabajo es el resultado de una evaluación experimental de la “Influencia de la composta MiyaOrganic® en la resistencia al corte de un suelo”.

El objetivo principal de esta investigación es la evaluación de los efectos causados en el corto plazo de la composta MiyaOrganic® en la resistencia al corte del suelo y otras propiedades físicas del suelo.

Para llevar a cabo la investigación se realizó un diseño experimental de 12 parcelas con dimensiones de 4x3 m, se utilizó un testigo y tres tratamientos con tres repeticiones cada uno, distribuidas al azar con dosis de materia orgánica para cada tratamiento de 0 kg.ha⁻¹ para el testigo, 2000 kg.ha⁻¹ para el tratamiento 1, 3000 kg.ha⁻¹ para el tratamiento 2 y 5000 kg.ha⁻¹ para el tratamiento 3.

Se realizó la caracterización del área experimental para ver el estado original de las propiedades físicas del suelo evaluadas, que fueron Densidad aparente, Velocidad de infiltración, Contenido de humedad y la Resistencia al corte del suelo, posteriormente se aplicó la composta Miyaorganic® a cada uno de los tratamientos con las dosis recomendadas para cada uno de ellos, se dejó por un periodo de tres meses reposar el suelo.

Posteriormente se realizaron las evaluaciones de las mismas propiedades físicas del suelo, pero ya con material orgánico aplicado en cada uno de los tratamientos, para evaluar el comportamiento que se presenta con la incorporación de la materia orgánica y realizar las comparaciones requeridas.

El comportamiento del suelo al incorporar materia orgánica, presenta cambios significativos en sus propiedades físicas, en los resultados obtenidos para las propiedades analizadas estadísticamente no existe variación significativa dentro

de los valores del testigo y tratamientos, pero si se presenta variación numérica entre los valores del testigo y tratamientos.

Debido a estos resultados se recomienda realizar estudios posteriores en el área de trabajo, para obtener resultados significantes para posteriores prácticas agrícolas.

I. INTRODUCCIÓN

El uso y manejo de los suelos está limitado por las características naturales del clima y por las condiciones socioeconómicas prevalecientes. Para el desarrollo y manejo de los suelos disponibles es indispensable conocer y entender sus potencialidades y limitaciones a nivel local y regional. Muchas de las áreas ya explotadas agrícolamente en especial, las de posible expansión futura, presentan una combinación de limitaciones climáticas, de suelos y topografía ya que estas afectan su potencial para producción agrícola sustentable y dificultan su desarrollo. Además, estimaciones recientes han puesto de manifiesto las grandes y a veces insuperables dificultades para el mantenimiento de la productividad de muchos de los suelos de reserva con las tecnologías actualmente disponibles (Marelli, 1984).

La resistencia a la penetración es un buen índice para evaluar problemas de restricción en el desarrollo radicular de las raíces de los cultivos, por la presencia de capas compactas y/o baja porosidad. Esa resistencia no es propiedad particular del material, sino que representa la suma de los efectos de diferentes características y propiedades, tales como densidad aparente, contenido de humedad, resistencia a la penetración y al corte, las cuales, a su vez, son consecuencia de la distribución del tamaño de partículas, de la estructura, y de la composición mineral y orgánica presentes en el suelo. Su determinación es sencilla, rápida, y puede hacerse directamente sobre el terreno, permitiendo así realizar un alto número de mediciones que contrarrestan el problema de variabilidad espacial (Nacci y Pla, 1992).

La resistencia de un suelo a la deformación por compresión o deformación por cizalla, está determinada por su resistencia mecánica, la que consiste de dos componentes: resistencia cohesiva y resistencia friccional. Los valores varían considerablemente y dependen del contenido de humedad, tamaño de las partículas, tamaño de los agregados y el grado de consolidación. Estos factores, entre otros, existen en tantas combinaciones diferentes que sólo la medición directa de los componentes de cohesión y fricción puede permitir predecir la resistencia verdadera de un suelo para una condición determinada.

Los suelos tienen los estados físicos definidos como sólido o cementado, sólido elástico o friable, plástico, y líquido viscoso. El estado físico de un suelo también depende de los factores arriba citados, pero el factor de humedad es el más importante (Hernández. et al., 2000).

Es conveniente tratar a la vez la penetrabilidad y la resistencia al corte del suelo, ya que ambas medidas se pueden determinar en una sola salida al campo. Como las propiedades mecánicas del suelo influyen mucho en el crecimiento de las plantas, es necesario referirse en forma extensa a la resistencia mecánica del suelo y a su relación con los crecimientos de las plantas (Forsythe. 1975).

En el estudio de la resistencia a la cortadura de los suelos plásticos o cohesivos, tiene interés el valor de corte para un contenido de humedad como función del esfuerzo aplicado y de la relación entre la resistencia al esfuerzo y el contenido de humedad. La presión aumentada aplicada al suelo debe disminuir las distancias entre las partículas, con lo que aumentará las fuerzas de atracción y la resistencia a la cortadura en razón directa al esfuerzo. El valor de corte en suelos plásticos aumenta proporcionalmente al esfuerzo aplicado en dirección normal al plano de corte (Nichols. 1932).

Los residuos de plantas son la mayor fuente de energía y nutrientes para los microorganismos heterotróficos en los agro ecosistemas, y afecta las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. El crecimiento de la biomasa microbiana en los residuos aumenta el movimiento de la materia orgánica del suelo, a través de reacciones concurrentes de inmovilización, mineralización y estabilización. Estos procesos fundamentales ayudan a mantener el ciclo de nutrición de las plantas y es importante para la conservación de la materia orgánica del suelo a largo plazo, a través de la producción de precursores de sustancias húmicas. La formación de sustancias orgánicas estabilizadoras de la estructura del suelo depende, principalmente, de la incorporación de residuos y de las prácticas de manejo de suelos (Voroney et al., 1989).

El manejo de los residuos agrícolas puede ser clasificado en cuatro categorías principales basado en la ubicación final de los residuos: encima de la superficie del suelo, parcialmente incorporado en el suelo, completamente incorporado, y completamente eliminado (Klavdiko, 1994).

Según Arvidsson (1998) el contenido de materia orgánica tiene una influencia mayor que la distribución de tamaño de partícula en las propiedades físicas del suelo y el rendimiento de la cosecha en respuesta al tráfico del campo. La materia orgánica disminuye la densidad y el grado de compactibilidad, incrementa la porosidad y el contenido de aire del suelo después de la compactación. Bajo condiciones similares de tráfico, el rendimiento de la cosecha es mayor en suelos con alto contenido de materia orgánica que en suelos con poca materia orgánica.

Los contenidos de materia orgánica del suelo son de vital importancia para proveer energía, sustratos y la diversidad biológica necesaria para sostener numerosas funciones del suelo. El concepto "calidad del suelo" reconoce la materia orgánica del suelo como un importante atributo que tiene

un gran control en algunas de las funciones claves del suelo (Doran y Parkin, 1994, citados por Franzluebbbers, 2002).

OBJETIVO GENERAL

Evaluar los efectos en el corto plazo de la composta MiyaOrganic en las propiedades físicas del suelo.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

Determinar y evaluar los efectos a diferentes dosis de composta MiyaOrganic, en la resistencia al corte de un suelo migajon arcilloso.

Determinar la medición de Contenido de humedad, Densidad aparente, Velocidad de infiltración, Resistencia al corte del suelo.

HIPÓTESIS

La composta MiyaOrganic provoca variación en los valores de Contenido de humedad, Densidad aparente, Velocidad de infiltración y Resistencia al corte del suelo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Resistencia al corte del suelo

2.1.1 Características de la resistencia al corte del suelo

Las propiedades del suelo determinan la naturaleza y su condición. La respuesta del suelo ante una acción exterior, como es el caso de la fuerza que aplica la herramienta de trabajo de un apero de labranza, está condicionada por sus propiedades físicas y, por lo tanto, por su naturaleza. Las propiedades del comportamiento no se ponen de manifiesto en tanto el suelo no se encuentra en movimiento. Un mismo suelo puede encontrarse en diferentes condiciones, por ejemplo, compactado y húmedo o seco y suelto, sin que por ello se vea alterado el material que lo constituye.

Los valores de esta resistencia mecánica varían considerablemente, tanto de un suelo a otro, como en un mismo suelo, ya que dependen del contenido de humedad, del tamaño de las partículas minerales, del tamaño y de la forma de los agregados y del grado de consolidación alcanzado por el mismo (Ashburner y Sims, 1984).

Las teorías clásicas de la mecánica de suelos asumen que la rotura del suelo ocurre instantáneamente una vez que la fuerza aplicada al mismo alcanza un valor límite. Coulomb, citado por Cassan (1982), propuso una teoría de rotura por esfuerzo cortante que explica el colapso del suelo cuando se ve sometido a un determinado estado de esfuerzos.

Gill y Vanden Berg (1968) mencionan que la resistencia de un suelo a la deformación por compresión o por cizalladura está condicionada por su resistencia mecánica, que, a su vez, resulta de su resistencia cohesiva y friccional. Describieron cómo el concepto de la línea envolvente de rotura,

conocida como envolvente de Mohr-Coulomb, hace compatibles los criterios de rotura de Coulomb y de Mohr. Esto es:

$$\tau_{\max} = c + \sigma \tan$$

Donde:

τ_{\max} = esfuerzo cortante máximo

c = cohesión

σ = esfuerzo normal aplicado

\tan = ángulo de fricción interna.

El método de Coulomb para determinar la rotura del suelo es un concepto ingenioso que ayudó a hacer simplificaciones teóricas cuando apenas se tenía un conocimiento claro del comportamiento mecánico del suelo. Sobre el particular, Cassan (1982) comentó que en realidad el criterio de rotura no se aplica más que a la fase sólida del suelo. Ahora bien, existen en el mismo otras dos fases: una gaseosa, que se puede despreciar, y otra líquida que es, por el contrario, de capital importancia. Cuando se aplica sobre el suelo un esfuerzo cualquiera, el esfuerzo normal (σ), que se ejerce sobre una cara dada, se reparte a la vez sobre el esqueleto sólido, que se ve así sometido a un esfuerzo intergranular o esfuerzo efectivo (σ'), y sobre la fase líquida en la que se desarrolla una presión u , llamada presión intersticial. Esto es, $\sigma = \sigma' + u$.

Según Terzaghi, citado por Cassan (1982), la formula anterior es importante en mecánica de suelos, pues permite calcular el esfuerzo intergranular una vez conocida la presión intersticial. Esta presión es la responsable de la resistencia al cizallamiento que exhibe el suelo.

Cassan (1982) señala que la ecuación de Coulomb se expresa como: $\tau = c' + \sigma' \tan \phi'$, donde c' y ϕ' son la cohesión y el ángulo de rozamiento interno verdadero o efectivo. Específicamente en un suelo saturado y de escasa permeabilidad, la presión intersticial es la que al aplicar carga extrema equilibra ella sola al esfuerzo total por lo tanto, $u = \sigma$. Cuando la presión intersticial está totalmente disipada es decir finalizado el proceso de consolidación, se tiene, sin embargo, que $u = 0$, por lo que $\phi = \phi'$. De este modo se observa que el ángulo de rozamiento interno aparente aumenta en función del tiempo para alcanzar en el límite, el valor del ángulo de rozamiento efectivo.

La realización práctica del ensayo de corte directo permite determinar simultáneamente, para cada una de las cargas aplicadas en el ensayo, el esfuerzo cortante que soporta el suelo y la deformación producida por el mismo. Con los datos así obtenidos, se pueden ajustar las curvas de esfuerzo deformación del suelo, las cuales obedecen a una ecuación exponencial (Janosi y Hanamoto, 1961):

$$\tau = \tau_{\max} \left[1 - e^{\left(\frac{-j}{k} \right)} \right]$$

Donde:

τ = esfuerzo cortante aplicada al suelo (kPa)

τ_{\max} = esfuerzo cortante máximo (kPa)

j = deformación del suelo (mm)

k = módulo de deformación del suelo (mm).

La constante k recibe el nombre de "módulo de deformación" y constituye un parámetro que está relacionado con la elasticidad que exhibe el

suelo y con la rapidez con que éste es capaz de generar su resistencia máxima al corte, (τ_{max} ,) a medida que aumenta su deformación j .

El valor del modulo de deformación depende del esfuerzo normal que soporta el suelo, del área de la sección transversal de la caja del equipo de corte y de la velocidad de corte (Godbole *et al.*, 1993).

2.2 Parámetros de medición de la resistencia al corte

2.2.1 Comportamiento de un suelo solicitado

Lambe, (1960), señala que desde el punto de vista mecánico es conveniente definir los esfuerzos a los cuales esta sujeto un suelo, en términos de la tensión, compresión y corte por una cizalla; cualquier sistema de esfuerzos complejos puede ser siempre resuelto en términos de estos tres tipos. Normalmente los suelos fallan debido a los esfuerzos de corte, ya que en límite demuestran una alta resistencia a la compresión y difícilmente pueden ser sometidos a un esfuerzo de tensión. La falla del suelo debida a una herramienta de labranza depende de los parámetros de resistencia en la superficie de falla, que consiste de un interfaz suelo / suelo y otro normalmente de suelo / metal.

Los principales parámetros son:

- **Cohesión (C):** Son las fuerzas internas que mantienen unidas a las partículas en una masa.
- **Fricción suelo / suelo (ϕ):** Es la fuerza de rozamiento interna y depende del esfuerzo normal en el plano de cizalla (definido en términos del ángulo de fricción de corte ϕ).
- **Densidad de masa del suelo (Db):** Es la relación de la masa al volumen del suelo, incluido el espacio de los poros (también conocido como densidad aparente).

En forma similar, los principales parámetros suelo / interfaz son los siguientes.

- **Adhesión** ($C\alpha$): Son las fuerzas de atracción generadas principalmente por la presencia de agua en el suelo representa las fuerzas de atracción que se desarrollan entre el suelo y el interfaz y que tienden a evitar el deslizamiento entre ellos.
- **Fricción suelo / interfaz** (ϕ): es la fuerza de rozamiento en el interfaz y depende del grado de pulido de su materia y de la rugosidad de las partículas del suelo. (Definido en términos del ángulo de fricción suelo / interfaz δ).

Según Fountaine, (1954), la resistencia a la falla de un suelo depende del esfuerzo de corte máximo que este puede resistir, lo que es una función de la magnitud de la deformación y del esfuerzo normal sobre la superficie de falla. La máxima resistencia que debe desarrollar un suelo depende del esfuerzo normal en la superficie de falla. La cohesión de un suelo depende generalmente del contenido de humedad y de la cantidad y tipo de arcilla, y puede tomar dos formas:

- a) **Cohesión molecular:** a bajo contenido de humedad existe una unión fuerte entre las partículas de arcilla; este es el factor principal que influye en la resistencia de los terrones.
- b) **Cohesión superficial:** con mayor contenido de humedad existe un amarre entre los mismos terrones debido a la fuerza de la tensión superficial ocasionada por este exceso de agua; la materia orgánica y las raíces de las plantas también contribuyen a la fuerza cohesiva total cuando se cizalla la masa del suelo.

Keen y Coutss, (1928), mencionan que la mayor parte de las herramientas de labranza trabajan por deslizamiento por el suelo, y de allí

por el esfuerzo y la fuerza de deslizamiento en la interfaz suelo/metal sea de una importancia fundamental al estar la mayoría de estas herramientas fabricadas con metales. Aunque el interfaz es normalmente suelo/metal, es mejor hablar en términos de los para metros suelo/interfaz para acomodar la consideración de otros materiales como madera, plástico u otros. Los parámetros suelo/interfaz que se miden son los siguientes:

- **Adhesión:** representa las fuerzas de atracción que se desarrollan entre el suelo y el interfaz y que tienden a evitar el deslizamiento entre ellos; el valor de la adhesión es normalmente pequeño, excepto para los suelos arcillosos en estado plástico.
- **Fricción:** representa la fuerza de rozamiento en el interfaz y depende del grado de pulido de su materia y de la rugosidad de las partículas del suelo.

Según Martino (1964), las componentes de la resistencia al corte son la cohesión y la fricción. Estas dos componentes se expresan por una combinación de factores físicos y fisicoquímicos. Los factores físicos afectan principalmente a la componente de fricción ($\tan \phi$). El movimiento de las partículas trabadas requiere que la partícula se mueva verticalmente bajo la acción del esfuerzo aplicado antes de que se mueva horizontalmente sobre una partícula adyacente. Esto implica un aumento de volumen al que se le da el nombre de dilatación y exige mayor esfuerzo horizontal que el que se necesitaría si la partícula se tuviera que mover sólo horizontalmente. La componente física de la resistencia a la cortadura es directamente proporcional al esfuerzo normal efectivo y es de mayor importancia en las partículas granulares que en las arcillas. La cohesión es función de las fuerzas de atracción y repulsión en las interacciones de las partículas de arcilla, puede manifestarse por la formación de partículas más grandes a partir de las más pequeñas, lo cual aumentará el ángulo de fricción y no la ordenada en el origen.

Greacen, (1960), menciona que los suelos arcillosos producen valores de succión alrededor de 666 cm de agua cuando son cortados a la máxima resistencia, lo que ocurre en el límite plástico. Cuando se aplica por primera vez el esfuerzo cortante, disminuye rápidamente la razón de vacíos, que se nivela a un valor casi constante al aumentar la deformación. Al mismo tiempo hay un agudo ascenso de la tensión de humedad y de la resistencia a la cortadura, al cual tiende a un valor constante para mayores deformaciones

2.3 Propiedades físicas y dinámicas del suelo

2.3.1 Efectos de la resistencia al corte del suelo sobre las características físicas del suelo.

La resistencia mecánica del suelo y la densidad aparente son variables que miden el grado de compactación de los suelos y, además, tienen un efecto determinante sobre el desarrollo radicular y el movimiento de agua y aire (Rivas et al., 1998).

La resistencia del cono es un buen indicador de las diferencias de los tratamientos en las condiciones físicas del suelo relevantes para el crecimiento del cultivo, particularmente en combinación con la permeabilidad del aire o la porosidad de aireación (Gómez et al., 1999). Rivas et al. (1998) estudiaron el efecto de la labranza sobre la resistencia mecánica utilizando un penetrómetro de impacto.

Según Moreno (2002) la densidad del suelo es afectada significativamente por la humedad a la cual se realiza la determinación, por lo que no la incluye entre indicadores propuestos para medir la degradación física, sin embargo, plantea que donde la densidad del suelo es limitante para el desarrollo radicular de las plantas si se encuentra por encima de 1.25 g/cm^3 .

La estabilidad de los agregados es un indicador de la calidad del suelo, directamente relacionado con la materia orgánica (Hernanz et al., 2002).

Franzluebbers (2002) propone la estratificación del contenido de materia orgánica para valorar la calidad del suelo en diferentes condiciones. La estratificación, en este contexto, es definida como la propiedad del suelo en la superficie dividido por la misma propiedad a una profundidad por debajo de la capa superficial. Por otra parte, la densidad del suelo es considerada un atributo negativo, ya que la alta densidad limita la porosidad y, subsecuentemente, el movimiento del agua y el desarrollo de las raíces. Una baja relación de estratificación puede reflejar el mejoramiento de la calidad del suelo.

2.4 Efecto de los sistemas de labranza sobre las propiedades físicas de los suelos.

Según Franzluebbers (2002) la superficie del suelo es una interfase vital que recibe muchos de los fertilizantes y pesticidas aplicados a los cultivos, recibe el impacto intenso de las lluvias, y divide el flujo de gases dentro y fuera del suelo.

Los patrones de mecanización desarrollados en los sistemas convencionales de labranza, sobre todo las rastras de discos, provocan la desagregación del suelo y aceleran la oxidación de la materia orgánica, ocasionan además la aparición de capas de suelo pulverizado en la superficie para procurar una "cama apropiada" para las semillas y capas endurecidas en niveles más profundos, principalmente por la presión que ejercen los implementos. Estas capas contribuyen a aumentar la degradación del suelo, limitando la penetración de las raíces, del agua y del aire, restringen la zona de nutrición de las plantas y por ende, disminuyen la capacidad productiva de los suelos e incrementan los requerimientos de

potencia (y el consumo de combustible) de las máquinas encargadas de preparar los suelos.

Las prácticas agrícolas con el uso intensivo de la maquinaria y bajos ingresos de materia orgánica provocan deterioro de la estructura del suelo y su compactación (Barzegar et al., 2000). Según Guérif et al. (2001) los sistemas de labranza influyen directamente el contenido de materia orgánica del suelo y la estabilidad de los agregados. Dimanche y Hoogmoed (2002) encontraron que las gradas de discos causan excesiva pulverización y formación de sello bajo la lluvia.

Una de las consecuencias principales del uso intensivo del suelo es la compactación debido al tráfico animal o de la maquinaria. La compactación puede ser definida como el aumento en la densidad (o la disminución de la porosidad) del suelo (Arvidsson, 1998).

Bajo estas circunstancias la densidad puede alcanzar valores críticos que impiden a las raíces de las plantas penetrar el suelo. La susceptibilidad de los suelos agrícolas a la compactación conduce en muchos casos a bajos rendimientos agrícolas como resultado de sus efectos en el crecimiento de la planta y el movimiento del agua en el suelo (Quiroga et al., 1999).

La labranza modifica las propiedades físicas e hidráulicas de la capa arable y de la superficie del suelo, mientras que las propiedades de la superficie del suelo son modificadas por el humedecimiento y el impacto directo de las gotas de lluvia. El grado en que estas propiedades son modificadas es función de la estabilidad de los terrones, y de la cantidad de energía recibida de la lluvia. La desintegración de los terrones y la reorientación de las partículas en la superficie del suelo provocan la formación de áreas con baja permeabilidad por costras y sellos responsables del decrecimiento de la capacidad de infiltración. La seriedad de este fenómeno está fuertemente relacionado con la textura y la estructura del suelo (Dexter et al., 1983).

Los sistemas de labranza conservacionista tienen ventajas sobre los convencionales, puesto que permiten proteger los recursos naturales. Desde el punto de vista del almacenamiento de agua en el perfil de suelo, se produce un efecto positivo de los sistemas conservacionistas, especialmente si se dejan residuos postcosecha, sobre todo cuando se dan condiciones de baja precipitación y mayores requerimientos de agua del cultivo. La técnica conservacionista que no mantiene residuos sobre el campo no es mejor que la labranza convencional en cuanto a su capacidad de retener agua en el suelo (Uribe y Rouanet, 2002).

2.5 Causas de la degradación física del suelo

Las principales causas de la degradación de las características físicas del suelo son:

Cobertura inadecuada de la superficie del suelo, que expone los agregados de la superficie del suelo a la acción de las 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 (Prause. et al. 2001).

La excesiva 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 induce a una elevación de la velocidad del escurrimiento y a la disminución de la tasa de infiltración, aumentando los efectos erosivos por la mayor energía cinética del agua en la superficie del suelo. A su vez, la utilización de equipos inadecuados y pesados y el pasaje de maquinaria sobre el suelo cuando este presenta consistencia plástica origina el surgimiento de capas compactadas subsuperficiales, normalmente situadas entre 10 y 30 cm de profundidad y con un espesor de 10 a 15 cm. Esas capas ofrecen fuerte resistencia a la

penetración de las raíces de la plantas y restringen la capacidad de infiltración de agua y la aireación.

Para la pérdida de la materia orgánica del suelo se debe a un manejo inadecuado del mismo, teniendo como consecuencia alteraciones en su densidad, en la capacidad de retención de agua y en la estabilidad de los agregados, que contribuyen a la pérdida de su calidad y de la estabilidad de su estructura (Cabeda. et al., 1984).

2.6 Etapas del proceso de degradación física del suelo

La degradación de los suelos agrícolas ocurre en tres etapas que son:

Etapa 1. Las características originales del suelo son distribuidas gradualmente; la degradación es poco perceptible debido a la poca intensidad de los procesos y el mantenimiento de la productividad por el uso de correctivos y fertilizantes.

Etapa 2. Ocurren pérdidas acentuadas de la materia orgánica del suelo, con fuerte daño de la estructura (colapso estructural). Hay, además de encostramiento superficial, compactación subsuperficial, que implica la infiltración del agua y al penetración de raíces. De esta forma, la erosión se acentúa y los cultivos responden menos eficientemente a la aplicación de correctivos y fertilizantes.

Etapa 3. El suelo está intensamente dañado, con gran colapso del espacio poroso. La erosión es acelerada y hay dificultad de operación de la maquinaria agrícola. La productividad cae a niveles mínimos.

El tiempo para llegar a la tercera etapa de degradación depende de la intensidad de uso de prácticas inadecuadas de labranza y manejo, de la pendiente de las tierras, de la textura del suelo y de la resistencia del suelo a la erosión hídrica (Mielniczuk y Schneider. et al., 1984).

2.7 Manejo de las tierras de acuerdo con su capacidad

Muchos agricultores en el mundo, basados en generaciones de experiencia, están manejando sus tierras en una manera sostenible. Otros hacen lo mismo en base a las recomendaciones de los servicios de extensión o de los resultados experimentales. Pero en muchos lugares, se han abierto nuevas tierras para la agricultura o el uso de la tierra ha cambiado drásticamente a causa de los cambios de población o de presiones económicas. A menudo de tales cambios en el uso de la tierra han sido hechos sin estudios previos que indiquen cual sería el uso más apropiado y que efectos pueden tener sobre el ambiente los diferentes usos que se podrían hacer. Esto ha generado pobreza, degradación ambiental, explotación económica ineficiente y pérdida de recursos naturales, como el suelo y agua. Los mejores usos de la tierra dependen de condiciones económicas, sociales, políticas y culturales, de las características del suelo y de su respuesta al manejo y uso (Lal. et al., 1995).

Gran parte de las tierras han sido utilizadas sin estudios previos que muestran cual es el tipo de manejo más adecuado y cual es el efecto ambiental de los diferentes usos. Muchos tipos de uso de la tierra agrícola son hechos de forma y en lugares inadecuados, lo que ha generado degradación ambiental, explotación económicamente ineficiente y pérdida de recursos naturales como suelo y agua. La mejor forma de manejo de la tierra depende de las condiciones que presente el suelo, además de sus características físicas y químicas del suelo (Barber. et al., 1993).

Las tierras, en un sentido económico, tienen muchos otros atributos como el tamaño de las fincas, la proximidad al agua y a otras tierras, las facilidades de transporte y de mercado. La tierra es un segmento de la superficie del globo terrestre definido en el espacio y en función de características y propiedades comprendidas por los atributos de la biosfera, que sean razonablemente estables o cíclicamente previsibles, incluyendo

aquellas de la atmósfera, el suelo, el substrato geológico, la hidrología y el resultado de las actividades humanas actuales y futuras hasta el punto que estos atributos tengan influencia significativamente en el uso presente o futuro de la tierra por el hombre. FAO (1993).

2.8 Incorporación de materia orgánica al suelo

2.8.1 Incidencia de la materia orgánica en la fertilidad de los cultivos

La materia orgánica del suelo es uno de los recursos naturales más importantes y se reconoce su utilidad desde la antigüedad como un agente primordial de la fertilidad del suelo.

La descomposición de animales y plantas que ocurre en el suelo es un proceso biológico básico. Dicha descomposición lleva a que los materiales originales pasen a diversas formas químicas: dióxido de carbono, agua, amoníaco, óxidos de nitrógeno, elementos minerales esenciales para la nutrición de las plantas, etc. Pero parte de dichos materiales y elementos son tomados por los microorganismos encargados de realizar dicha descomposición y otra fracción es empleada en formar el humus. A su vez, el humus se va degradando nuevamente para generar las formas químicas que anteriormente hemos expuesto. Así, la materia orgánica de los suelos está en un permanente cambio dentro de un equilibrio más o menos estable, característico del suelo y del sistema de explotación del mismo (Gonzalbez. 2004).

El término de humus ha ido evolucionando a lo largo de la historia. En la antigüedad, el suelo se le llamaba humus. Posteriormente, decir humus y materia orgánica del suelo era lo mismo. Actualmente, humus es una parte de la materia orgánica del suelo, por ejemplo debido al hecho de que parte de la materia orgánica del suelo son seres vivos. Humus entonces se puede decir que son sustancias difícilmente clasificables, de color oscuro, alto peso

molecular, naturaleza coloidal, muy resistentes al ataque por los microorganismos del suelo y con propiedades ácidas (Fernández. 2004).

2.9 La materia orgánica en el suelo

2.9.1 Ventajas de la incorporación de la materia orgánica en el suelo

La materia orgánica del suelo se encuentra estrechamente relacionada con la productividad agrícola de este y las mejores condiciones físicas, químicas y microbiológicas para los cultivos son generalmente encontradas en suelos de alto contenido de materia orgánica. El origen de la materia orgánica es finalmente de las plantas y en pequeña proporción otros organismos como algunas algas y bacterias capaces de sintetizar productos orgánicos a partir de elementos inorgánicos y compuestos simples. Los materiales orgánicos producidos por las plantas son utilizados por una gran variedad de seres vivos y depositados en el suelo (Narro. 1986).

El empleo de materias orgánicas en agricultura, como método de mantenimiento y recuperación de la fertilidad de los suelos, es conocido desde tiempos pasados.

El descubrimiento de los abonos minerales, inicialmente probados sobre terrenos empobrecidos en elementos minerales, pero generalmente bien provistos de materia orgánica, llevó a la creencia de que su uso podría sustituir a los aportes orgánicos, con la evidente ventaja en el manejo de menores cantidades de un producto, además, menos oneroso.

En consecuencia, el empleo de la fertilización orgánica fue cayendo en desuso, manteniéndose casi con exclusividad en aquellas producciones altamente exigentes, como es el caso de ciertas hortalizas y siendo infrecuente en cultivos arbóreos (García. 2003).

2.9.1.1 Efectos físicos

La mejora física del suelo se pone de manifiesto en dos facetas realmente significativas: la estructura y el color.

La estabilidad estructural del suelo se debe a la capacidad que tiene el "humus" par unir las partículas minerales del suelo, lo que ejerce sobre el terreno acciones positivas respecto a la porosidad y con ella a la circulación de aire y del agua, a la penetración radicular, etc. Esta agregación aligera los terrenos arcillosos y cohesiona los arenosos, adecua la permeabilidad al agua y al aire, facilita las labores, reduce la erosión, mejora el agarre de la planta al suelo y también el balance hídrico.

Sobre el color tiene también sus efectos positivos ya que al oscurecer el terreno facilita la absorción del calor por el mismo y su retención. En resumen puede afirmarse que la presencia de los niveles adecuados de materia orgánica, aumenta la capacidad calorífica del terreno, regula su temperatura y con ello las oscilaciones térmicas (Watts et al., 1996).

Según Muzilli. et al. (1980), Las propiedades físicas afectadas por la incorporación de materia orgánica son la estructural, la capacidad de retención de agua, la consistencia y la densidad, otras propiedades como la porosidad, la aireación, la conductividad, la hidráulica y la infiltraciones tan ligadas a la modificaciones de la estructura, este efecto depende circunstancialmente de la calidad y cantidad de materia orgánica incorporada, de los factores climáticos y de las características del suelo.

La estructura es de enorme trascendencia en la fertilidad del suelo y depende de la forma de agregación de las partículas del suelo y estas agregaciones son tanto mas positivas cuanto mas equilibrada es la presencia de materia orgánica humificada en el suelo. Pero es que además, la estructura conseguida con una correcta presencia de materia orgánica es mucho mas estable, es decir, que admite el laboreo sin sufrir modificaciones

importantes en la misma, así como se muestra mas resistencia a las acciones de los agentes erosivos (Ledesma. et al., 1986).

2.9.1.2 Efectos químicos

Los efectos químicos de la materia orgánica sobre el suelo se ponen de manifiesto en la facilidad o dificultad de disponer de los nutrientes minerales.

El complejo arcillo – húmico es regulador del cambio catiónico de un terreno y de él depende la cantidad de elementos (en estado de catión) que son retenidos por el medio y puestos a disposición de la planta. Es característico de las sustancias húmicas su alta capacidad de intercambio entre ellos y la solución del suelo, por tanto además de facilitar la absorción favorece igualmente la retención (Voroney. et al., 1989).

Sobre el pH del suelo la materia orgánica actúa como estabilizador produciendo un efecto "tampón" o sea, evitando variaciones rápidas y significativas del mismo (Reeves. et al., 1997).

Finalmente, y aunque ello no es la acción más importante, está el afecto de aportación de nutrientes, tanto directamente, por efecto de su mineralización, como debido a la acción de los microorganismos y la acción arriba citada de regulación de la retención por el complejo arcilloso – húmico. En especial es importante su acción como fuente de microelementos, hormonas y vitaminas para las plantas.

También es de importancia la capacidad de fijación por parte de las materias húmicas de ciertos cationes muy inestables formando humatos y quelatos que permite una mayor disponibilidad de los mencionados elementos por parte del cultivo (Resende. et al., 1995).

2.9.1.3 Efectos biológicos

El aporte de materia orgánica supone una adición de alimentos y energía para los microorganismos y demás flora responsable de llevar adelante los ciclos bioquímicos en la naturaleza, bien por la mejora de las condiciones físico - químicas del suelo o bien por el aporte de microorganismos beneficiosos en sí o por activación de los más favorables en detrimento de los patógenos. No obstante con la flora que se adiciona al terreno pueden entrar algunos macro y microorganismos indeseables (Resende. et al., 1995).

Los resultados obtenidos con las enmiendas orgánicas varían dependiendo del tipo y grado de descomposición del material utilizado. Un rastrojo fresco de cosecha no tendrá la misma velocidad de descomposición, ni los mismos efectos que un aporte de estiércol fresco o algún residuo orgánico previamente estabilizado, como lo es el bioabono (Kay y Angers. et al., 2000). Señaló que los últimos productos de transformación de la materia orgánica del suelo (sustancias húmicas) tienen un efecto pequeño pero a largo plazo en la estabilidad de agregados, mientras que residuos frescos, cuya descomposición genera polisacáridos como producto secundario, poseen un efecto mayor sobre la estabilidad, pero en el corto plazo. Sin embargo. Otros autores aseguran que los residuos frescos o descompuestos tienen un efecto variable sobre la estabilidad de los agregados en periodos de 15 y 18 años respectivamente (Gupta. et al., 1987).

2.10 Acciones de la materia orgánica

2.10.1 Sobre el suelo

Según Narro (1986), Los principales efectos de la materia orgánica (hojarasca y humus) sobre las propiedades de los suelos y los cultivos son:

a) Favorece la formación de agregados y estructuración del suelo; debido a su acción cementante se incrementa la agregación de las partículas sólidas y se mejora la estabilidad estructural lo cual trae como consecuencia:

- Reducción en la densidad aparente y densidad de sólidos.
- Incremento en la porosidad total del suelo.
- Incremento en la aireación del suelo.
- Cambios en la característica de retención de humedad, generalmente incrementa la humedad disponible para las plantas y mejorando la eficiencia en el uso del agua.
- Cambios en la velocidad de infiltración del agua al suelo y en la conductividad hidráulica. En los suelos migajon arcilloso los valores de estos parámetros pueden reducirse poco tiempo después de la agregación e incorporación de la materia orgánica pero posteriormente aumentan.
- Disminuye la conductividad térmica del suelo, haciéndolo mas resistente a los cambios bruscos de temperatura.
- Disminuye la resistencia del suelo a la penetración de raíces.

b) La materia orgánica en la superficie produce los siguientes cambios:

- Oscurece el color del suelo, generando una mayor absorción de la energía radiante del sol.
- Amortigua el impacto de las gotas de lluvia y del viento, aumentando la resistencia a la erosión.
- Evita o reduce la formación de “costras”.
- Se usa como acolchado para reducir las pérdidas de agua por evaporación.

c) La materia orgánica es una fuente de nutrimentos para las plantas y de alimento para microorganismos y otros seres vivos del suelo. Mejora la fertilidad natural del suelo cuando se maneja

apropiadamente, aumenta la capacidad de intercambio catiónico del suelo, eleva su capacidad amortiguadora de cambios en pH, forma compuestos orgánico – minerales que favorecen la adsorción de nutrimentos por las plantas, puede ser utilizada para reducir el contacto suelo – fertilizante en aquellos suelos donde exista problema de fijación de fósforo, hierro, etc.

- d) La materia orgánica puede ser una fuente de sustancias fototóxicas. Algunos tipos de materia orgánica o productos derivados de ella pueden resultar perjudiciales para las plantas o para los microorganismos del suelo. Por otro lado, la adición de materiales orgánicos de alta relación C/N al suelo genera una inmovilización del nitrógeno disponible para las plantas y si se hace esto inmediatamente antes de la siembra, el cultivo se vera afectado negativamente. Los residuos de cosecha y otros materiales orgánicos del suelo son a menudo utilizados por agentes patógenos y parásitos de los cultivos para invernar o pasar de un ciclo de cultivo al siguiente.

Según Guérif et al. (2001), la no presencia de materia orgánica en el suelo conduce a un deterioro de sus propiedades físico-químicas, mayor erosionabilidad, con la consiguiente pérdida de productividad a medio y largo plazo. Por lo tanto, la aplicación de materia orgánica en el suelo está sobradamente justificada. Entre los efectos indirectos de las sustancias húmicas sobre la planta hay que incluir los efectos que provoca ésta en el suelo:

- Aporte de nutrientes minerales a las raíces.
- Mejora de la estructura del suelo.
- Aumento de la actividad microbiana del suelo.
- Aumento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y de la capacidad tamponante del suelo a nivel de pH.

- Formación de complejos estables con cationes polivalentes y aumento así de la disponibilidad de micronutrientes para las plantas.
- Aporte de sustancias húmicas que actúan como transportadores de nutrientes.
- Facilitar el calentamiento del suelo debido a que lo oscurecen.
- Afectar a la bioactividad, persistencia y biodegradabilidad de plaguicidas por combinarse con ellos.
- Pero debemos tener en cuenta que para conseguir estas propiedades debemos aportar grandes cantidades de materia orgánica y de buena calidad.

2.10.2 Sobre la planta

Las sustancias húmicas presentan efectos fisiológicos en la planta. Esto implica que la planta absorbe dichas sustancias. Los ácidos húmicos se desplazan a la parte aérea en menor cantidad que los fúlvicos siendo estos últimos los que la planta absorbe mejor (Mrabet, 2002).

Las sustancias húmicas ejercen un efecto favorable sobre la toma y contenido de nutrientes. Para algunos elementos como el cloro, la adición de sustancias húmicas tiene efectos inhibidores por lo que puede contrarrestar los síntomas de salinidad. Pueden influir directamente en la toma de micronutrientes debido a su capacidad de formar complejos con determinados cationes como hierro, manganeso, zinc, etc. Aumentan la solubilidad del hierro en la disolución del suelo y mejoran su translocación en el interior de la planta. Ya sea mediante aplicación al suelo o foliar, aumentan el crecimiento radicular y la formación de raíces secundarias (Zachmann et al., 1987).

2.11 Efectos de los sistemas de manejo de residuos sobre las propiedades del suelo.

El manejo de los residuos agrícolas puede ser clasificado en cuatro categorías principales basado en la ubicación final de los residuos: encima de la superficie del suelo, parcialmente incorporado en el suelo, completamente incorporado, y completamente eliminado (Klavdiko, 1994).

Los residuos de cosecha dejados en la superficie del suelo al parecer limitan la evaporación, el sellado del suelo y el encostrado, por lo que se incrementan la infiltración y limitan la erosión (Guérif et al., 2001).

El sellaje de la superficie inducido por la lluvia transforma la superficie de un suelo estructurado en una capa con alta densidad, baja porosidad y baja conductividad hidráulica comparando con el suelo subyacente (Moore, 1981; citado por Zhang et al., 2001).

Cabrera et al. (1999) reportan el efecto positivo de la incorporación de cachaza (residuo de la producción industrial del azúcar de caña que contiene materia orgánica y nutrientes) sobre las propiedades físicas de un vertisuelo y el rendimiento de la caña de azúcar. La aplicación de este residual orgánico favoreció la micro agregación y la estructuración del suelo, incrementó el volumen de aireación y la infiltración del agua, propiciando mejor desarrollo y mayor rendimiento del cultivo.

El arado y la quema de los rastrojos han sido, históricamente, los procesos más degradantes de la civilización humana. La labranza del suelo y la quema de los rastrojos de las cosechas podrían ser hoy un problema superado si se lograra comprender mejor el efecto negativo de estas formas ancestrales de trabajo (Crovetto, 1997, citado por Prause y Soler, 2001).

La quema de residuos es reconocida como una práctica de manejo en sistemas de cultivo, y es usada como un medio de reducir los residuos de cosecha en la superficie del suelo, asegurando que las operaciones de labranza no sean restringidas por éstos.

Efectos directos de la quema de residuos son los cambios que ocurren durante el fuego, en el cual el fuego o la ceniza afectan directamente propiedades particulares del suelo (nutrientes, humedad, materia orgánica, microorganismos, dispersión de la arcilla, estabilidad de agregados y propiedades hidráulicas). Entre los efectos indirectos tenemos erosión, reducción de la materia orgánica y baja estabilidad de los agregados que pueden ocurrir, a largo plazo, cuando la superficie del suelo es expuesta a los efectos del viento y el agua y los niveles de materia orgánica son reducidos (Valzano et al., 1997).

2.12 Efectos de los sistemas de labranza sobre la incorporación y descomposición de los residuos.

La descomposición de los residuos orgánicos está regulada por una serie de factores que determinan el tipo de descomposición y de humus que se forma (Cairo y Fundora, 1994). Entre estos factores tenemos el tipo de residuo orgánico, la reacción del suelo, la temperatura, la relación agua-aire y el tipo de microorganismo que actúa en el proceso, por lo que resulta muy importante el tamaño a que son triturados los residuos y la profundidad de su enterramiento.

Según Anger y Recous (1997) la dinámica de la descomposición de residuos de plantas en el suelo es compleja y controlada por muchos factores, incluyendo: disponibilidad de agua y nutrientes, temperatura, naturaleza física y química de los residuos, tipo de suelo y contacto suelo-residuo. Las características de los residuos de plantas (dimensiones de las partículas, naturaleza bioquímica, geometría, daños superficiales) y las propiedades físicas del suelo (textura, distribución y tamaño de agregados y

poros, contenido de agua) pueden ser importantes factores que controlen el contacto suelo-residuo.

Según Guérif et al. (2001) la labranza tiene efectos directos e indirectos en la descomposición de los residuos. La labranza afecta directamente la fragmentación y distribución de los residuos, e indirectamente las condiciones ambientales en las cuales éstos se descomponen. Las operaciones de labranza interactúan con el clima (lluvias, régimen térmico, etc.) para determinar las subsecuentes condiciones del suelo en las cuales estos procesos ocurren, y crea una estructura específica de la cama de siembra que afecta las propiedades físicas alrededor de los residuos.

La elección de prácticas eficientes de labranza requieren la consideración de los factores biofísicos relacionados con la descomposición de los residuos, la forma en que la estructura determina las condiciones físicas del suelo y cómo las operaciones de labranza actúan sobre la estructura del suelo y la distribución de los residuos de cosecha.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización del sitio experimental

El lugar donde se estableció fue en el campo experimental de Buenavista (bajío), de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, cuyas coordenadas geográficas son 25° 23' latitud norte y 101° 01' longitud oeste, con una altura sobre el nivel del mar de 1743m, en el municipio de Saltillo Coahuila.

3.2 Metodología

Estos parámetros se determinaron antes y después de establecer el experimento.

Densidad aparente (Da):

La determinación de la Densidad aparente (Da) del suelo se realizó mediante el método de extractor de núcleos en un extracto de suelo de 20 cm, con muestreo de 5 cm. Con 4 repeticiones, cuya fórmula es la siguiente:

$$Da = \left(\frac{P_{ss}}{V_t} \right)$$

Donde:

Da = Densidad aparente (gr.cm⁻³)

P_{ss} = Peso de la muestra de suelo seca (gr)

V_t = Volumen del cilindro (cm³)

Velocidad de infiltración (VI.):

Para la determinación de la velocidad de infiltración (Vi), se aplico el método de doble cilindro propuesto por (Kostiakov, 1932). Este método es uno de los mas utilizados para la determinación de la velocidad de infiltración del suelo, el método consiste en utilizar un par de cilindros concéntricos metálicos en forma de tubo con diferente diámetro, que pueden variar de 40 cm a 60 cm de largo y 30 cm de diámetro, así mismo los cilindros son introducidos en el suelo a una profundidad de 15 cm. El inicio de la prueba consiste en aplicar agua en el espacio formado por los dos cilindros con el propósito de evitar el movimiento lateral del agua contenida en el cilindro interior, en el cilindro exterior se mantendrá un volumen constante de agua y al cilindro interior se agrega agua procurando que sean volúmenes conocidos y con una regla como referencia de la altura del nivel de agua se toman lecturas en intervalos de tiempos determinados.

La formula para calcula la velocidad de infiltración es:

$$VI = \left(\frac{Li}{It} \right) \times 60$$

Donde:

VI = Velocidad de Infiltración (cm.h⁻¹)

Li = Lamina Infiltrada (cm)

It = Intervalo de tiempo (h).

Contenido de humedad (Pw):

Para la determinación del contenido de humedad se utilizo un método directo, que una de las formas más sencillas y a la vez mas utilizada ya que el equipo requerido es fácil de obtener y de bajo costo. El método consiste en tomar muestras de suelo en le campo del sitio don de se llevara acabo el experimento, las muestras son tomadas y colocadas en botes de aluminio

que cierran herméticamente, posteriormente son llevadas a laboratorio para determinar el peso del suelo húmedo, una vez realizado lo anterior se seca en estufa durante 24 horas a una temperatura de 105 a 110 °C, después de este tiempo se obtiene el peso del suelo seco.

La fórmula de contenido de humedad es:

$$P_w = \left(\frac{P_{sh} - P_{ss}}{P_{ss}} \right) \times 100$$

Donde:

P_w = Contenido de humedad basándose en peso del suelo seco (%)

P_{sh} = Peso de suelo húmedo (gr)

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

Determinación de los parámetros de resistencia al corte del suelo

Para la determinación de los parámetros de resistencia al corte del suelo se utilizó la Caja de Cizalla Torsional que representa una de las pruebas tradicionales de mecánica de suelos, esta caja permite la determinación de los valores de cohesión y fricción interna en el campo y consiste de un cilindro metálico y una tapa adaptada para transmitir al cilindro el esfuerzo torsional que se aplique. La tapa lleva contrapesos para proporcionar un esfuerzo normal a la superficie de falla al fondo del cilindro, lo mismo que lleva algunas protuberancias para asegurar que falle la superficie suelo / suelo en lugar de deslizar el cilindro (Figura 3.1).



Figura 3.1 Caja de Cizalla Torsional

El procedimiento para determinar los parámetros es el siguiente:

- a) Se aplica un esfuerzo normal (σ) constante por medio de pesos.
- b) Se determina por medio de un dinamómetro la fuerza que se ejerce para producir la deformación del suelo, o sea el deslizamiento del marco superior.
- c) Se grafica los valores del esfuerzo de corte (τ) contra la deformación observada para determinar el máximo valor (τ_{\max}).
- d) Se repite la prueba para varios valores del esfuerzo normal.
- e) Finalmente se grafican los valores de (τ_{\max}) contra (σ) construyendo su mejor línea. El valor de la cohesión (c) es igual al valor del interceptado en el grafico y al ángulo de fricción interna equivale a la pendiente de la línea.

Parámetros suelo / suelo

Máximo esfuerzo de corte (τ_{\max}):

$$\tau_{\max} = \text{cohesión} + \text{fricción}$$

$$\tau_{\max} = c + \sigma \tan \phi$$

Donde:

c = Cohesión (kN.m⁻²)

σ = Esfuerzo normal (kN.m⁻²)

ϕ = Angulo de fricción suelo / suelo (grados)

Cohesión del suelo (c): medida en kN.m⁻².

Esfuerzo normal (σ):

$$\sigma = \left(\frac{Q}{\pi \cdot r^2} \right)$$

Donde:

Q = Rango de contrapesos (pesos aplicados) (N)

r = Radio interior del cilindro (cm)

Máximo esfuerzo de corte (τ_{\max}):

$$\tau_{\max} = \left(\frac{3 \cdot T}{2 \cdot \pi \cdot r^3} \right)$$

Donde:

T = Torque (N-m)

r = Radio interior del cilindro (cm)

Parámetros suelo / interfaz

Esfuerzo máximo de deslizamiento (esfuerzo máximo de corte τ'_{\max}):

$$\tau'_{\max} = \text{adhesión} + \text{fricción}$$

$$\tau'_{\max} = \left(\frac{3.T}{2.\pi(re^3 - ri^3)} \right)$$

Donde:

T = Torque (N-m)

re = radio exterior del anillo con valor de 16 cm

ri = radio interior del anillo con valor de 10.7 cm.

Esfuerzo normal (σ):

$$\sigma = \left(\frac{Q}{\pi(re^2 - ri^2)} \right)$$

Donde:

Q = Rango de contrapesos (pesos aplicados) (N)

re = Radio exterior del anillo con valor de 16 cm

ri = Radio interior del anillo con valor de 10.7 cm.

La aplicación de la composta Miyaorganic se realizó de manera manual en cada una de las parcelas de 4 x 3 m, la dosis que se utilizaron de acuerdo a las cantidades establecidas para cada tratamiento fueron: Testigo (0 kg.ha⁻¹), T1 (2000 kg.ha⁻¹), T2 (3000 kg.ha⁻¹) y T3 (5000 kg.ha⁻¹). Cada tratamiento se repitió 2 veces más para ver las variaciones que se presentan.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Después de haber realizado la determinación de las variables a evaluar durante el desarrollo del experimento, procedemos a someterlos discusión para establecer la comparación de los resultados obtenidos antes y después de establecer el experimento, para con ello realizar la comparación con la hipótesis planteada y así dar conclusión a estos resultados.

4.1 Caracterización del sitio de muestreo

Antes de establecer el experimento se procedió a la caracterización del sitio experimental, donde se determinaron las variables siguientes; Clase textural, Densidad aparente (D_a), Velocidad de Infiltración (V_i).

Los parámetros de Resistencia al Corte que se determinaron son: Contenido de Humedad (P_w), Esfuerzo normal (σ), Esfuerzo máximo al corte (τ_{max}) y el Angulo de fricción (ϕ). Con el objetivo de conocer las condiciones del sitio de muestreo antes de establecer el experimento.

4.2 Textura del suelo

El suelo presento fracciones de arena del 40 %, limo 29.1 % y arcilla 30.9 % obteniendo como resultado un suelo de textura migajon arcilloso.

4.3 Densidad aparente antes de realizar el experimento

En la figura 4.1, se muestran los datos obtenidos de la densidad aparente antes de realizar el experimento, se observa que a una profundidad

de 10 cm se presenta un valor de la densidad aparente (1.31 gr.cm^{-3}), lo que permite determinar que en este punto se encuentra la mayor densidad aparente dentro del sustrato, lo que indica una disminución del espacio poroso, debido a una reducción en el contenido de materia orgánica del suelo, o bien por una degradación de los agregados del suelo. Como lo describe Narro (1986). Debido a la profundidad a la que se presenta este incremento en la densidad aparente, se puede considerar la existencia de un piso de rastra. Se observa también un valor elevado de densidad aparente (1.26 gr.cm^{-3}), a una profundidad de 15 cm, por la profundidad a la que se presenta se puede considerar como piso de arado.

Estos efectos de incrementos de densidad aparente pueden ser causados por falta de materia orgánica en el suelo, por el paso excesivo de maquinaria agrícola en combinación con la degradación de los agregados del suelo o bien por la aplicación de fuerzas de compactación que reducen el espacio poroso del suelo.

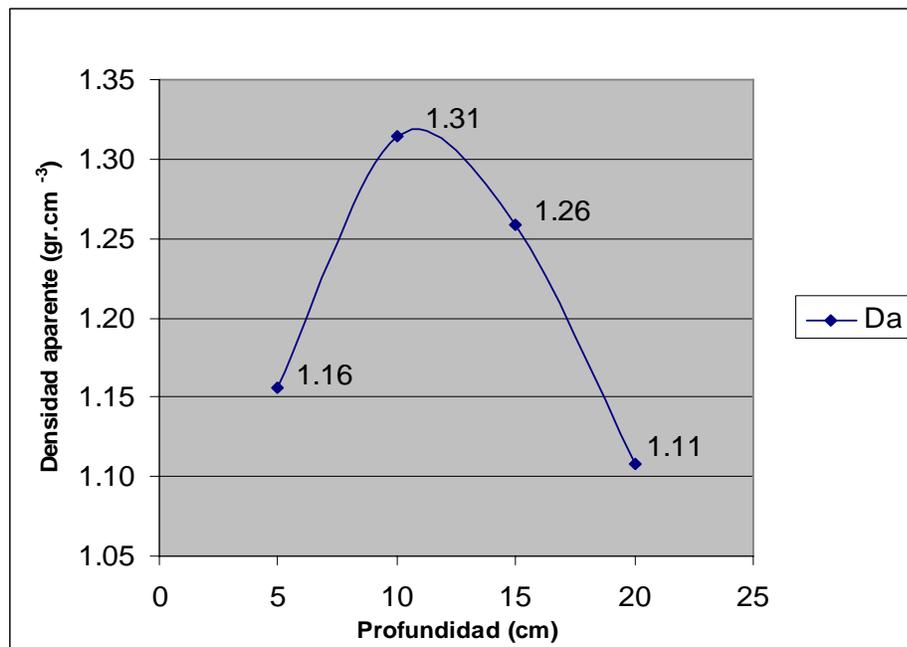


Figura 4.1 Datos de la densidad aparente para la caracterización del área experimental.

4.4 Velocidad de infiltración antes de realizar el experimento

En la figura 4.2 se observa el comportamiento de la velocidad de infiltración en el área experimental antes del establecimiento del experimento, lo que permite ver que la velocidad de infiltración básica promedio de las muestras realizadas se estableció después de los 30 minutos de iniciada la prueba, teniendo un valor promedio de las constantes de infiltración de $16.5 \text{ cm}\cdot\text{hr}^{-1}$. Punto de inicio de la infiltración básica.

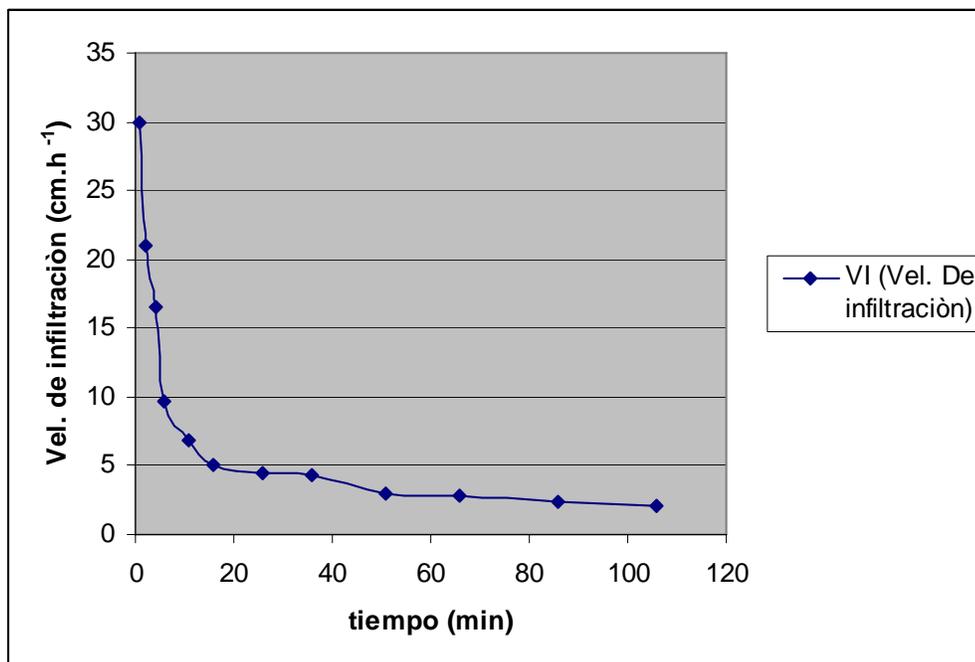


Figura 4.2 Comportamiento de la velocidad de infiltración promedio para la caracterización del área experimental.

4.5 Resistencia al corte del suelo antes de realizar el experimento

En la figura 4.3 se observa el comportamiento del esfuerzo máximo de corte con el esfuerzo normal para los parámetros suelo/suelo y suelo/metal sobre la superficie de falla en el área experimental antes de establecer el experimento. Las líneas siguen la ecuación de Coulomb, $\tau = c + \delta \tan \phi$.

Los resultados obtenidos en la medición del interfaz Suelo/Suelo son los siguientes:

- Cohesión (C): 29.421 kN.m⁻²
- Angulo de fricción interna (ϕ): 62.7°

Los resultados obtenidos en la medición del interfaz Suelo/Metal son los siguientes:

- Adhesión ($C\alpha$): 3.8439 kN.m⁻²
- Angulo de fricción Suelo/Interfaz (δ): 36.8°

Con un contenido de humedad (Pw) del 21.08 %

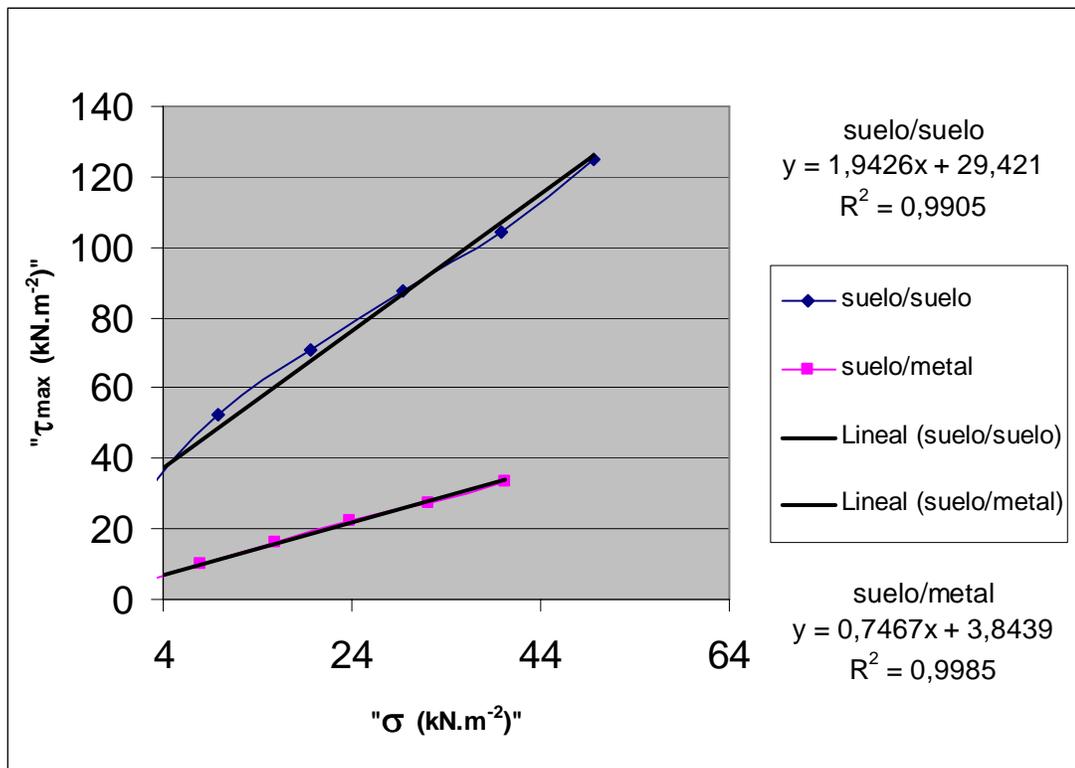


Figura 4.3 Comportamiento de la resistencia al corte para la caracterización del área experimental.

4.6 Resultados de las condiciones físicas del suelo, en los diferentes tratamientos de composta Miyaorganic® a los cuales fue sometido el suelo.

Valores de densidad aparente (Da)

Los datos de densidad aparente después del experimento nos permiten realizar una comparación para ver la variación con respecto al estado original del suelo a diferentes profundidades de los estratos.

Tabla 4.1 Variación de la densidad aparente para los diferentes estratos.

Profundidad cm	Densidad aparente (gr.cm ⁻³)			
	Testigo	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
0 - 5	1.0933	1.1100	1.1200	1.1933
5 - 10	1.2833	1.2333	1.2567	1.2167
10 - 15	1.3233	1.1967	1.2567	1.2600
15 - 20	1.3500	1.2600	1.3233	1.2867

Comparación de medias para la prueba de Tukey, nivel de significancia = 0.05

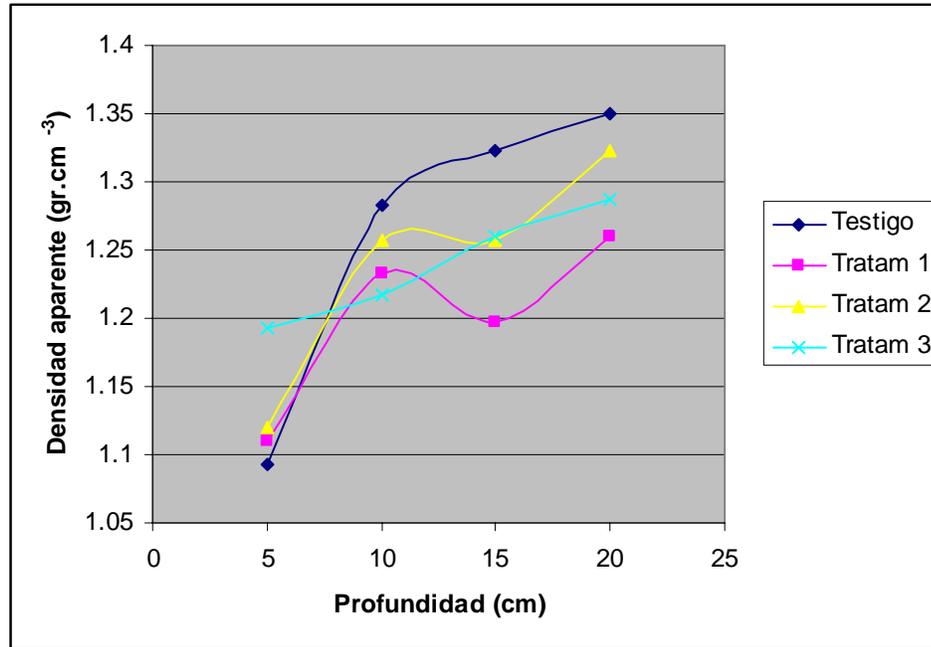


Figura 4.4 Comportamiento de la densidad aparente en los diferentes tratamientos

Podemos establecer que en las cuatro profundidades a las que se analizó la densidad aparente estadísticamente no existe diferencia significativa entre los tratamientos con diferentes dosis de aplicación de composta y el testigo. Al realizar la comparación de medias en la tabla 4.1 y la figura 4.4, podemos establecer que se presenta una variación numérica en la densidad aparente entre los testigos analizados en las profundidades de (5-20 cm) con respecto a las diferentes dosificaciones realizadas en los tratamientos.

Se puede considerar que la variación de densidad aparente, con respecto a testigo y tratamientos se presenta por el efecto que ocasiona el incremento de la materia orgánica en el suelo. Según los resultados obtenidos por, Martill (2005) el cual realizó un trabajo similar en el cual obtuvo una variación en densidad aparente, con la incorporación de materia orgánica al suelo en dosis muy similares a las utilizadas en este trabajo.

Valores de la velocidad de infiltración básica (V_i)

Los valores tomados después de haber establecido el experimento, nos permite determinar que para la velocidad de infiltración básica si existe deferencia significativa dentro de los valores obtenidos para los efectos de la dosificación de composta MiyaOrganic[®], comparando el testigo con los tratamientos de cosificación.

Tabla 4.2 Valores de infiltración básica en los diferentes tratamientos.

Tratamientos	(cm.h^{-1})
Testigo (0 kg.ha^{-1})	21.3433
Trata 1 (2000 kg.ha^{-1})	13.3500
Trata 2 (3000 kg.ha^{-1})	13.4367
Trata 3 (5000 kg.ha^{-1})	15.2933

Comparación de medias para la prueba de Tukey, nivel de significancia = 0.05

Se puede mencionar que para las dosificaciones estadísticamente no existe diferencia significativa entre testigo y tratamientos, al realizar la comparación de medias de los valores de velocidad de infiltración básica en la tabla 4.2, podemos establecer que hay variación numérica entre el testigo y tratamientos. Además se observa que existe variación incluso en los tratamientos. Según Narro (1986), al agregar materia orgánica al suelo, se presentan cambios en la velocidad de infiltración del agua del suelo. En los suelos migajon arcilloso los valores de estos parámetros pueden reducirse poco tiempo después de la agregación e incorporación de la materia orgánica pero posteriormente aumentan.

Valores de resistencia al corte suelo/suelo

En la tabla 4.3 y figura 4.5, se presentan los valores medios del esfuerzo máximo al corte suelo/suelo que se obtuvieron en los diferentes tratamientos y esfuerzos normales considerados. Después de establecer la

prueba de resistencia al corte suelo/suelo, y al someter los datos al análisis estadístico correspondiente se obtiene como resultado que estadísticamente no existe variación significativa entre testigo y los diferentes tratamientos.

Tabla 4.3 Comparación de la resistencia al corte suelo/suelo para los diferentes tratamientos.

E. Normal σ (kN.m^{-2})	E. Máximo (kN.m^{-2}) τ_{\max}			
	Testigo	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
0.00	26.7567	34.4000	26.7567	35.6767
9.82	62.4433	53.4267	53.5267	53.5200
19.64	79.0100	75.1933	71.3733	77.7367
29.46	98.1333	98.1333	91.7633	89.2133
39.82	107.0467	107.0500	105.7733	107.0500
49.64	124.8933	123.6200	118.5233	121.0767

Comparación de medias para la prueba de Tukey, nivel de significancia = 0.05

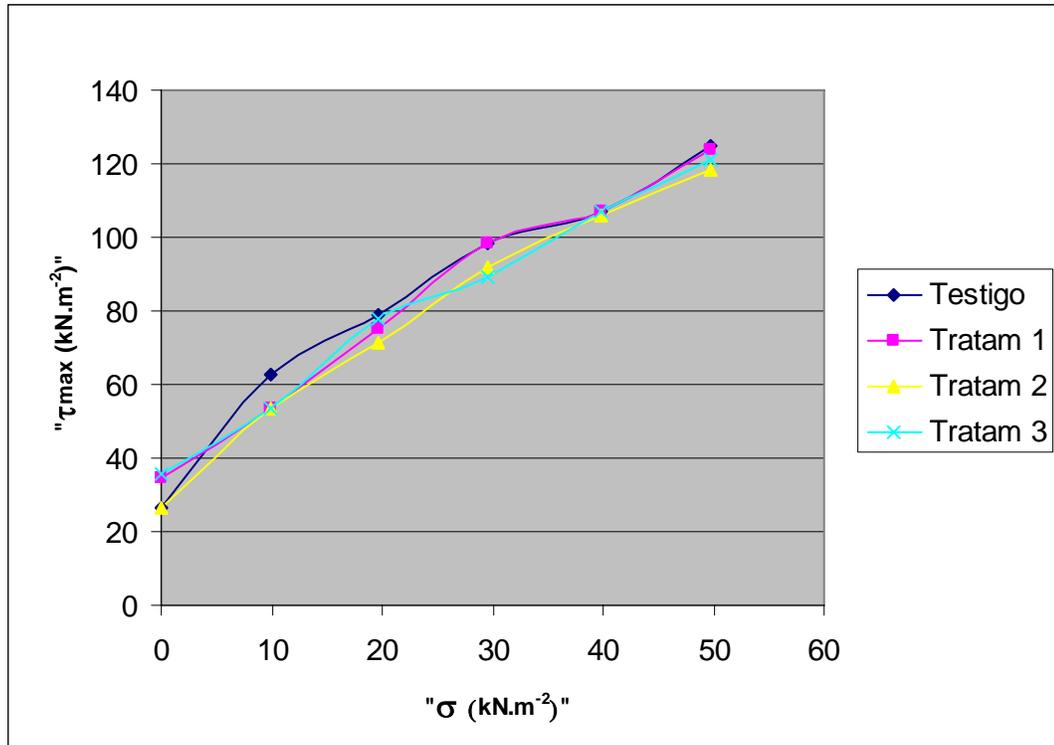


Figura 4.5 Comportamiento de la resistencia al corte suelo/suelo para los diferentes tratamientos

Al realizar la comparación de medias tanto en la tabla 4.3 y la figura 4.5, incluyen los valores medios obtenidos en la prueba de resistencia al corte suelo/suelo, el análisis de varianza con los efectos que tiene la materia orgánica y el esfuerzo normal que soporta en los valores del esfuerzo cortante máximo, se observa que para el testigo y tratamientos analizados hay variación numérica entre los valores del testigo con respecto a cada uno de los tratamientos analizados.

Se puede considerar que la variación de la resistencia al corte suelo/suelo en función de las dosificaciones de la composta, en cada uno de los esfuerzos normales a los cuales fue sometido el suelo tuvo un comportamiento de disminución de la resistencia máxima al corte, a excepción de la resistencia al corte donde no se aplicó esfuerzo normal, al

aumentar el contenido de materia orgánica, por lo que hay variación entre la relación testigo y tratamientos analizados.

Valores de resistencia al corte suelo/metal

En la tabla 4.4 y figura 4.6, se presentan los valores medios del esfuerzo máximo al corte suelo/metal que se obtuvieron en los diferentes tratamientos y esfuerzos normales considerados. Después de establecer la prueba de resistencia al corte suelo/metal, y al someter los datos al análisis estadístico correspondiente se obtiene como resultado que estadísticamente no existe variación significativa entre Testigo y los diferentes Tratamientos.

Tabla 4.4 Comparación de medias de la resistencia la corte suelo/metal para los diferentes tratamientos.

E. Normal σ (kN.m^{-2})	E. Máximo (kN.m^{-2}) τ_{\max}			
	Testigo	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
0.00	4.3567	4.3567	5.4433	4.3567
7.34	9.7900	10.3333	9.2467	9.7900
15.89	13.0500	14.1367	14.1367	13.0500
23.83	17.3967	19.0300	17.3867	19.5733
32.22	22.8400	25.5567	23.9267	23.3833
40.16	28.8167	30.9933	28.2733	28.2767

Comparación de medias para la prueba de Tukey, nivel de significancia = 0.05

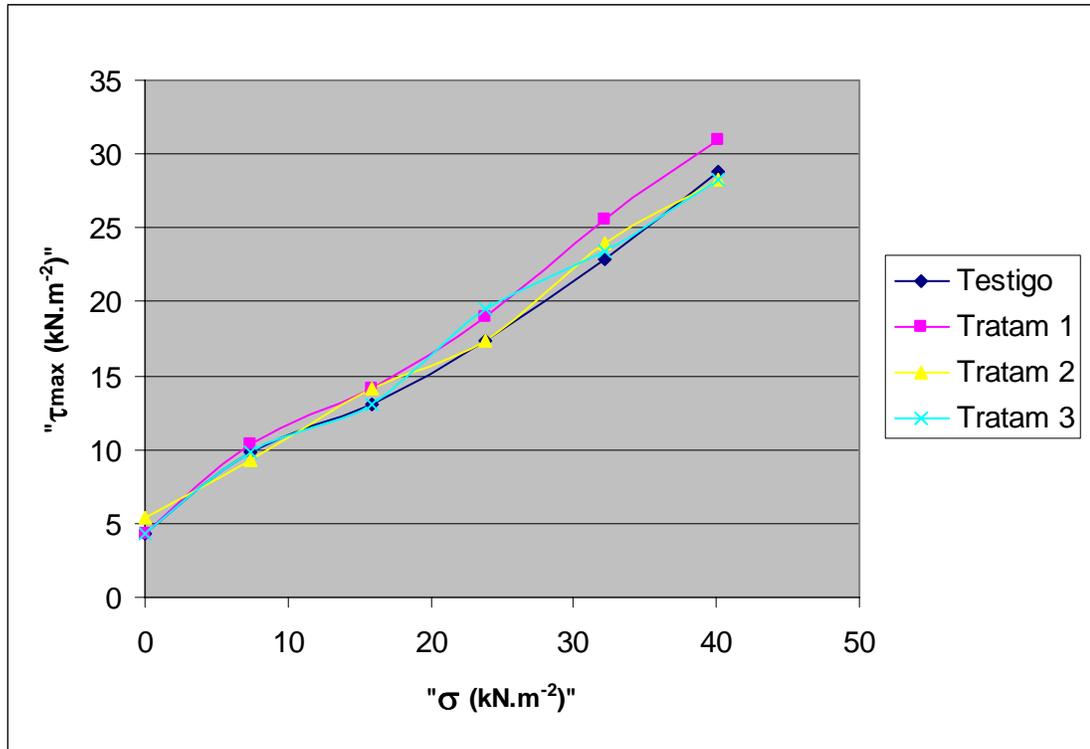


Figura 4.6 Comportamiento de la resistencia al corte suelo/metal en los diferentes tratamientos.

Al realizar la comparación de medias tanto en la tabla 4.4 y la figura 4.6 no se presenta variación significativa entre el testigo y tratamientos, por lo que no se presenta variación numérica en el testigo con respecto a los tratamientos analizados.

Con respecto a la resistencia al corte suelo/metal no ocurre exactamente lo mismo que en la de suelo/suelo, Se puede considerar que la variación de la resistencia al corte suelo/metal en función de las dosificaciones de la composta, en cada uno de los esfuerzos normales a los cuales fue sometido el suelo, a excepción de la resistencia al corte donde no se aplicó esfuerzo normal tuvo un comportamiento de variación no significativa de la resistencia máxima al corte, al aumentar el contenido de

materia orgánica, por lo que no hay diferencia significativa entre la relación testigo y tratamientos analizados.

Las pruebas de resistencia al corte suelo/suelo y suelo/metal, se realizaron con un porcentaje de contenido de humedad (Pw) del 25.56%.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con los resultados obtenidos no se puede considerar si la incorporación de la composta contribuye o no al acondicionamiento del suelo durante el desarrollo del experimento. Para el caso de la densidad aparente podemos determinar que la variación principal se presenta por los efectos de la composta MiyaOrganic® a la que fue sometido cada tratamiento, debido a las variaciones que se presentaron en el testigo con respecto a los tratamientos, lo que da como resultado una disminución de la densidad aparente del suelo, por lo tanto desde el punto de vista agrícola los valores bajos de la densidad aparente se asocian con una condición general mas apropiada para los cultivos.

Para los datos obtenidos en la velocidad de infiltración, se presento variaciones entre el testigo con respecto a los tratamientos por el efecto de la dosificación de materia orgánica a los cuales fueron sometidos, observándose que en las dosificaciones mas altas de (MiyaOrganic®) disminuyo el porcentaje de infiltración básica, lo que nos permite establecer que las variaciones principales son por le efecto de la composta a la cual fue sometido cada tratamiento.

En relación a la resistencia al corte del suelo/suelo estadísticamente no existió diferencia significativa entre testigo y tratamientos pero si hubo variación numérica entre el testigo y los diferentes tratamientos. Para el caso de resistencia al corte suelo/metal estadísticamente no existió diferencia significativa, al igual que no hubo variación numérica entre testigo y tratamientos.

En general se recomienda que para lograr ver efectos significativos dentro de las variables evaluadas, producidos por la incorporación de materia orgánica (MiyaOrganic[®]), es necesario continuar realizando aplicaciones posteriores, con la evaluación correspondiente a cada una de las variables.

VI. BIBLIOGRAFIA

- Arvidsson, J. 1998. Influence of soil texture and organic matter content on bulk density, air content, compression index and crop yield in field and laboratory compression experiments. *Soil & Tillage Research*. 49, 159-170.
- Angers, D. A., Recous, S. 1997. Decomposition of wheat straw and rye residues as affected by particle size. *Plant and Soil*. 189, 197-203.
- Barber, R. G., Navarro, F. y Orellana, M. 1993. *Labranza Vertical*. Centro de Investigación Agrícola Tropical y Proyecto de Desarrollo Tierras Bajas del Este del Banco Mundial, Santa Cruz, Bolivia.
- Barzegar, A. R., et al., 2000. Effectiveness of sugarcane residue incorporation at different water contents and the Proctor compaction loads in reducing soil compactibility. *Soil & Tillage Research*. 57, 167-172.
- Cassan, M. 1982. Los ensayos "in situ" en la mecánica de suelos, su ejecución e interpretación. Editores Técnicos Asociados. Barcelona, España.
- Cabeda, M. S. V. 1984. Degradación física y erosión. En: I Simposio de manejo do solo e plantio directo no sul do Brasil e III simposio de conservacao de solos do planalto. Passo Fundo, RS, 1985. Anais.
- Cabrera Moreira, S., Pérez Olmo, C., Pla Rodríguez, E., Domínguez Brito, J., Abréu, E. O. 1999. Influencia de la materia orgánica sobre los índices estructurales fundamentales de un vertisol y los rendimientos de la caña de azúcar. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 8:3, 55-58.
- Cairo, P., Fundora Herrera, O. 1994. *Edafología*. Editorial Pueblo y Educación. Ciudad de La Habana. 476 pp.
- Crovetto, C. 1997. La cero labranza y la nutrición del suelo. p. 73-78. In 5º Congreso Nacional de la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa (AAPRESID), Mar del Plata, Argentina.

- Dexter, A. R., et al., 1983. Structure of a tilled soil as influenced by tillage, wheat cropping and rainfall. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47, 570-575.
- Doran, J.W., Parkin, T.B. 1994. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A. (Eds.). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Soil Sci. Soc. Am., Am. Soc. Agron., Madison, WI, pp. 3-21.
- Dimanche, P.H., Hoogmoed, W.B. 2002. Soil tillage and water infiltration in semi-arid Morocco: the role of surface and sub-surface soil conditions. *Soil & Tillage Research*. 66, 13-21.
- Franzluebbers, A.J. 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil & Tillage Research*. 66, 95-106.
- Forsythe, W. 1975. *Manual de laboreo – física de suelos*. San José, Costa Rica, IICA, 398p.
- Fontaine, E. R. (1954). Investigations, into the mechanism of soil Adhesion. *J. soil .sci.*, 5:251-263.
- García de Cortázar, V., et al. 2003. Evaluación de un modelo predictivo sobre el efecto de la temperatura y humedad en la descomposición de rastrojo de trigo. *Agric. Téc.* 63:1, 69-80.
- Gómez, J.A., et al. 1999. Effects of tillage method on soil physical properties, infiltration and yield in an olive orchard. *Soil & Tillage Research*. 52, 167-175.
- Guérif, J., et al. 2001. A review of tillage effects on crop residue management, seedbed conditions and seedling establishment. *Soil & Tillage Research*. 61, 13-32.
- Gill, W. R. y G. E. Vanden Berg. 1968. Soil dynamics in tillage and traction. *Agriculture Handbook 316*. Agricultural Research Service. US Department of Agriculture. Washington DC.
- Godbole, R., R. Alcock y D.R.P. Hettiarachi. 1993. The prediction of tractive performance on soil surface. *J. Terramech.* 30: 443-459.
- Greacen, E. L. y R. Sonds. 1960. Compaction of forest soils. A. Review. *Aust. J. Res.* 18: 163-169.

- Gupta, S.C., E.C Schneider, W.E Larson, and A. Hadas. 1987. Influence of corn residue on compression and compaction behaviour of soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:207-212.
- Gonzalbez. J. F y L. Arciniega Fernández. 2004. Extracto del Artículo de la Revista "Agrícola vergel", pag. 264-269.
- Hernández, R. M., et al. 2000. Efectos de la siembra directa y la labranza convencional en la estabilidad estructural y otras propiedades físicas de ultisols en el Estado de Guarico-Venezuela. *Agronomía Tropical.* 50:1, 9-29.
- Hernanz, J. L., et al. 2002. Long-term effects of tillage systems and rotations on soil structural stability and organic carbon stratification in semiarid central Spain. *Soil & Tillage Research.* 66, 129-141.
- Janosi, Z. Y B. Hanamoto. 1961. The analytical determination of drawbar pull as a function of slip for tracker vehicles in ddeformable soils. *Proc. 1st Int. Conf. terrain Vehicle Systems.* Turin, Italy.
- Klavdiko, E.J. 1994. Residue effects on soil physical properties. In: Unger, P.W. (Ed.) *Managing agricultural residues.* CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 123-142.
- Kay, B.D., and D.A. Angers. 2000. Soil structure. P. 229-276. In Sumner, M. (ed.). *Handbook of soil science.* CRC Press, Boca Ratón, Florida, USA:
- Keen, B.A. y J. R.H. Coutts (1928). Single value soil properties. A study of the significance of certain soil constants. *J. Agr. Sci.*, 18:740-765.
- Lambe, T. William (1960). A mechanistic Picture of Shear Strength in clay. *Am. Soc. Civil Engr., Res. Conf. on shear Strength of cohesive Soil, Colorado,* Pags. 555-580.
- Lal, R. 1995. Tillage systems in the tropics: Management options and sustainability implications. *Soils Bulletin 71.* FAO, Rome, Italy.
- Ledesma, L. L 1986. Conservación y manejo de suelos en la Provincia del Chaco. INTA, Estación Experimental Agropecuaria, Saenz Peña. *Boletín N° 96.* pp. 66-73.

- Mrabet, R. 2002. Stratification of soil aggregation and organic matter under conservation tillage systems in Africa. *Soil & Tillage Research*. 66, 119-128.
- Marelli, H., de Mir, B., Arce, J., Lattanzi, A. 1984. Evaluación de la erosión hídrica en suelo labrado. *Ciencia del Suelo*. 2:1, 69-77.
- Moreno Alvarez, J. M. 2002. Modificaciones estructurales de suelos ferralíticos rojos bajo diferentes manejos. Tesis de Maestría en Ciencias del Suelo. Universidad Agraria de la Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez". Facultad de Agronomía.
- Mielniczuk, J. y Schneider, P. 1984. Aspectos Socioeconómicos do manejo de solos no sul do Brasil. En: I Simpósio de manejo do solo e platio direto no sul do Brasil e III Simpósio de conservacao de solos do planalto. Passo Fundo, RS, 1983. Anais.
- Muzilli, O.: Vieira, M. J. y Parra, M.S. 1980. Adubacao verde. En: Manual Agropecuario para o Paraná, Capitulo 3, Fundacao Instituto Agronómico do Paraná. Pp. 76-93.
- Martino, D.L y C.F. Shaykewich. 1994, Root penetration profiles of wheat and barleys as affectec by soil penetration resistance in field conditions. *Canadian Journal of soil Science* 74 (2): 193-200.
- Moore, I.D. 1981. Effect of surface sealing on infiltration. *Trans. ASAE* 24, 1546-1552.
- Nacci, S., Pla Sentis, I. 1992. Estudio de la resistencia a la penetración de los suelos con equipos de penetrometría desarrollados en el país. *Agronomía Trop*. 42:1-2, 115-132.
- Nichols, M. L. 1932. The dynamic properties of soil. Parts 1, 2 and 3. *Agric Engg* 13(8):201.
- Narro, F. E. (1986). Física de suelos y la Agricultura, México: Trillas: UAAAN.
- Prause, J., Soler, J. 2001. Cambios producidos en un suelo bajo labranza conservacionista y siembra directa de algodón en el Chaco, Argentina. *Agric. Téc.* 61:4, 527-532.
- Quiroga, A. R., et al., 1999. Soil compaction is related to management practices in the semi-arid Argentine pampas. *Soil & Tillage Research*. 52, 21-28.

- Rivas, E., et al. 1998. Efecto de la labranza sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y el rendimiento de maíz en los llanos altos del estado Monagas. *Agron. Trop.* 48:2, 157-174.
- Reeves, D. W. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil & Tillage Research.* 43, 131-167.
- Resende, M., Curi, N., Rezende, S.B., y Corrêa, G.F. 1995. *Pedología: base para distincão de ambientes.* Vicosa, NEPUT. 304 p.
- Terzaghi, K. y R. B. Peck. 1967. *Mecánica de los Suelos en la Ingeniería práctica.* Ateneo. Buenos Aires.
- Uribe, H., Rouanet J. L. 2002. Efecto de tres sistemas de labranza sobre el nivel de humedad en el perfil del suelo. *Agric. Téc.* v. 62 n. 4.
- Voroney, R.P., Paul, E.A., Anderson, D.W. 1989. Decomposition of wheat straw and stabilization of microbial products. *Can. J. Soil Sci.* 69, 63-77.
- Valzano, F.P., Greene, R.S.B., Murphy, B.W. 1997. Direct effect of stubble burning on soil hydraulic and physical properties in a direct drill tillage system. *Soil & Tillage Research,* 42, 209-219.
- Watts, C.W., Dexter, A.R., Dumitru, E., Arvidsson, J. 1996. An assessment of the vulnerability of soil structure to destabilisation to tillage. Part I. A laboratory test. *Soil & Tillage Research* 37, 161-174.
- Zhang, B. et al. 2001. Changes in penetration resistance of Ultisols from southern China as affected by shearing. *Soil & Tillage Research.* 57, 193-202.
- Zachmann, J. E. et al., 1987. Macroporus infiltration and redistribution as affected by earthworms. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51, 1580-1586.

Página Web consultada

FAO 1993. Guidelines for land-use planning. FAO Development Series 1
Food and Agricultura Organization of the United Nations,
Rome, Italy. www.itc.nl/rossiter/pubs/clcs96_b.htm-29k

Apéndice A

A.1 Tabla de resultados de la cohesión, adhesión y ángulos de fricción en las pruebas de resistencia al corte en los tratamientos analizados con diferente contenido de materia orgánica.

Tratamientos	suelo/suelo			suelo/metal	
	Pw %	Cohesión C kN.m ⁻²	Ang. Fricción ϕ grados	Adhesión α kN.m ⁻²	Ang. Fricción ϕ grados
Testigo 1 R1 (0 kg.ha ⁻¹)	20.26	26.13	62	4.2563	29
T1 R1 (2000 kg.ha ⁻¹)	21.24	24.931	61	5.6429	28
T2 R1 (3000 kg.ha ⁻¹)	25.62	29.539	60	4.6483	30
T3 R1 (5000 kg.ha ⁻¹)	23.34	39.876	54	4.3362	28
Testigo 2 R2 (0 kg.ha ⁻¹)	31.6	30.01	63	5.0258	30
T1 R2 (2000 kg.ha ⁻¹)	20.16	31.965	60	2.7788	32
T2 R2 (3000 kg.ha ⁻¹)	20.64	27.734	60	4.5554	31
T3 R2 (5000 kg.ha ⁻¹)	17.81	26.62	60	5.9515	26
Testigo 3 R3 (0 kg.ha ⁻¹)	19.9	55.998	58	3.4776	31
T1 R3 (2000 kg.ha ⁻¹)	23.58	54.875	60	4.5898	37
T2 R3 (3000 kg.ha ⁻¹)	22.43	41.13	62	5.5613	27
T3 R3 (5000 kg.ha ⁻¹)	24.23	47.991	63	3.3459	36

Gráficos y tablas de los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia al corte del suelo para las pruebas de suelo/suelo y suelo/metal

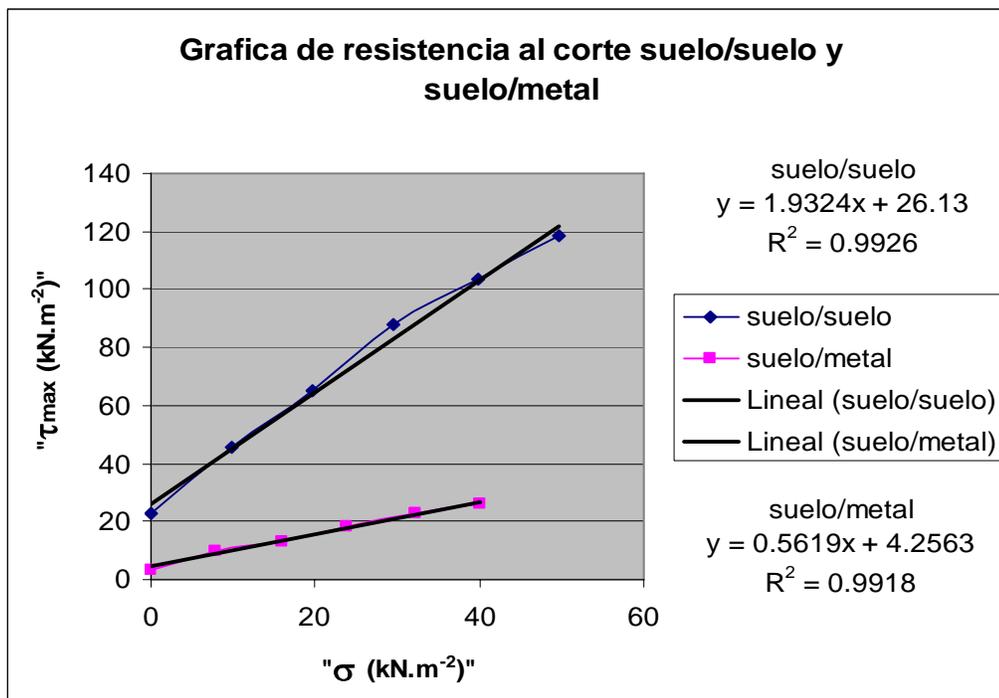
A.2 Resultados del testigo 1 repetición 1

Tabla de resultados de la prueba suelo/suelo

W (peso)	F1 (Fuerza)	T1 (Torque)	E. Normal (σ)	E. Máximo (τ_{max})
N	N	N.m ⁻¹	kN.m ⁻²	kN.m ⁻²
0	14.71	7.355	0.00	22.93
88.29	29.43	14.715	9.82	45.88
176.58	41.69	20.845	19.64	65.00
264.87	56.41	28.205	29.46	87.94
358.06	66.21	33.105	39.82	103.22
446.35	76.02	38.01	49.64	118.52

Tabla de resultados de la prueba suelo/metal

W (peso)	F2 (Fuerza)	T2 (Torque)	E. Normal (σ)	E. Máximo (τ_{max})
K	N	N.m ⁻¹	kN.m ⁻²	kN.m ⁻²
0	4.91	2.455	0.00	3.27
88.29	14.71	7.355	7.94	9.79
176.58	19.62	9.81	15.89	13.05
264.87	26.97	13.485	23.83	17.94
358.06	34.33	17.165	32.22	22.84
446.35	39.24	19.62	40.16	26.10



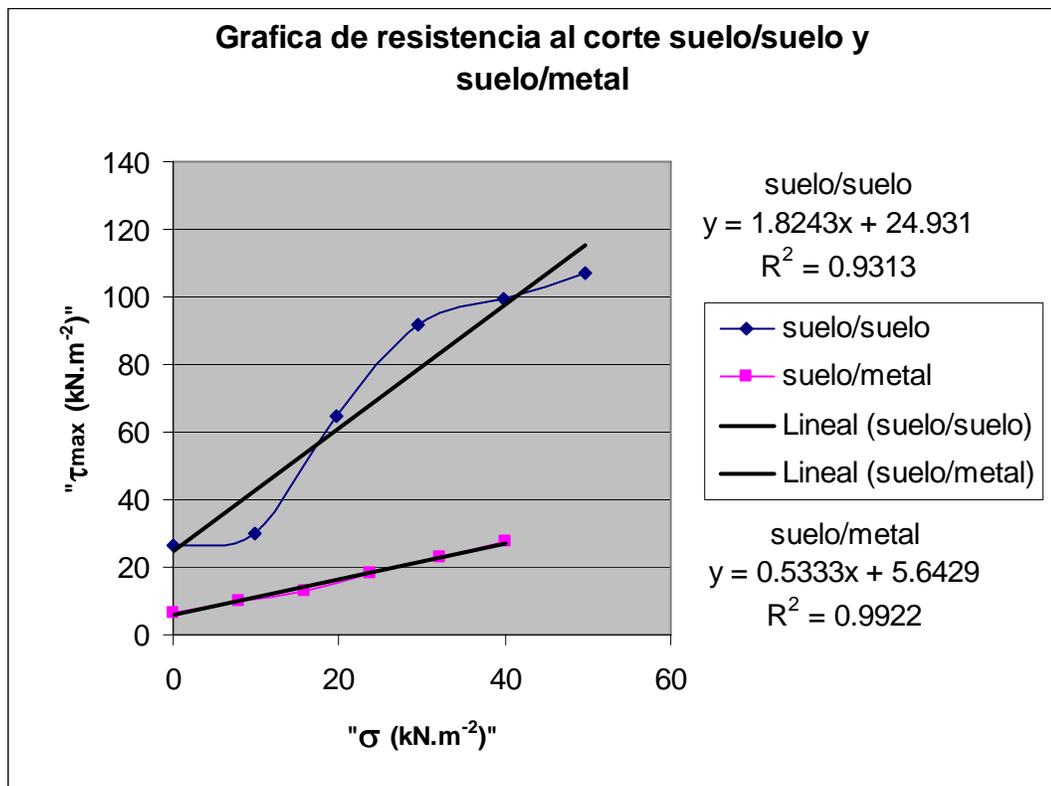
A.3 Resultados del tratamiento 1 repetición 1

Tabla de resultados de la prueba suelo/suelo

W (peso)	F1 (Fuerza)	T1 (Torque)	E. Normal (σ)	E. Maximo (τ_{max})
N	N	N.m ⁻¹	kN.m ⁻²	kN.m ⁻²
0	17.16	8.58	0.00	26.75
88.29	19.43	9.715	9.82	30.29
176.58	41.69	20.845	19.64	65.00
264.87	58.86	29.43	29.46	91.76
358.06	63.76	31.88	39.82	99.40
446.35	68.67	34.335	49.64	107.06

Tabla de resultados de la prueba suelo/metal

W (peso)	F2 (Fuerza)	T2 (Torque)	E. Normal (σ)	E. Maximo (τ_{max})
N	N	N.m ⁻¹	kN.m ⁻²	kN.m ⁻²
0	9.81	4.905	0.00	6.53
88.29	14.71	7.355	7.94	9.79
176.58	19.62	9.81	15.89	13.05
264.87	26.97	13.485	23.83	17.94
358.06	34.33	17.165	32.22	22.84
446.35	41.69	20.845	40.16	27.73



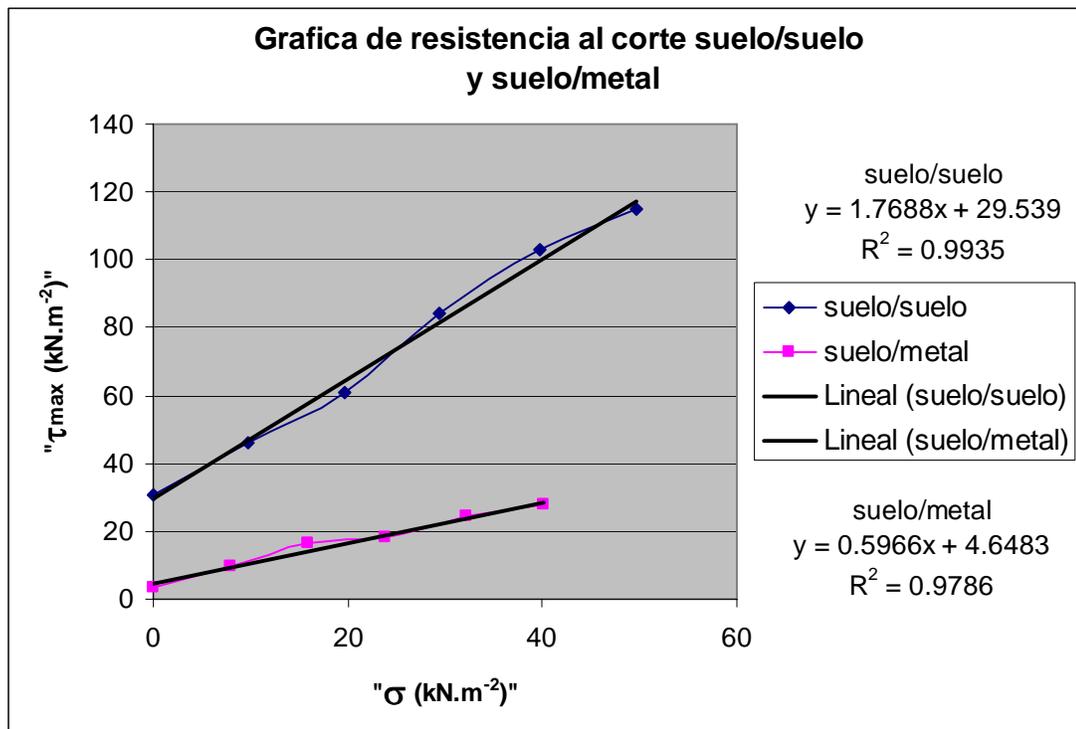
A.4 Resultados del tratamiento 2 repetición 1

Tabla de resultados de la prueba suelo/suelo

W (peso) N	F1 (Fuerza) N	T1 (Torque) N.m ⁻¹	E. Normal (σ) kN.m ⁻²	E. Maximo (τ _{max}) kN.m ⁻²
0	19.62	9.81	0.00	30.59
88.29	29.43	14.715	9.82	45.88
176.58	39.24	19.62	19.64	61.18
264.87	53.95	26.975	29.46	84.11
358.06	66.21	33.105	39.82	103.22
446.35	73.57	36.785	49.64	114.70

Tabla de resultados de la prueba suelo/metal

W(peso) N	F2 (Fuerza) N	T2 (Torque) N.m ⁻¹	E. Normal (σ) kN.m ⁻²	E. Maximo (τ _{max}) kN.m ⁻²
0	4.91	2.455	0.00	3.27
88.29	14.71	7.355	7.94	9.79
176.58	24.52	12.26	15.89	16.31
264.87	26.97	13.485	23.83	17.94
358.06	36.78	18.39	32.22	24.47
446.35	41.69	20.845	40.16	27.73



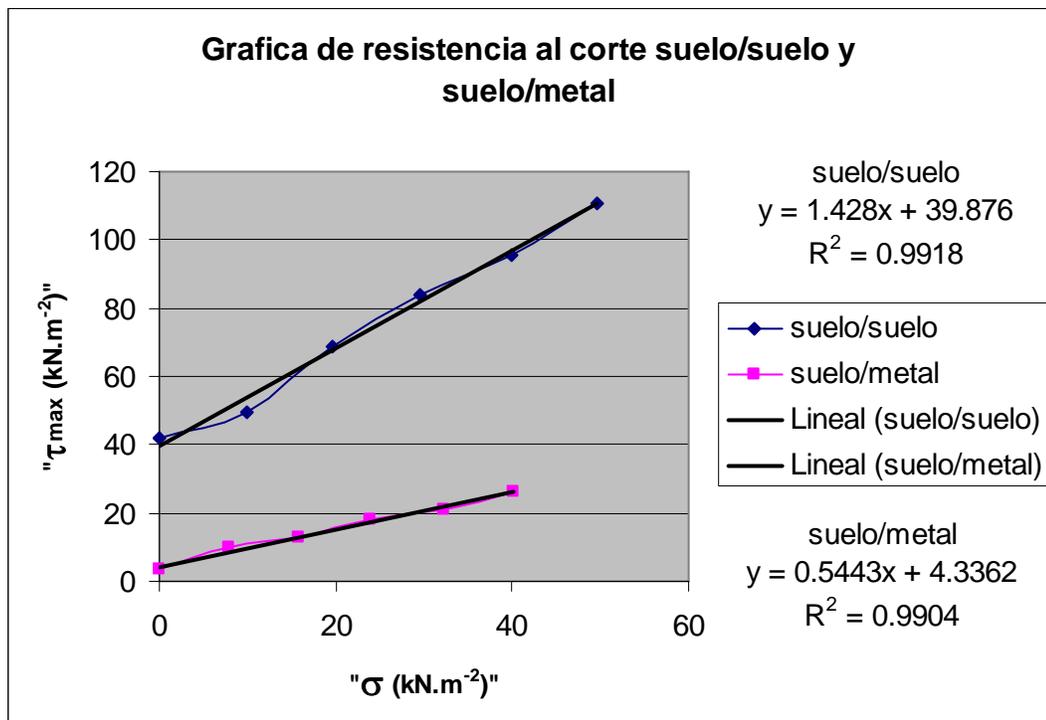
A.5 Resultados del tratamiento 3 repetición 1

Tabla de Resultados de la prueba suelo/suelo

W (peso) N	F1 (Fuerza) N	T1 (Torque) N.m ⁻¹	E. Normal (σ) kN.m ⁻²	E. Maximo (τ _{max}) kN.m ⁻²
0	26.97	13.485	0.00	42.05
88.29	31.88	15.94	9.82	49.70
176.58	44.14	22.07	19.64	68.81
264.87	53.95	26.975	29.46	84.11
358.06	61.31	30.655	39.82	95.58
446.35	71.12	35.56	49.64	110.88

Tabla de resultados de la prueba suelo/metal

W (peso) N	F2 (Fuerza) N	T2 (Torque) N.m ⁻¹	E. Normal (σ) kN.m ⁻²	E. Maximo (τ _{max}) kN.m ⁻²
0	4.91	2.455	0.00	3.27
88.29	14.71	7.355	7.94	9.79
176.58	19.62	9.81	15.89	13.05
264.87	26.97	13.485	23.83	17.94
358.06	31.88	15.94	32.22	21.21
446.35	39.24	19.62	40.16	26.10



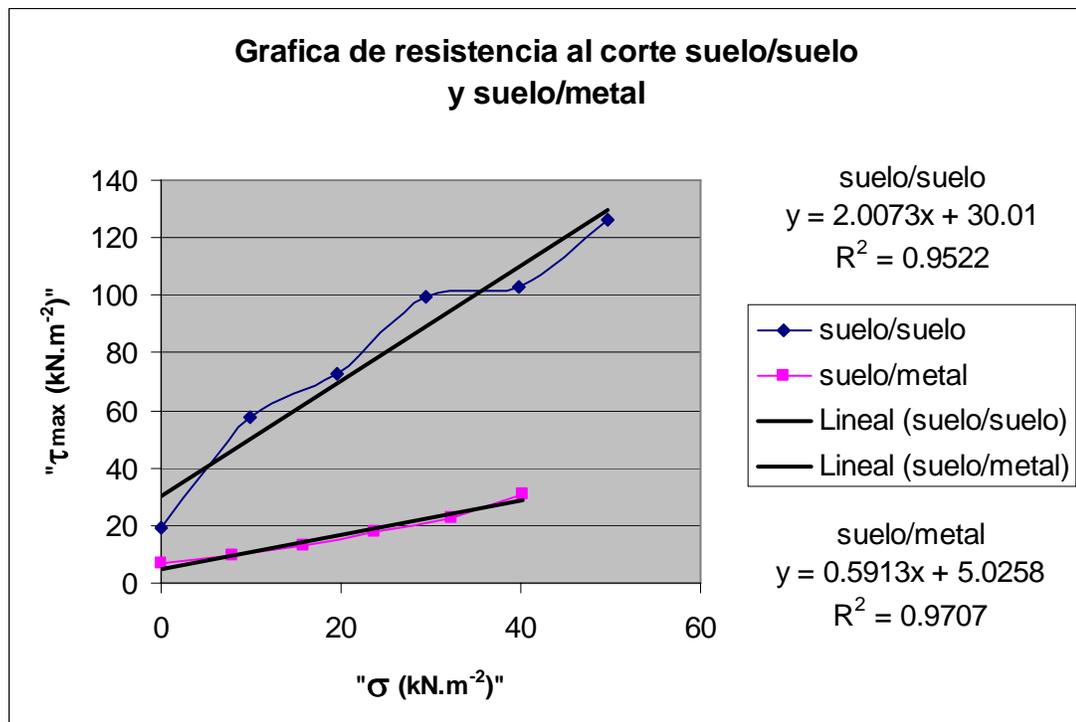
A.6 Resultados del testigo 2 repetición 2

Tabla de resultados de la prueba suelo/suelo

W (peso) N	F1 (Fuerza) N	T1 (Torque) N.m ⁻¹	E. Normal (σ) kN.m ⁻²	E. Maximo (τ _{max}) kN.m ⁻²
0	12.26	6.13	0.00	19.11
88.29	36.78	18.39	9.82	57.34
176.58	46.59	23.295	19.64	72.63
264.87	63.76	31.88	29.46	99.40
358.06	66.21	33.105	39.82	103.22
446.35	80.93	40.465	49.64	126.17

Tabla de resultados de la prueba suelo/metal

W (peso) N	F2 (Fuerza) N	T2 (Torque) N.m ⁻¹	E. Normal (σ) kN.m ⁻²	E. Maximo (τ _{max}) kN.m ⁻²
0	9.81	4.905	0.00	6.53
88.29	14.71	7.355	7.94	9.79
176.58	19.62	9.81	15.89	13.05
264.87	26.97	13.485	23.83	17.94
358.06	34.33	17.165	32.22	22.84
446.35	46.59	23.295	40.16	30.99



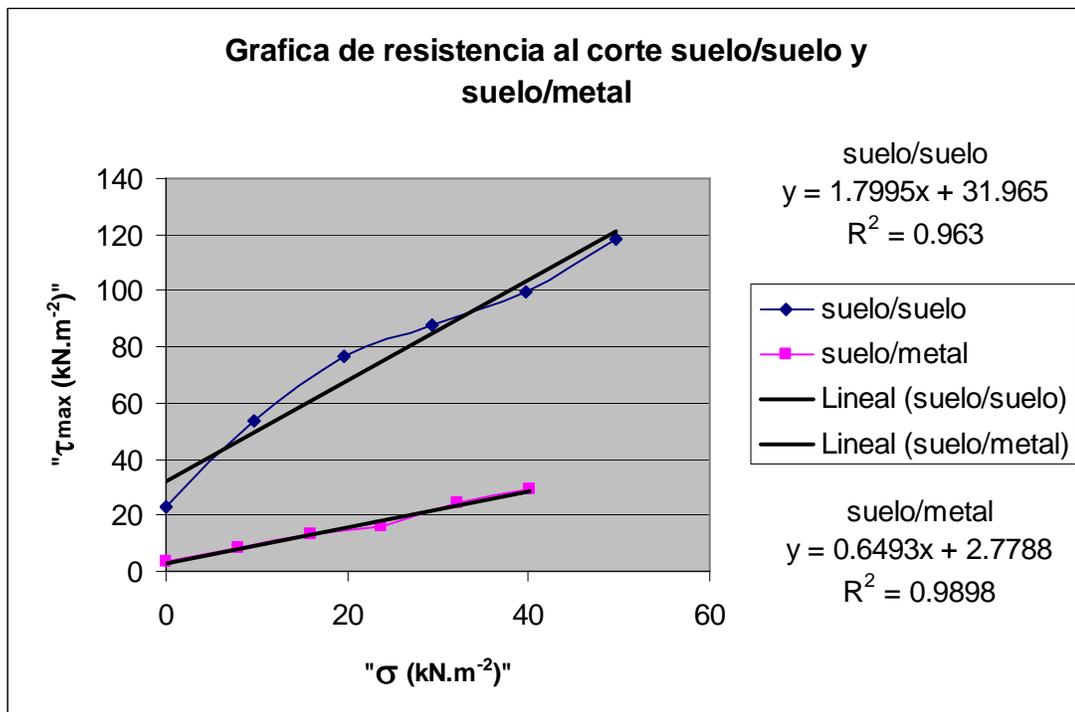
A.7 Resultados del tratamiento 1 repetición 2

Tabla de resultados de la prueba suelo/suelo

W (peso) N	F1 (Fuerza) N	T1 (Torque) N.m ⁻¹	E. Normal (σ) kN.m ⁻²	E. Maximo (τ _{max}) kN.m ⁻²
0	14.71	7.355	0.00	22.93
88.29	34.33	17.165	9.82	53.52
176.58	49.05	24.525	19.64	76.47
264.87	56.41	28.205	29.46	87.94
358.06	63.76	31.88	39.82	99.40
446.35	76.02	38.01	49.64	118.52

Tabla de resultados de la prueba suelo/metal

W (peso) N	F2 (Fuerza) N	T2 (Torque) N.m ⁻¹	E. Normal (σ) kN.m ⁻²	E. Maximo (τ _{max}) kN.m ⁻²
0	4.91	2.455	0.00	3.27
88.29	12.26	6.13	7.94	8.16
176.58	19.62	9.81	15.89	13.05
264.87	24.52	12.26	23.83	16.31
358.06	36.78	18.39	32.22	24.47
446.35	44.14	22.07	40.16	29.36



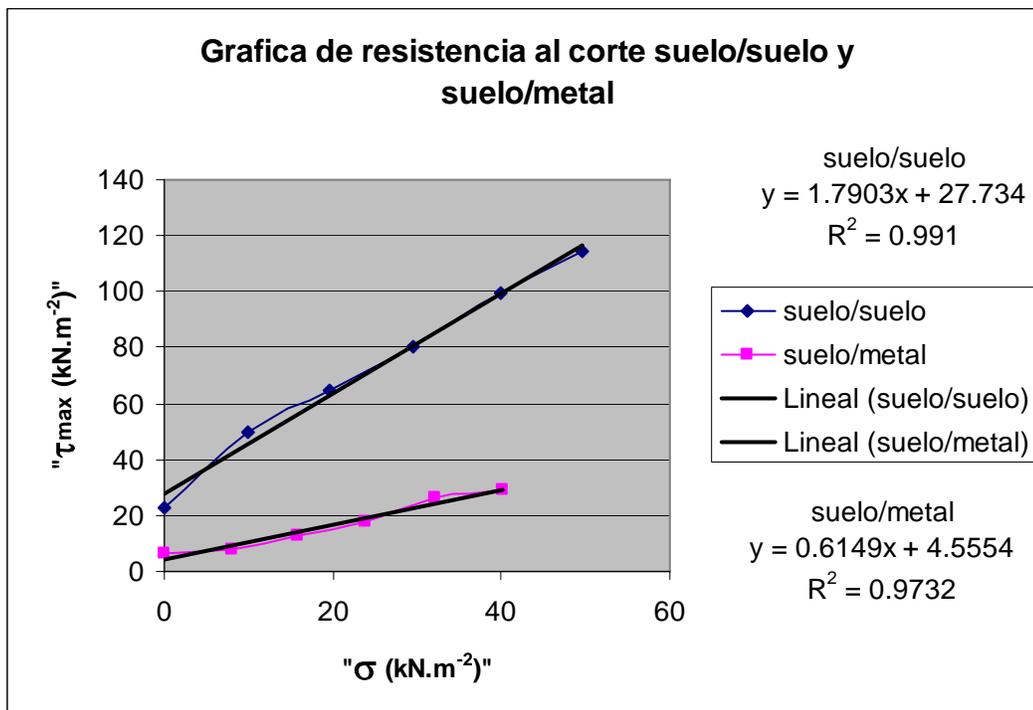
A.8 Resultados del tratamiento 2 repetición 2

Tabla de resultados de la prueba suelo/suelo

W (peso)	F1 (Fuerza)	T1 (Torque)	E. Normal (σ)	E. Maximo (τ_{max})
N	N	N.m ⁻¹	kN.m ⁻²	kN.m ⁻²
0	14.71	7.355	0.00	22.93
88.29	31.88	15.94	9.82	49.70
176.58	41.69	20.845	19.64	65.00
264.87	51.51	25.755	29.46	80.30
358.06	63.76	31.88	39.82	99.40
446.35	73.57	36.785	49.64	114.70

Tabla de resultados de la prueba suelo/metal

W (peso)	F2 (Fuerza _i)	T2 (Torque)	E. Normal (σ)	E. Maximo (τ_{max})
N	N	N.m ⁻¹	kN.m ⁻²	kN.m ⁻²
0	9.81	4.905	0.00	6.53
88.29	12.26	6.13	7.94	8.16
176.58	19.62	9.81	15.89	13.05
264.87	26.97	13.485	23.83	17.94
358.06	39.24	19.62	32.22	26.10
446.35	44.14	22.07	40.16	29.36



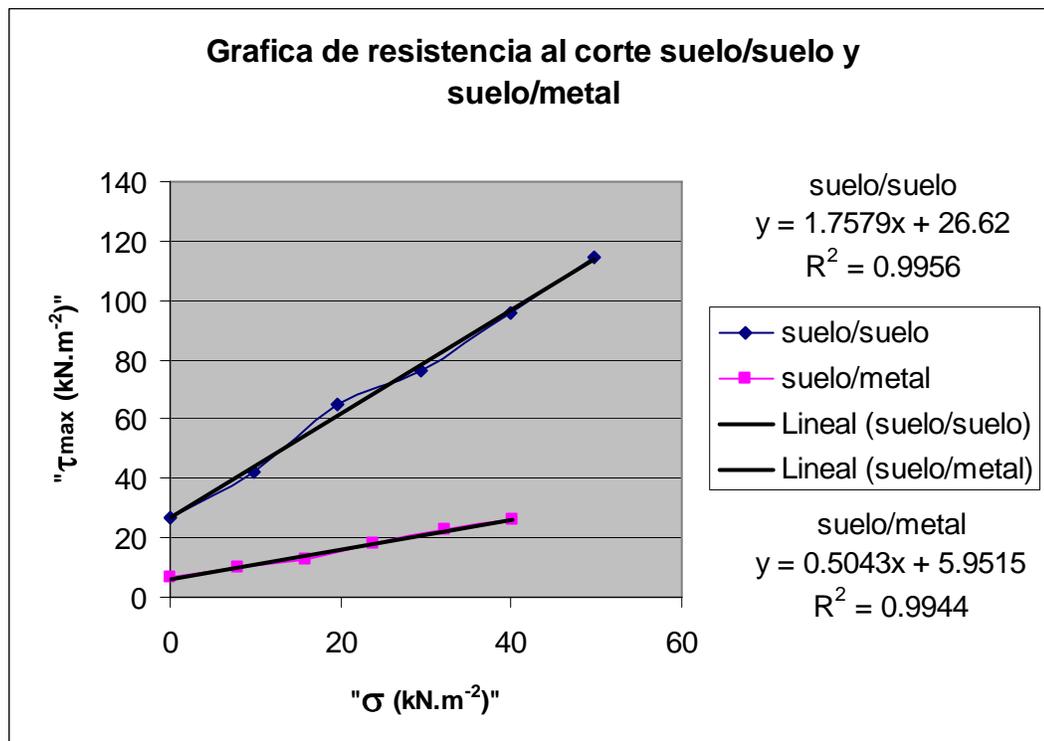
A.9 Resultados del tratamiento 3 repetición 2

Tabla de resultados de la prueba suelo/suelo

W (peso) N	F1 (Fuerza) N	T1 (Torque) N.m ⁻¹	E. Normal (σ) kN.m ⁻²	E. Maximo (τ _{max}) kN.m ⁻²
0	17.16	8.58	0.00	26.75
88.29	26.97	13.485	9.82	42.05
176.58	41.69	20.845	19.64	65.00
264.87	49.05	24.525	29.46	76.47
358.06	61.31	30.655	39.82	95.58
446.35	73.57	36.785	49.64	114.70

Tabla de resultados de la prueba suelo/metal

W (peso) N	F2 (Fuerza) N	T2 (Torque) N.m ⁻¹	E. Normal (σ) kN.m ⁻²	E. Maximo (τ _{max}) kN.m ⁻²
0	9.81	4.905	0.00	6.53
88.29	14.71	7.355	7.94	9.79
176.58	19.62	9.81	15.89	13.05
264.87	26.97	13.485	23.83	17.94
358.06	34.33	17.165	32.22	22.84
446.35	39.24	19.62	40.16	26.10



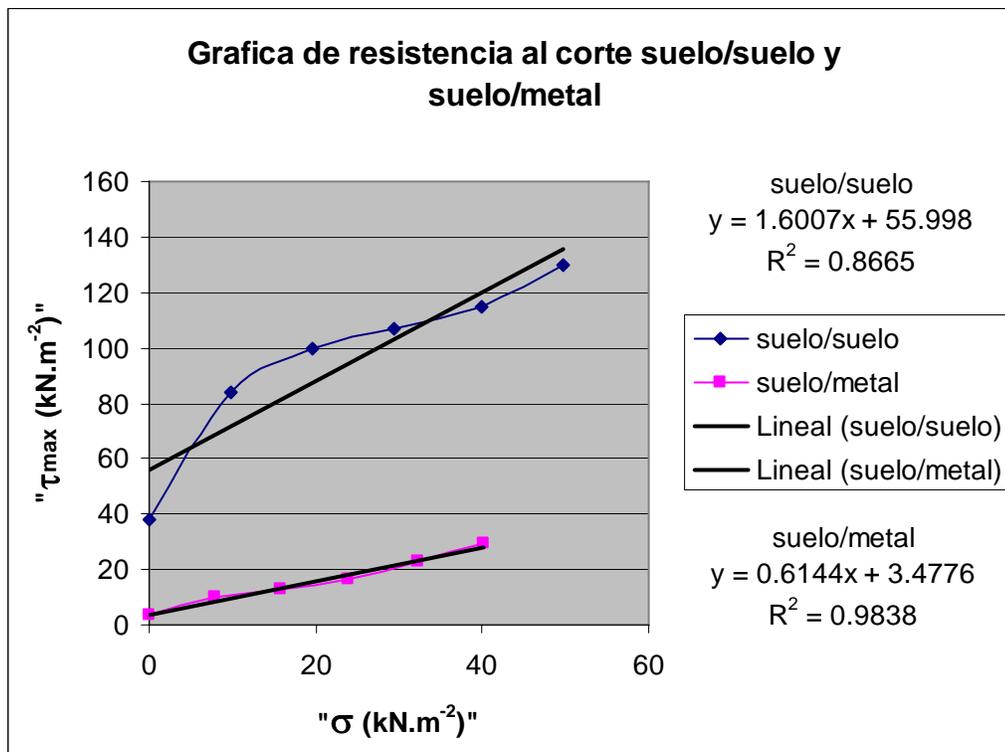
A.10 Resultados del testigo 3 repetición 3

Tabla de resultados de la prueba Suelo/Suelo

W (peso)	F1 (Fuerza)	T1 (Torque)	E. Normal (σ)	E. Maximo (τ_{max})
N	N	N.m ⁻¹	kN.m ⁻²	kN.m ⁻²
0	24.52	12.26	0.00	38.23
88.29	53.95	26.975	9.82	84.11
176.58	63.76	31.88	19.64	99.40
264.87	68.67	34.335	29.46	107.06
358.06	73.57	36.785	39.82	114.70
446.35	83.38	41.69	49.64	129.99

Tabla de resultados de la prueba suelo/metal

W (peso)	F2 (Fuerza)	T2 (Torque)	E. Normal (σ)	E. Maximo (τ_{max})
N	N	N.m ⁻¹	kN.m ⁻²	kN.m ⁻²
0	4.91	2.455	0.00	3.27
88.29	14.71	7.355	7.94	9.79
176.58	19.62	9.81	15.89	13.05
264.87	24.52	12.26	23.83	16.31
358.06	34.33	17.165	32.22	22.84
446.35	44.14	22.07	40.16	29.36



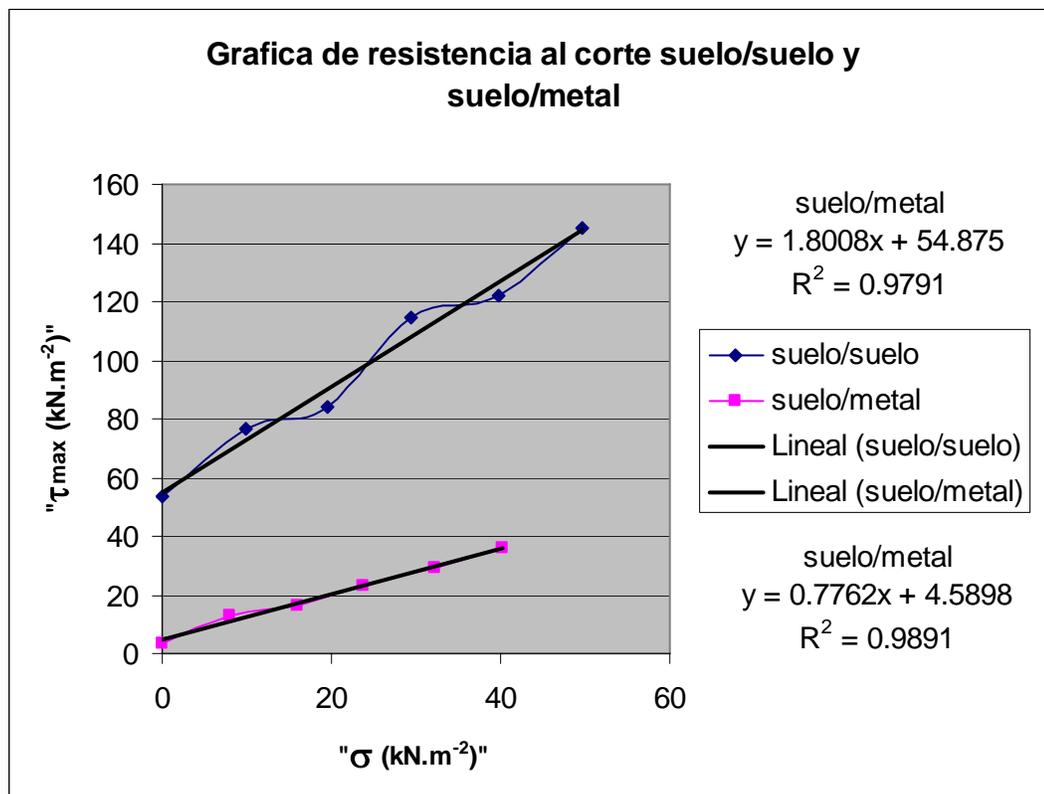
A.11 Resultados del tratamiento 1 repetición 3

Tabla de resultados de la prueba suelo/suelo

W (peso)	F1 (Fuerza)	T1 (Torque)	E. Normal (σ)	E. Maximo (τ_{max})
N	N	N.m ⁻¹	kN.m ⁻²	kN.m ⁻²
0	34.33	17.165	0.00	53.52
88.29	49.05	24.525	9.82	76.47
176.58	53.95	26.975	19.64	84.11
264.87	73.57	36.785	29.46	114.70
358.06	78.48	39.24	39.82	122.35
446.35	93.19	46.595	49.64	145.28

Tabla de resultados de la prueba suelo/metal

W (peso)	F2 (Fuerza)	T2 (Torque)	E. Normal (σ)	E. Maximo (τ_{max})
N	N	N.m ⁻¹	kN.m ⁻²	kN.m ⁻²
0	4.91	2.455	0.00	3.27
88.29	19.62	9.81	7.94	13.05
176.58	24.52	12.26	15.89	16.31
264.87	34.33	17.165	23.83	22.84
358.06	44.14	22.07	32.22	29.36
446.35	53.95	26.975	40.16	35.89



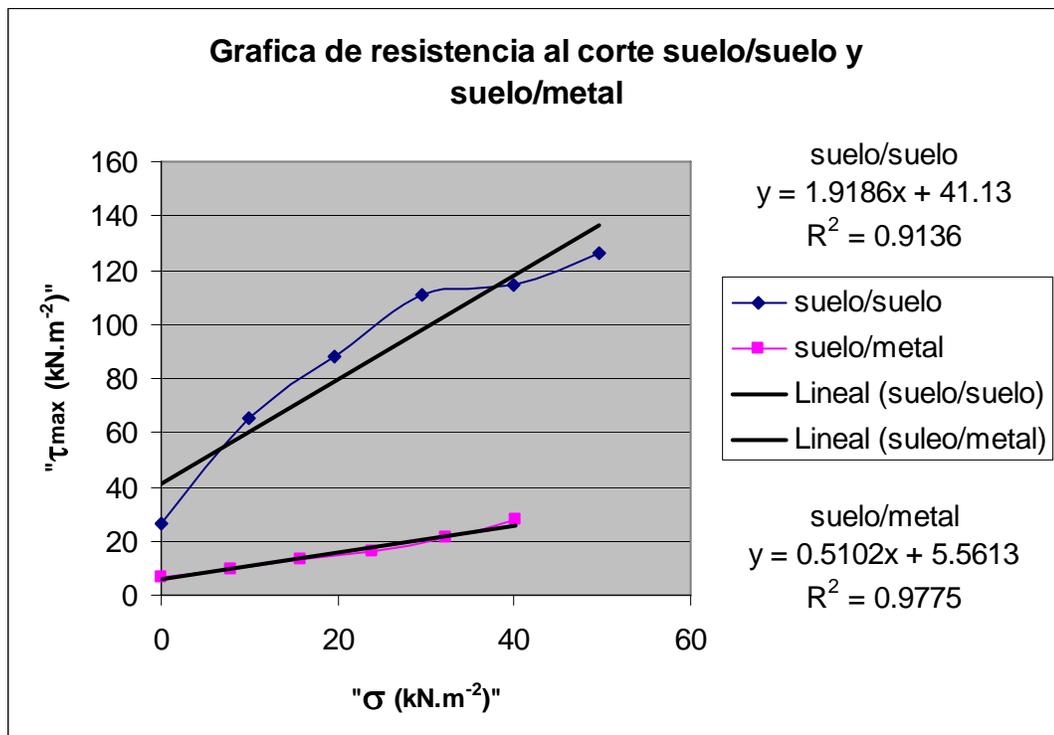
A.12 Resultados del tratamiento 2 repetición 3

Tabla de resultados de la prueba suelo/suelo

W (peso)	F1 (Fuerza)	T1 (Torque)	E. Normal (σ)	E. Maximo (τ_{max})
N	N	N.m ⁻¹	kN.m ⁻²	kN.m ⁻²
0	17.16	8.58	0.00	26.75
88.29	41.69	20.845	9.82	65.00
176.58	56.41	28.205	19.64	87.94
264.87	71.12	35.56	29.46	110.88
358.06	73.57	36.785	39.82	114.70
446.35	80.93	40.465	49.64	126.17

Tabla de resultados de la prueba suelo/metal

W (peso)	F2 (Fuerza)	T2 (Torque)	E. Normal (σ)	E. Maximo (τ_{max})
N	N	N.m ⁻¹	kN.m ⁻²	kN.m ⁻²
0	9.81	4.905	0.00	6.53
88.29	14.71	7.355	7.94	9.79
176.58	19.62	9.81	15.89	13.05
264.87	24.52	12.26	23.83	16.31
358.06	31.88	15.94	32.22	21.21
446.35	41.69	20.845	40.16	27.73



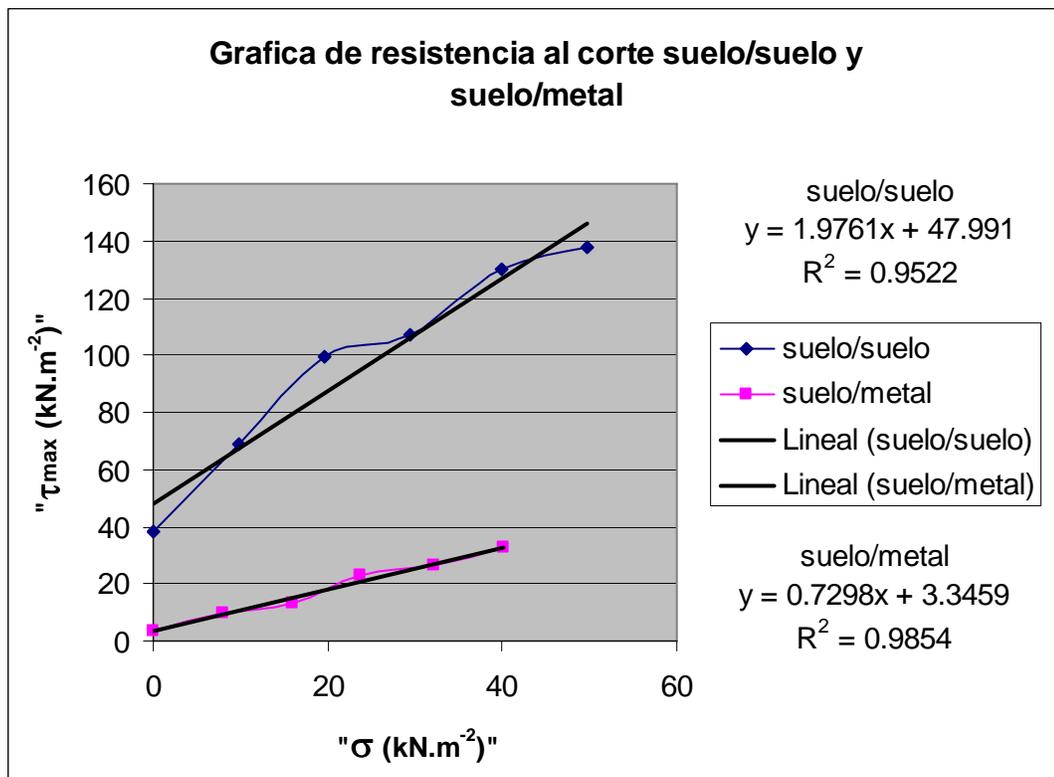
A.13 Resultados del tratamiento 3 repetición 3

Tabla de resultados de la prueba suelo/suelo

W (peso) N	F1 (Fuerza) N	T1 (Torque) N.m ⁻¹	E. Normal (σ) kN.m ⁻²	E. Maximo (τ _{max}) kN.m ⁻²
0	24.52	12.26	0.00	38.23
88.29	44.14	22.07	9.82	68.81
176.58	63.76	31.88	19.64	99.40
264.87	68.67	34.335	29.46	107.06
358.06	83.38	41.69	39.82	129.99
446.35	88.29	44.145	49.64	137.65

Tabla de resultados de la prueba suelo/metal

W (peso) N	F2 (Fuerza) N	T2 (Torque) N.m ⁻¹	E. Normal (σ) kN.m ⁻²	E. Maximo (τ _{max}) kN.m ⁻²
0	4.91	2.455	0.00	3.27
88.29	14.71	7.355	7.94	9.79
176.58	19.62	9.81	15.89	13.05
264.87	34.33	17.165	23.83	22.84
358.06	39.24	19.62	32.22	26.10
446.35	49.05	24.525	40.16	32.63



Apéndice B

A. 14 Variación de la densidad aparente para los diferentes estratos

DATOS ESTADISTICOS DE LA DENSIDAD APARENTE (0-5 cm)

ANALISIS DE VARIANZA					
FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	3	0.017559	0.005853	1.1818	0.393
BLOQUES	2	0.033018	0.016509	3.3333	0.106
ERROR	6	0.029716	0.004953		
TOTAL	11	0.080294			

C.V. = 6.23%

TABLA DE MEDIAS

TRATAMIENTO	MEDIA
4	1.1933 A
3	1.1200 A
2	1.1100 A
1	1.0933 A

DATOS ESTADISTICOS DE LA DENSIDAD APARENTE (5-10 cm)

ANALISIS DE VARIANZA					
FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	3	0.007561	0.002520	0.2695	0.846
BLOQUES	2	0.041552	0.020776	2.2214	0.189
ERROR	6	0.056116	0.009353		
TOTAL	11	0.105228			

C.V. = 7.75%

TABLA DE MEDIAS

TRATAMIENTO	MEDIA
1	1.2833 A
3	1.2567 A
2	1.2333 A
4	1.2167 A

DATOS ESTADISTICOS DE LA DENSIDAD APARENTE (10-15 cm)

ANALISIS DE VARIANZA					
FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	3	0.024092	0.008031	2.9501	0.120
BLOQUES	2	0.138065	0.069033	25.3600	0.002
ERROR	6	0.016333	0.002722		
TOTAL	11	0.178490			

C.V. = 4.14%

TABLA DE MEDIAS

TRATAMIENTO	MEDIA
1	1.3233 A
4	1.2600 A
3	1.2567 A
2	1.1967 A

DATOS ESTADISTICOS DE LA DENSIDAD APARENTE (15-20 cm)

ANALISIS DE VARIANZA					
FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	3	0.014168	0.004723	1.2276	0.379
BLOQUES	2	0.031851	0.015925	4.1396	0.074
ERROR	6	0.023083	0.003847		
TOTAL	11	0.069101			

C.V. = 4.75%

TABLA DE MEDIAS

TRATAMIENTO	MEDIA
1	1.3500 A
3	1.3233 A
4	1.2867 A
2	1.2600 A

A. 15 Valores de la velocidad de infiltración básica en los diferentes tratamientos

DATOS ESTADISTICOS DE LA INFLITRACIÓN BÁSICA

ANALISIS DE VARIANZA					
FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	3	127.682129	42.560711	2.1193	0.199
BLOQUES	2	53.270752	26.635376	1.3263	0.334
ERROR	6	120.496094	20.082682		
TOTAL	11	301.448975			

C.V. = 28.26%

TABLA DE MEDIAS

TRATAMIENTO	MEDIA
1	21.3433 A
4	15.2933 A
3	13.4367 A
2	13.3500 A

A. 16 Valores de resistencia al corte suelo/suelo

DATOS ESTADISTICOS DEL ESFUERZO MAXIMO AL CORTE (E. NORMAL 0.00 kN.m⁻²)

ANALISIS DE VARIANZA						
FV	GL	SC	CM	F	P>F	
TRATAMIENTOS	3	208.201172	69.400391	1.0741	0.429	
BLOQUES	2	528.891602	264.445801	4.0927	0.076	
ERROR	6	387.681641	64.613609			
TOTAL	11	1124.774414				

C.V. = 26.02%

TABLA DE MEDIAS

TRATAMIENTO	MEDIA
4	35.6767 A
2	34.4000 A
3	26.7567 A
1	26.7567 A

DATOS ESTADISTICOS DEL ESFUERZO MAXIMO AL CORTE (E. NORMAL 9.82 kN.m⁻²)

ANALISIS DE VARIANZA						
FV	GL	SC	CM	F	P>F	
ATAMIENTOS	3	180.339844	60.113281	0.9341	0.518	
BLOQUES	2	2034.710938	1017.355469	15.8087	0.005	
ERROR	6	386.125000	64.354164			
TOTAL	11	2601.175781				

C.V. = 14.39%

TABLA DE MEDIAS

TRATAMIENTO	MEDIA
1	62.4433 A
3	53.5267 A
4	53.5200 A
2	53.4267 A

DATOS ESTADISTICOS DEL ESFUERZO MAXIMO AL CORTE (E.NORMAL
19.64 kN.m⁻²)

ANALISIS DE VARIANZA					
FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	3	102.039063	34.013020	0.9632	0.530
BLOQUES	2	1756.101563	878.050781	24.8661	0.002
ERROR	6	211.867188	35.311199		
TOTAL	11	2070.007813			

C.V. = 7.84%

TABLA DE MEDIAS	
TRATAMIENTO	MEDIA
1	79.0100 A
4	77.7367 A
2	75.1933 A
3	71.3733 A

DATOS ESTADISTICOS DEL ESFUERZO MAXIMO AL CORTE (E.NORMAL
29.46 kN.m⁻²)

ANALISIS DE VARIANZA					
FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	3	185.101563	61.700520	1.8335	0.241
BLOQUES	2	1464.625000	732.312500	21.7611	0.002
ERROR	6	201.914063	33.652344		
TOTAL	11	1851.640625			

C.V. = 6.15%

TABLA DE MEDIAS	
TRATAMIENTO	MEDIA
2	98.1333 A
1	98.1333 A
3	91.7633 A
4	89.2133 A

DATOS ESTADISTICOS DEL ESFUERZO MAXIMO AL CORTE (E.NORMAL
39.82 kN.m⁻²)

ANALISIS DE VARIANZA						
FV	GL	SC	CM	F	P>F	
TRATAMIENTOS	3	3.671875	1.223958	0.0324	0.991	
BLOQUES	2	1128.781250	564.390625	14.9580	0.005	
ERROR	6	226.390625	37.731770			
TOTAL	11	1358.843750				

C.V. = 5.76%

TABLA DE MEDIAS	
TRATAMIENTO	MEDIA
4	107.0500 A
2	107.0500 A
1	107.0467 A
3	105.7733 A

DATOS ESTADISTICO DEL ESFUERZO MAXIMO AL CORTE (E. NORMAL
49.64 kN.m⁻²)

ANALISIS DE VARIANZA						
FV	GL	SC	CM	F	P>F	
TRATAMIENTOS	3	71.765625	23.921875	0.4714	0.715	
BLOQUES	2	1040.187500	520.093750	10.2492	0.012	
ERROR	6	304.468750	50.744793			
TOTAL	11	1416.421875				

C.V. = 5.84%

TABLA DE MEDIAS	
TRATAMIENTO	MEDIA
1	124.8933 A
2	123.6200 A
4	121.0767 A
3	118.5233 A

A. 17 Valores de resistencia al corte suelo/metal

DATOS ESTADISTICOS DEL ESFUERZO MAXIMO AL CORTE (E. NORMAL 0.00 kN.m⁻²)

ANALISIS DE VARIANZA					
FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	3	2.656860	0.885620	0.2500	0.859
BLOQUES	2	7.085052	3.542526	1.0000	0.576
ERROR	6	21.255249	3.542542		
TOTAL	11	30.997162			

C.V. = 40.67%

TABLA DE MEDIAS

TRATAMIENTO	MEDIA
3	5.4433 A
2	4.3567 A
1	4.3567 A
4	4.3567 A

DATOS ESTADISTICOS DEL ESFUERZO MAXIMO AL CORTE (E. NORMAL 7.34 kN.m⁻²)

ANALISIS DE VARIANZA					
FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	3	1.771240	0.590413	0.4000	0.760
BLOQUES	2	5.313965	2.656982	1.8001	0.244
ERROR	6	8.856201	1.476034		
TOTAL	11	15.941406			

C.V. = 12.41%

TABLA DE MEDIAS

TRATAMIENTO	MEDIA
2	10.3333 A
1	9.7900 A
4	9.7900 A
3	9.2467 A

DATOS ESTADISTICOS DEL ESFUERZO MAXIMO AL CORTE (E. NORMAL 15.89 kN.m⁻²)

ANALISIS DE VARIANZA						
FV	GL	SC	CM	F	P>F	
TRATAMIENTOS	3	3.542480	1.180827	0.5714	0.656	
BLOQUES	2	1.770996	0.885498	0.4285	0.673	
ERROR	6	12.398926	2.066488			
TOTAL	11	17.712402				

C.V. = 10.58%

TABLA DE MEDIAS	
TRATAMIENTO	MEDIA
2	14.1367 A
3	14.1367 A
1	13.0500 A
4	13.0500 A

DATOS ESTADISTICOS DEL ESFUERZO MAXIMO AL CORTE (E. NORMAL 23.83 kN.m⁻²)

ANALISIS DE VARIANZA						
FV	GL	SC	CM	F	P>F	
TRATAMIENTOS	3	11.387207	3.795736	0.6855	0.595	
BLOQUES	2	9.397461	4.698730	0.8486	0.524	
ERROR	6	33.222168	5.537028			
TOTAL	11	54.006836				

C.V. = 12.83%

TABLA DE MEDIAS	
TRATAMIENTO	MEDIA
4	19.5733 A
2	19.0300 A
1	17.3967 A
3	17.3867 A

DATOS ESTADISTICOS DEL ESFUERZO MAXIMO AL CORTE (E. NORMAL 32.22 kN.m⁻²)

ANALISIS DE VARIANZA					
FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	3	12.399414	4.133138	0.6292	0.624
BLOQUES	2	8.413574	4.206787	0.6405	0.563
ERROR	6	39.410156	6.568359		
TOTAL	11	60.223145			

C.V. = 10.71%

TABLA DE MEDIAS

TRATAMIENTO	MEDIA
2	25.5567 A
3	23.9267 A
4	23.3833 A
1	22.8400 A

DATOS ESTADISTICOS DEL ESFUERZO MAXIMO AL CORTE (E. NORMAL 40.16 kN.m⁻²)

ANALISIS DE VARIANZA					
FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	3	15.076172	5.025391	0.7633	0.556
BLOQUES	2	40.387695	20.193848	3.0671	0.121
ERROR	6	39.503906	6.583984		
TOTAL	11	94.967773			

C.V. = 8.82%

TABLA DE MEDIAS

TRATAMIENTO	MEDIA
2	30.9933 A
1	28.8167 A
4	28.2767 A
3	28.2733 A